
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
**Relation of Landslide Between the SMAP
Satellite and SAR Reflectivity Sensed Soil
Moisture**

(成果報告書)

執 行 單 位：國立成功大學

執 行 期 間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：彭文飛 助理研究員

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 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)

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

摘要

邊坡穩定性與土壤含水量有關，然而單點採樣量測的方式，不論是取樣的空間密度或是作業的時效性，勢必無法提供區域性崩塌預測所需資訊。本計畫融合不同解析度之衛星觀測資料對土壤含水量進行預測。首先於各個分析區域進行現地土壤含水量之採樣測量，並使用低解析度之 SMAP 地表含水量觀測值、與含水量有關之中解析度 MODIS 觀測參數、高解析度之 SPOT 影像、以及經修正過後之高解析度 Sentinel-1 SAR 資料，搭配降雨資料，作為預測土壤含水量之因子。預測模式建置過程中，先進行地物分類，以量化地表與土地利用之狀況，設定門檻值以剔除疊掩之區域，再用機器學習演算法，對現地含水量實測資料加以訓練與驗證，分析結果顯示加入後向散射係數後可大幅提高預測正確性。所建構之高精度土壤含水量預測模式，後續可配合山崩目錄，評估出崩塌位置於崩塌前的地表含水量變化的特徵，建構崩塌熱點預測模式，以作為日後由隨時更新的衛星資訊，預測高解析度地表含水量變化狀況，尋找出易發生崩塌區域之輔助方法。

關鍵詞：土壤含水量、衛星遙測、後向散射係數、地物分類、機器學習、崩塌

Relation of Landslide Between the SMAP Satellite and SAR Reflectivity Sensed Soil Moisture

ABSTRACT

We construct a prediction model that fuses multiscale geospatial data to predict the soil moisture (SM). The parameter used in this model includes product from NASA's SM Active and Passive (SMAP) satellite, MODIS satellite, Sentinel satellite and SPOT satellite, precipitation and land cover Classification. We used the random forest (RF) machine learning method to make a SM prediction. The result shows that the backscatter (VV) play an important role in the prediction model. After the including of backscatter from Sentinel-1, the correlation coefficient is increased by 8.2% for forest area, 470% for farm area, and bare land for 7.6%. Further, the result of the SM predicted by this model could be used in landslide prediction model.

Key words : Soil Moisture, Backscatter ,Machine Learning Method, Landslide, Land Cover Classification.

目次

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目次.....	III
表次.....	V
圖次.....	VI
第一章 前言	1-1
第一節 計畫緣起	1-1
第二節 工作目標	1-1
第二章 工作範圍與衛星介紹	2-1
第一節 現地含水量與地溫量測位置	2-1
第二節 衛星觀測評估範圍	2-8
第三節 以衛星遙測評估土壤含水量之回顧	2-17
第四節 本計畫所使用衛星之介紹	2-24
第五節 遙感探測中與溼度有關之參數介紹	2-31
第三章 執行方法與步驟	3-1
第一節 預測模式概述	3-1
第二節 地物分類	3-5
第三節 後向散射係數之修正	3-6
第四節 透視收縮和疊掩區域之剔除	3-11
第五節 水土保持局土壤水份觀測資料比對	3-12
第四章 分析結果與討論	4-1
第一節 地物分類方法對提升濕度預測正確性之成效	4-2
第二節 後向散射係數以外各參數對含水量預測之貢獻度	4-4
第三節 後向散射係數觀測值對預測正確性之影響	4-5

第四節 修正後向散射係以提升預測正確性	4-8
第五節 修正後向散射係數並設定門檻值以提升預測正確性	4-9
第六節 地表含水量預測正確性與適用性之綜合討論	4-15
第七節 水土保持局土壤水份觀測資料比對結果	4-18
第五章 結論與建議	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 建議	5-2
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-4
附錄三、期末聯合審查暨成果發表會審查意見回覆表	附錄-6
附錄四、現地含水量紀錄	附錄-7

表次

表 2-1 水土保持局土壤水份觀測站列表.....	2-1
表 2-2 SMAP 土壤水份含量相關產品一覽表(1/2)	2-8
表 2-3 現地資料與 SMAP 資料比對網格	2-9
表 2-4 SENTINEL-1A 參數資料	2-13
表 2-5 升、降軌之航向角與入射角參數.....	2-16
表 2-6 IEEE 微波頻率波長命名規則	2-20
表 2-7 本計畫使用衛星資料一覽表.....	2-24
表 2-8 SMAP 衛星產品一覽表	2-25
表 2-9 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式.....	2-28
表 2-10 SPOT-6&7 與 SPOT-5 規格比較	2-29
表 4-1 不同衛星與不同地物分類法對曾文集水區之現地濕度預測正 確性評估	4-3
表 4-2 SENTINEL-2 衛星對各研究區域之現地濕度預測正確性評估..	4-3
表 4-3 各預測參數項對於現地濕度預測正確性的影響(不包含後向散 射係數).....	4-4
表 4-4 加入未修正之後向散射係數(模式一)後含水量預測正確性...	4-6
表 4-5 加入修正後之後向散射係數(模式二、三)對地表含水量預測之 影響	4-9
表 4-6 修正後向散射係數並設門檻值後對地表含水量預測正確性之 影響	4-11
表 4-7 含水量連續站紀錄對日雨量與後向散射係數之相關性	4-18

圖次

圖 2-1 水土保持局土壤水份觀測站分布圖	2-2
圖 2-2 土壤水份計 M-700S	2-3
圖 2-3 地溫觀測儀器	2-3
圖 2-4 土壤水份觀測方法流程圖	2-4
圖 2-5 土壤水份野外觀測示意圖	2-4
圖 2-6 曾文水庫現地取樣路段	2-5
圖 2-7 現地取樣路段	2-6
圖 2-8 現地取樣路段	2-7
圖 2-9 地資料與 SMAP 資料比對網格分布圖	2-10
圖 2-10 SPOT 衛星影像評估範圍	2-11
圖 2-11 SENTINEL-1 不同之成像系統	2-12
圖 2-12 SENTINEL-1A 拍攝示意圖	2-13
圖 2-13 SENTINEL-1A 飛行方向及航向角	2-14
圖 2-14 SENTINEL-1A 拍攝影像之視角	2-14
圖 2-15 臺灣地區 SENTINEL-1 資料下載介面圖	2-15
圖 2-16 臺灣地區 MODIS 範圍	2-17
圖 2-17 被動式與主動式遙測示意圖	2-18
圖 2-18 依波長的差異所劃分的信號種類	2-18
圖 2-19 雷達波遇到植被時的散射示意圖	2-22
圖 2-20 MODIS 感測器之 TERRA(左)及 AQUA(右)衛星	2-31
圖 3-1 後向散射係數觀測值範例(SENTINEL-1 衛星、曾文水庫集水區、 2020/7/12)	3-2
圖 3-2 NDVI 範例(SENTINEL-2 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/9)	3-3
圖 3-3 NDWI 範例(SENTINEL-2 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/9)	3-3

圖 3-4 地溫(LST)範例(MODIS 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/9)	3-4
圖 3-5 大尺度濕度範例(SMAP 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/18)	3-4
圖 3-6 使用 MAXLIKE 地物分類法(SENTINEL-2)之曾文水庫集水區分 類結果	3-6
圖 3-7 曾文水庫集水區後向散射係數與本地入射角之相關性	3-7
圖 3-8 含水量採樣點所對應之後向散射係數觀測值與本地入射角修 正值	3-8
圖 3-9 曾文水庫區域後向散射係數(A)觀測值與(B)模擬值。	3-10
圖 3-10 現地含水量採樣點所對應之後向散射係數觀測值與模擬值	3-10
圖 3-11 曾文區域附近土壤水份觀測與雨量站之分佈位置	3-13
圖 4-1 研究流程圖	4-2
圖 4-2 使用後向散射係數以外之參數進行地表含水量預測	4-3
圖 4-3 比對納入後向散射係數之地表含水量預測模式的預測正確性	4-7
圖 4-4 修正後向散射係數與設定門檻值以提升森林地表含水量預測 正確性	4-12
圖 4-5 修正後向散射係數與設定門檻值以提升農地地表含水量預測 正確性	4-13
圖 4-6 修正後向散射係數與設定門檻值以提升裸露地地表含水量預 測正確性	4-14
圖 4-7 各預測參數項對於現地濕度預測正確性(RMSE)的影響	4-16
圖 4-8 各預測參數項對於現地濕度預測正確性(相關係數)的影響.	4-17
圖 4-9 華山站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對	4-19
圖 4-10 豐丘站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對	4-19
圖 4-11 神木站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對	4-20
圖 4-12 坪頂站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對	4-20

圖 4-13 上安站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對.....4-21

第一章 前言

第一節 計畫緣起

邊坡的含水量參數，理所當然的會影響邊坡的穩定狀態，含水量越多的邊坡，誘發崩塌所需的降雨量則越低，因此臨界降雨量亦會受到降雨前的含水量所影響，而並非定值。然而，目前評估邊坡之含水量狀態，一般多為現地取樣或於現地裝設單點的監測儀器，以遙感探測的方式所評估的大區域含水量分布，因受限於解析度與精度的限制，目前尚未使用於防災。對此，本計畫對不同解析度與精度的遙感探測訊號進行融合，獲取大範圍且高解析度的地表土壤含水量參數，以作為描述土壤含水量之依據，並評估土壤含水量對於崩塌之相關性，以供邊坡防災評估使用。

第二節 工作目標

本計畫之目的為將衛星遙測與雷達回波資料加以融合，應用於坡地含水量之大面積監測，並將其含水量監測結果應用於崩塌區域之預測與崩塌預警。

台灣山區之崩塌大多以淺層滑動為主，其崩塌滑動的產生，除了受災害事件時之降雨量與地震強度控制外，從力學的角度而言，崩塌產生與否，亦與災害事件發生前土壤材料含水量的多寡有關。然而此土壤含水量參數，並無法以人工方式或現有的方式，進行大規模或立即性的監測評估。因此，適切的即時評估山區含水量之分布，必能增加崩塌預測或預警之正確性。對此，本計畫使用 NASA 噴氣推進實驗室之 Soil Moisture Active Passive (SMAP)計畫對於地表土壤含水量之低解析度監測結果，融合以 SAR 雷達回波評估之高解析度土壤含

水量分佈技術，整合出空間解析度較高之土壤含水量分佈。

SMAP 計畫可提供 2015 年 4 月至今的土壤含水量監測資料，每 3 小時 1 筆資訊，拍攝後約 7 天可取得資料，然而其空間解析度為 9 公里，此等級之空間解析度並不足以提供防災可用之資訊；另一方面，以 SAR 雷達回波評估之土壤含水量分佈技術，雖然有較佳之空間解析度，但目前僅能反應不同位置間土壤含水量的相對差異，其所估求之土壤含水量離實際值仍有所偏差，正確性不足，因此也無法直接使用於防災。故本計畫融合衛星遙測與雷達回波所獲取之土壤含水量參數，配合土壤含水量的現地量測進行驗證，建構出正確性與空間解析度兼備之土壤含水量評估流程。

因衛星遙測與雷達回波拍攝後須等待數天後方可下載觀測資料，故所評估之土壤含水量分布不具即時性，因此無法作為崩塌預警系統之參數。對此，本計畫所建構之土壤含水量預測模式，配合降雨預測模型後，即可彌補等待衛星資料下載之時間差，即時對土壤含水量進行預測，以作為崩塌預警系統中，評估臨界降雨量之依據。

第二章 工作範圍與衛星介紹

第一節 現地含水量與地溫量測位置

一、水土保持局水文站

水土保持局於臺灣本島共設置 24 個土壤水份觀測站，如表 2-1 分布如圖 2-1，紀錄土壤的水分飽和程度，現已可透過觀測資料平台 (<http://monitor.swcb.gov.tw/SensorExplain.aspx>) 進行下載，可提供每五分鐘一筆資料，本計畫將蒐集水保局土壤水份飽和度資訊與反演之土壤水份進行比對與驗證。

表 2-1 水土保持局土壤水份觀測站列表

縣市	測站	縣市	測站
新北市	大粗坑	苗栗縣	白布帆
桃園市	蘇樂	台中市	松鶴
新竹縣	司馬庫斯	南投縣	南豐
	玉峰		豐丘
	下田埔		上安
雲林縣	坪頂		郡坑
	華山		神木
嘉義縣	豐山		九份二山
台南市	羌黃坑	高雄市	集來
屏東縣	來義	花蓮縣	和中
台東縣	射馬干		鳳義坑
	大鳥		大興

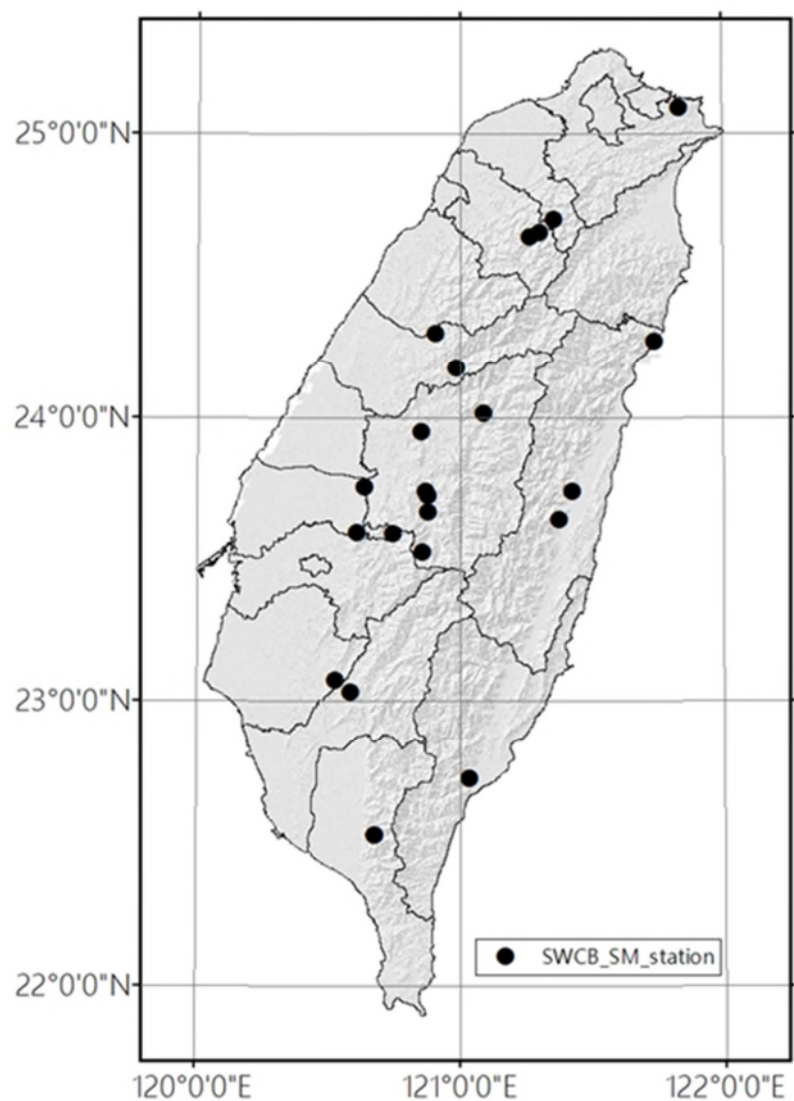


圖 2-1 水土保持局土壤水份觀測站分布圖

二、野外現地調查

(一)採用儀器

本計畫將透過土壤水份計 M-700S 進行加值區域驗證，M-700S 可量測土壤含水量且解析度達 0.1%，在 25 度 C 準確度可達 $\pm 3\%$ ，可量測範圍為 5.5~55%，詳細規格與圖片如圖 2-2。另配合 GPS 進行定位，以及同步測量地表溫度，地表溫度採用儀器為紅外線熱影像儀器，除可進行單點紅外線測量外，還可同步擷取熱影像，作為土壤溫

度記錄使用，其溫度解析度可達 0.1 度 C，可用於衛星地溫資料檢核使用，詳細規格與圖片如圖 2-3。



Soil Moisture Meter Kit M-700S

Features :

- High Accurate, Fast Response
- Auto Temp. Compensation
- Data-Hold / Max. / Min.
- Auto Power Off
- Built-in Calibration (CAL) Function
- Drop/Dust-Proof, Long-Term Stability

Applications :

Soil, Sands, Natural Compost, Sawdust, Pulp, Building Materials, Industrial Sludge and Chemical Fertilizers, etc.

Specifications of M-700S

Measurement Range (% WME)	5.5 ~ 55.0%
Accuracy (at 25°C)	±3% (difference as the testing materials)
Resolution	0.1%
Operating Range	-10 ~ +50°C, < 90%RH (with auto temperature compensation)
Sampling Rate	Approx. 1 sec.
Main Functions	Auto/manual turn off, Hold function, record maximum & minimum values, Built-in calibration Function, low battery warning
Power Supply	One 9V Battery or AC Adaptor (option)
Display	Digital LCD display with multi-functions
Battery Life	Approx. 185 hours (continuation)
Dimensions	Meter 168 × 73 × 33mm (6.6 × 3.0 × 1.3 inch) Probe (No. 7013S) Ø8 × 150mm ※ Length of probe is possible upon request
Weight	Approx. 180g, (6.3 oz) including battery
Accessories	• Soil moisture probe (No.7013) • Latching carrying case (No.755C) • One 9V battery • AC adaptor (Option) • Operation manual

※ Specifications are subject to change without notice.

圖 2-2 土壤水份計 M-700S



FLIR
TG 165
單點紅外線
熱影像儀

紅外溫度測量	
量測準確度	+/- 1.5% 或 1.5°C
溫度測溫範圍	-25 到 380°C, -13 到 716°F
放射率設定	4 種預設水平, 可自定義調節, 0.1 到 0.99
距離與量測光點直徑比 (D:S)	24:1
溫度解析度	0.1 °C / °F
量測時間	150 毫秒
紅外光譜響應波長	8 到 14µm
雷射瞄準	雙發散雷射光, 指示溫度測量區域
熱成像	
成像探測器	FLIR Lepton™ 微測輻射計焦平面陣列 (FPA)
快門	整合型自動快門
圖像解析度 (高 x 寬)	4,800 像素 (80 x 60)
紅外光譜響應波長	8 到 14µm
視角 (高 x 寬)	50° x 38.6°
上部溫度顯示範圍	127°C, 260°F (400K)
熱成像靈敏度	150mK
畫面更新速度	9 Hz
調色板	2 (灰度, 鐵水)
保存的圖像格式	位圖 (BMP) 圖像, 帶有溫度和放射率

圖 2-3 地溫觀測儀器

(二)測量方法

觀測方法首先填寫基礎資訊報表，紀錄觀測時間與天氣情況，並同時記錄觀測深度等資訊。土壤含水量計觀測時間需達 30 秒以上，定位資訊以手持式 GPS 進行定位，其解算估計精度需要在 5 公尺以內。土壤水份記錄其最大數值與最小數值，GPS 坐標則以 TWD97 坐標系統進行記錄，詳細流程圖如圖 2-4。外業工作紀錄如圖 2-5。

因顧及人員之可達性與山區移動之不便，故數量以一個月 20 的點位為原則，採點之位置盡量能遍布該研究區域。

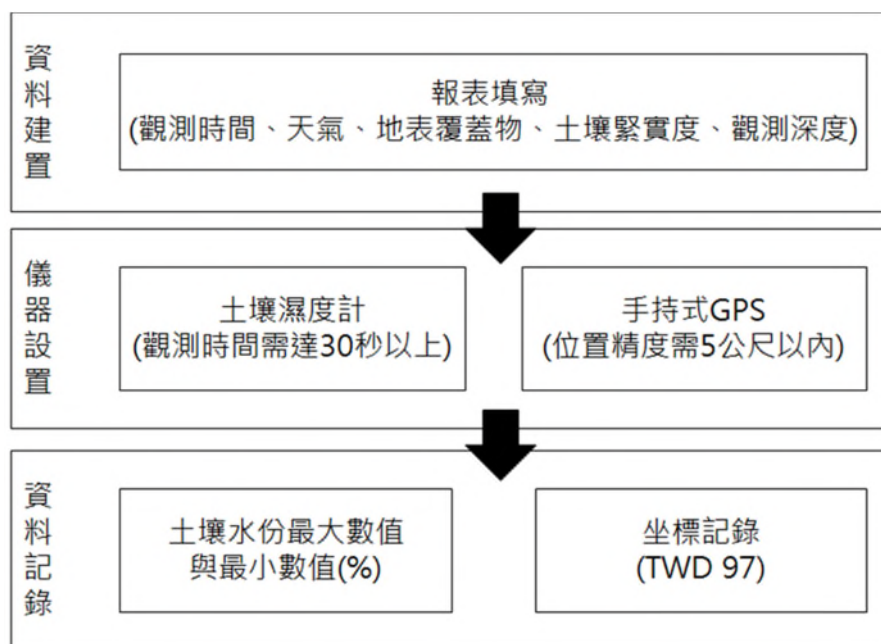


圖 2-4 土壤水份觀測方法流程圖



圖 2-5 土壤水份野外觀測示意圖

(三)土壤含水量現地取樣區域

野外現地量測範圍，包含曾文、阿公店、牡丹、南化水庫以及雙溪、天花湖、士文水庫預定地，規劃路線如圖 2-6 至圖 2-8。

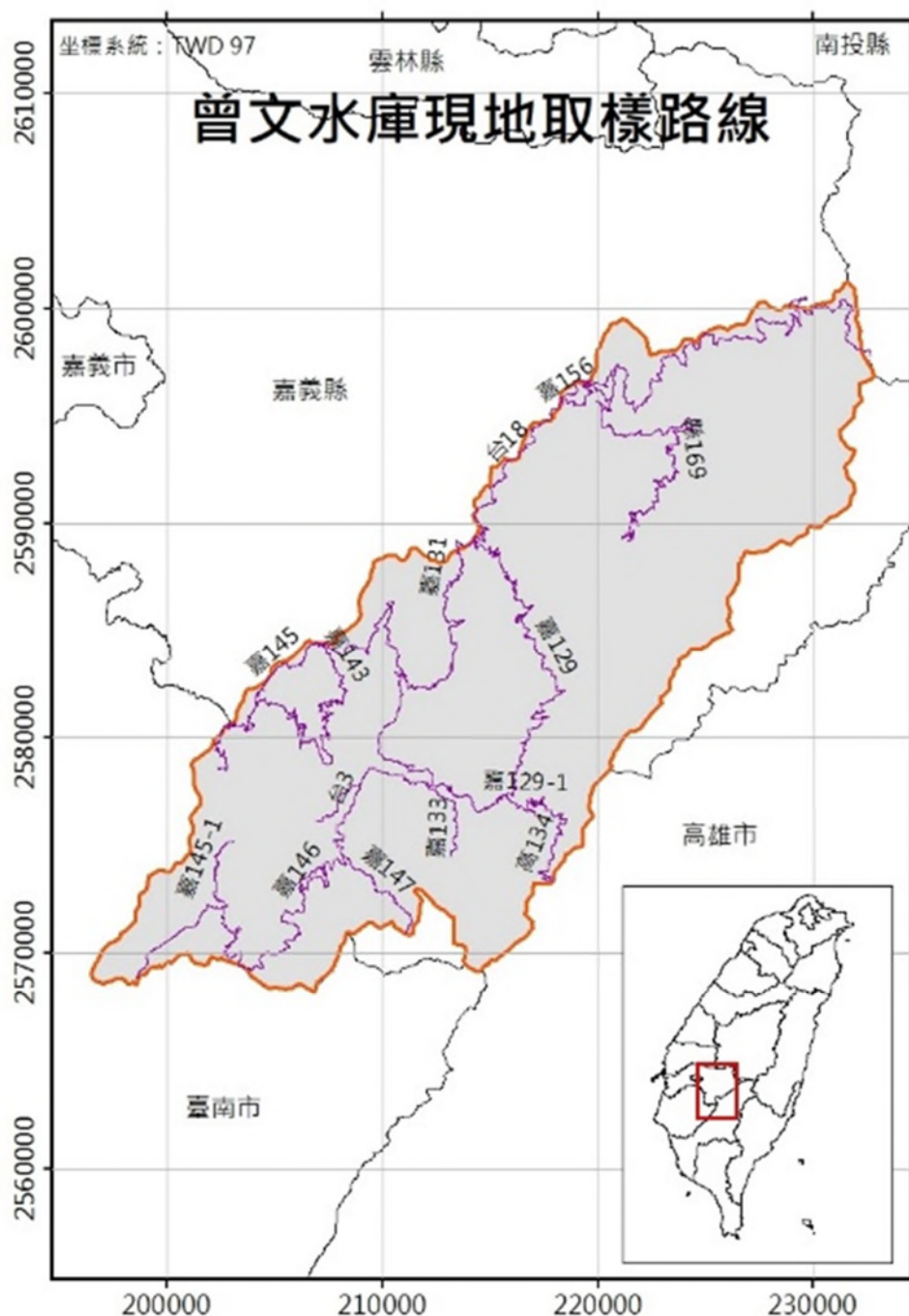


圖 2-6 曾文水庫現地取樣路段



(a 阿公店水庫)



(b 牡丹水庫)



(c 南化水庫水庫)



(d 雙溪水庫)

圖 2-7 現地取樣路段



圖 2-8 現地取樣路段

第二節 衛星觀測評估範圍

一、SMAP 涵蓋之現地調查範圍圖幅

為增取資料採用之時效性，取用之 SAMP 資料為等級二之強化型土壤水份指數(L2_SM_P_E)，其空間解析度達 9 公里，延遲時間為 24 小時，如表 2-2。臺灣地區涵蓋約 499 個網格資料，配合現地調查資料位置與水土保持局設置之測站，選擇 40 個網格資料進行現地資料對照，網格料表如表 2-3，分布圖如圖 2-9。

表 2-2 SMAP 土壤水份含量相關產品一覽表(1/2)

產品	說明	空間解析度	延遲	資料來源	備註
L2_SM_A*	土壤水份指數 (Radar)	3 公里	24 小時	軌道資料	已故障(註 1)
L2_SM_P	土壤水份指數 (Radiometer)	36 公里	24 小時		
L2_SM_P_E	土壤水份指數 (Radiometer 強化)	9 公里	24 小時		
L2_SM_AP*	土壤水份指數 (Radar+Radiometer)	3 公里	24 小時		已故障(註 1)
L2_SM_SP	土壤水份指數 (Radar+Radiometer)	3 公里	12 日(依據 Sentinel-1 再訪資料)		採用 Sentinel-1 之主動雷達資訊

表 2-2 SMAP 土壤水份含量相關產品一覽表(2/2)

產品	說明	空間解析度	延遲	資料來源	備註
L3_SM_A	土壤水份指數 (Radar)	3 公里	50 小時	合併單日資料	
L3_SM_P	土壤水份指數 (Radiometer)	36 公里	50 小時		
L3_SM_P_E	土壤水份指數 (Radiometer 強化)	9 公里	50 小時		
L3_SM_AP*	土壤水份指數 (Radar + Radiometer)	3 公里	50 小時		已故障(註 1)
L4_SM	土壤水份指數	9 公里	7 天	加入實測資料	

註 1.SMAP 計畫之主動雷達已於 2015 年 7 月故障，僅提供 2015 年 4 月 1 日至 7 月 7 日。修改自 Das, N., & Dunbar, R. S. (2018)

表 2-3 現地資料與 SMAP 資料比對網格

現地量測位置	SMAP網格編號
雙溪水庫	26
天花湖水庫	87
曾文水庫	299、300、314、315、316、331、332、333、347、348、349、363、364、379
阿公店水庫	421
士文水庫	479
牡丹水庫	488、491
水保局 土壤水份測站	17、67、78、79、134、144、151、185、200、247、250、256、268、274、282、283、285、380、397、443、470

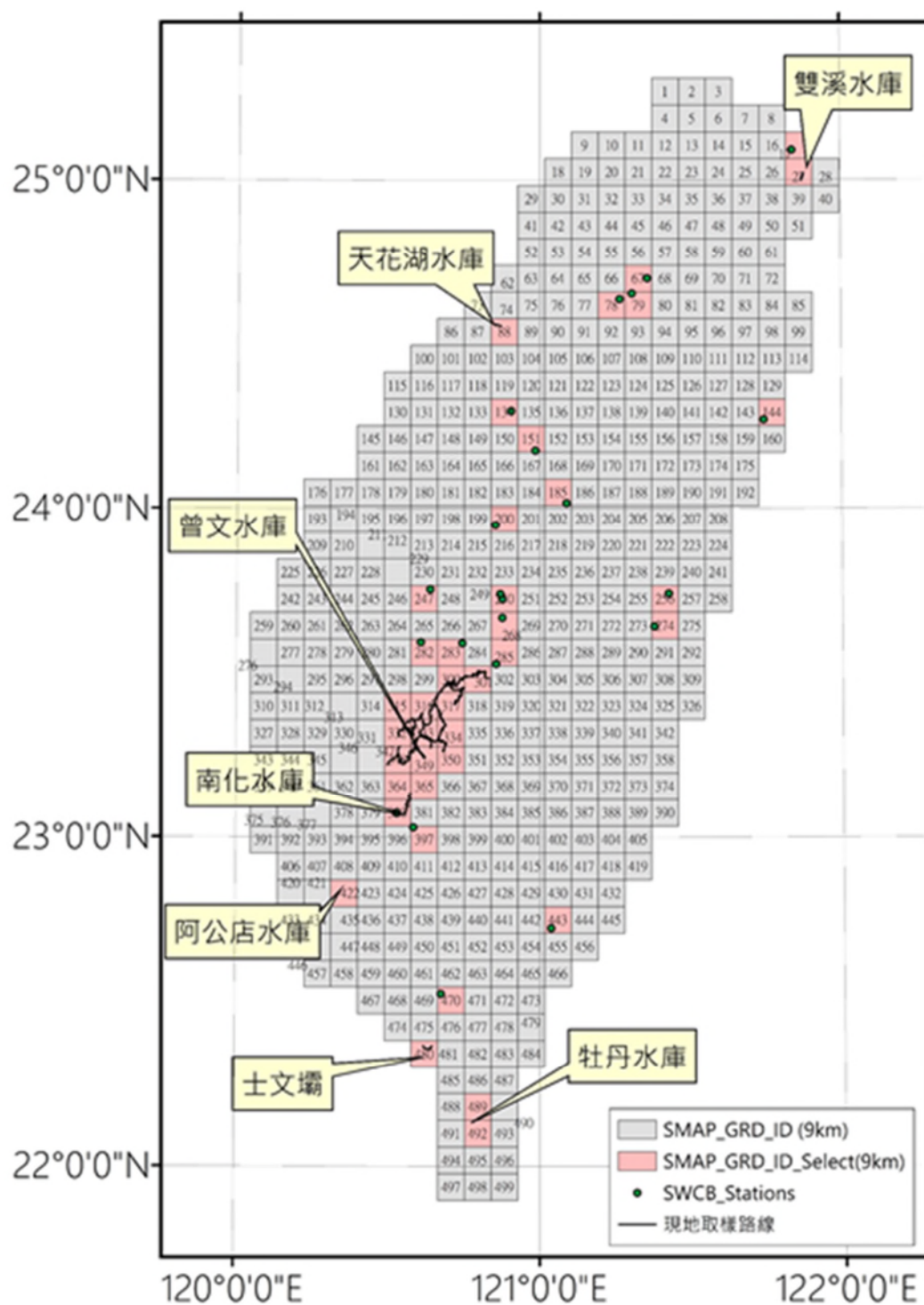


圖 2-9 地資料與 SMAP 資料比對網格分布圖

二、SPOT 衛星影像評估範圍

本計畫將曾文水庫、阿公店水庫與牡丹水庫之 SPOT6 或 SPOT7 影像納入分析，以評估地表覆蓋，所使用之 SPOT 影像分布範圍如圖 2-10。其中若雲覆率大於 20%，則使用 Sentinel-2 影像取代。

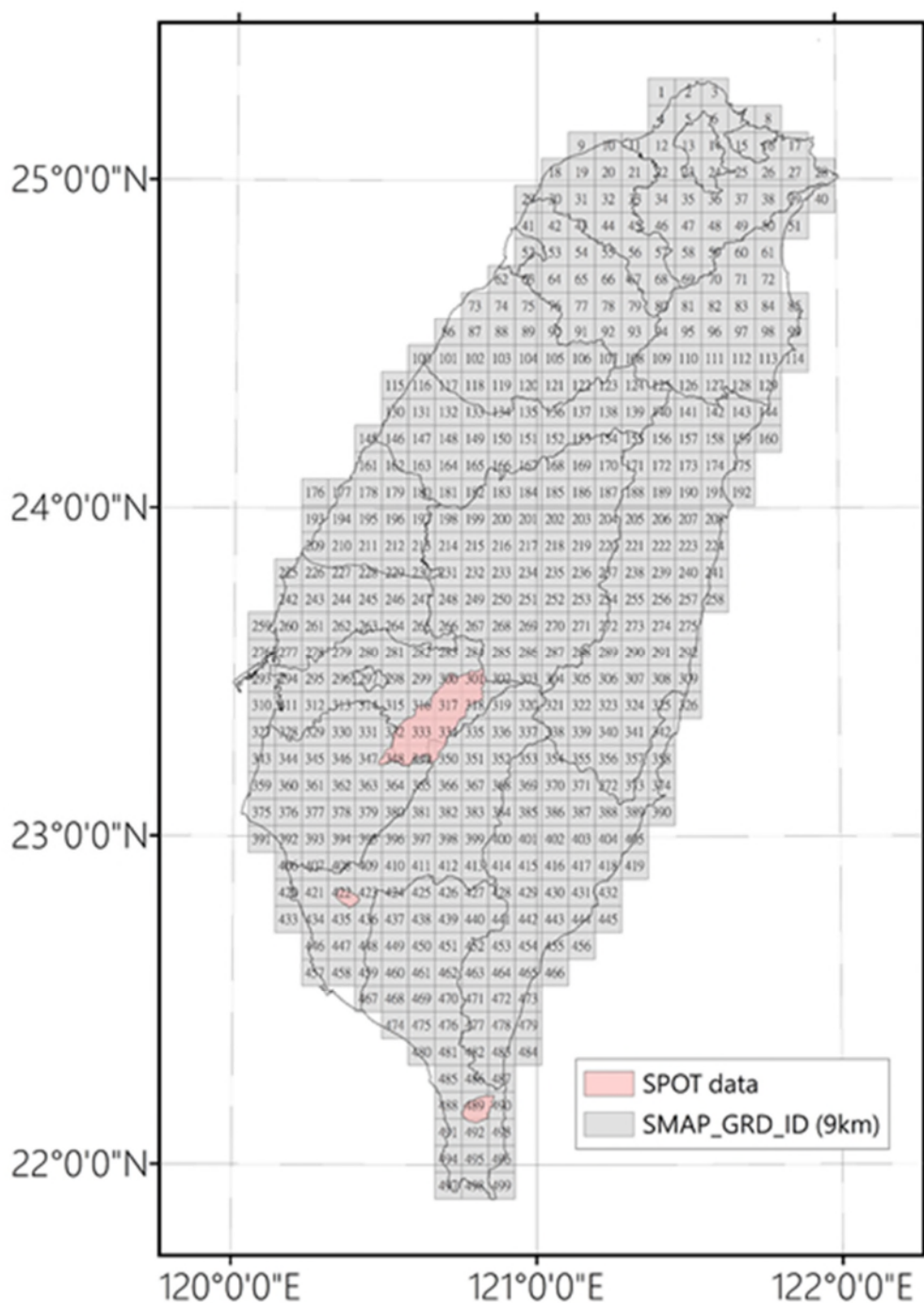


圖 2-10 SPOT 衛星影像評估範圍

三、Sentinel-1 衛星影像評估範圍

臺灣地區之 Sentinel-1 影像為 IW 模式(Interferometric Wide Swath Mode)，如圖 2-11 以 5 公尺乘上 20 公尺的空間分辨率獲取 250 公里長度的數據使用之雷達影像皆為 Sentinel-1A 所拍攝，使用 VV 極化方式。蒐集升軌及降軌資料，拍攝方向示意圖如圖 2-12。左圖為升軌，軌道編號 69；右圖為降軌，軌道編號為 105，相同軌道的再現週期為 12 天。相關衛星參數如表 2-4，而圖 2-13 顯示 Sentinel-1 在台灣上空的飛行方向概念圖，圖 2-14 為 Sentinel-1A 拍攝影像之視角示意圖。降軌之航向角與入射角參數，如表 2-5。實際下載方式與圖幅分布如圖 2-15。

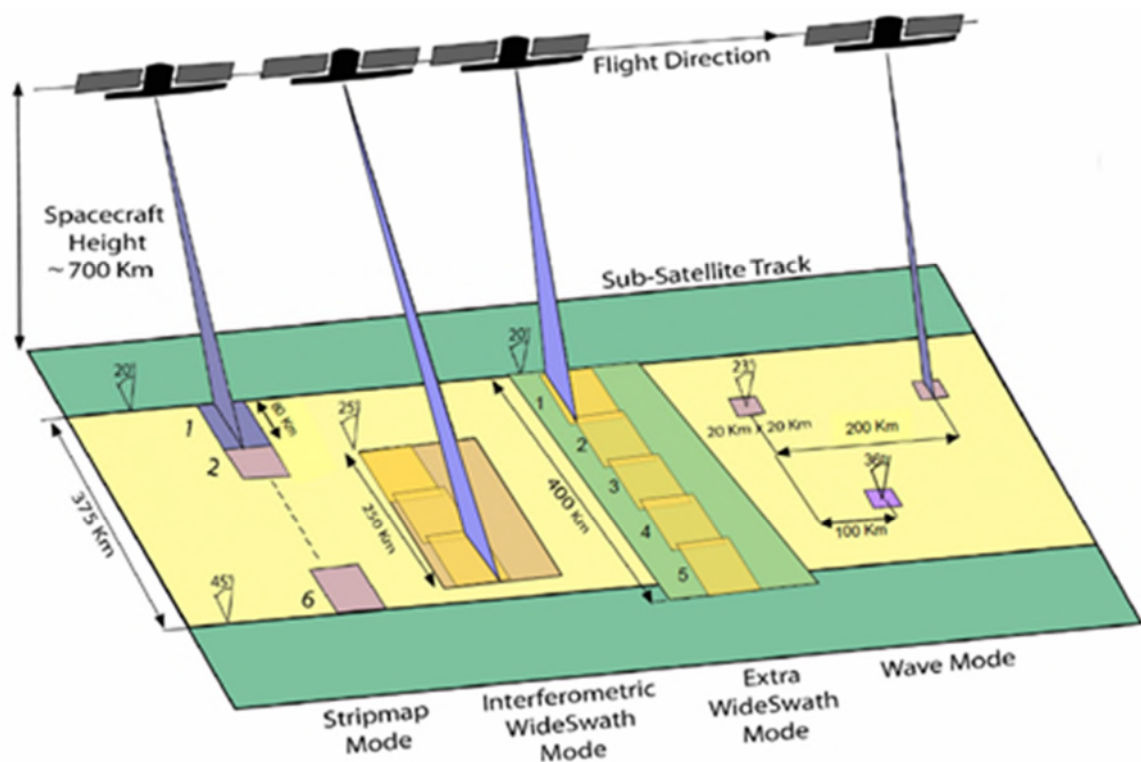


圖 2-11 Sentinel-1 不同之成像系統

(來源：Sentinel 產品說明書)

表 2-4 Sentinel-1A 參數資料

解析度	高度	傾角	太陽同步	再返週期
10 公尺	693 公里	98.1°	每日 14.58 個軌道	12 天

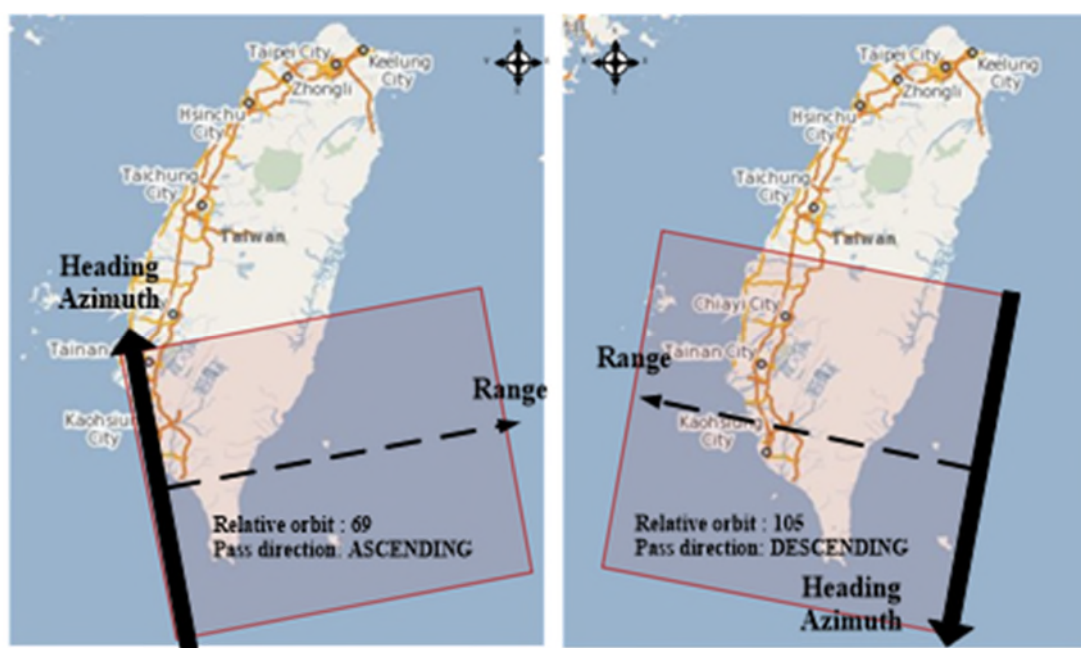


圖 2-12 Sentinel-1A 拍攝示意圖

(取自陳郁琪，2019)

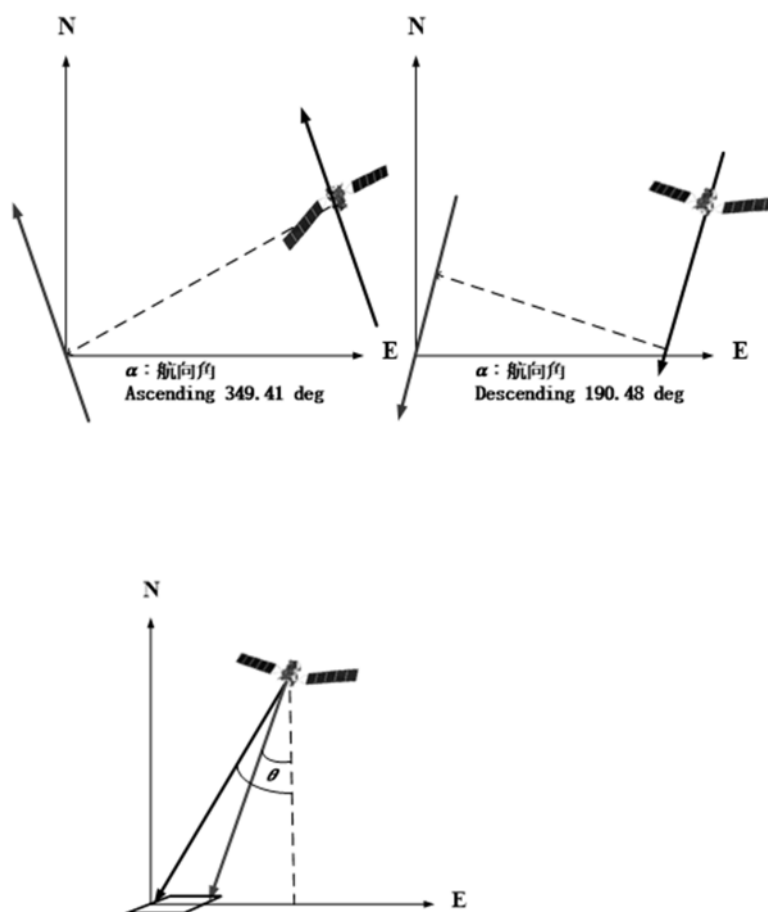


圖 2-13 Sentinel-1A 飛行方向及航向角

(取自陳郁琪，2019)

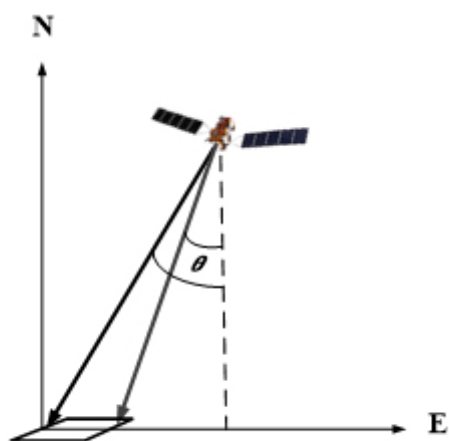


圖 2-14 Sentinel-1A 拍攝影像之視角

(取自陳郁琪，2019)

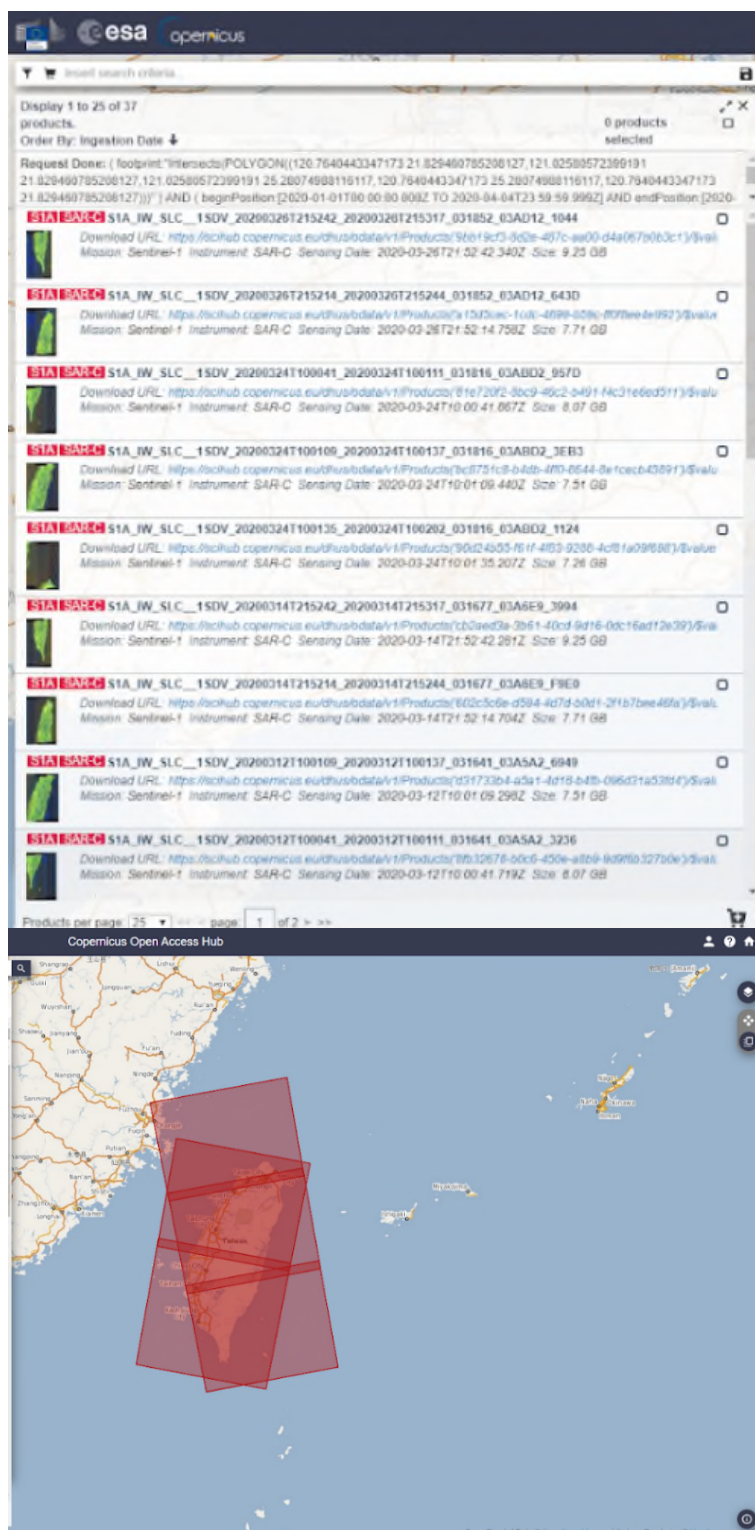


圖 2-15 臺灣地區 Sentiel-1 資料下載介面圖

表 2-5 升、降軌之航向角與入射角參數

Ascending				Side look
centre_heading	349.408	incidence_near	30.78883	Right
centre_heading2	169.4072	incidence_far	36.83025	
Descending				Side look
centre_heading	190.4779	incidence_near	36.54993	Right
centre_heading2	10.47705	incidence_far	41.93565	

(unit : deg) (取自陳郁琪，2019)

四、MODIS 衛星影像評估範圍

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 為中級解析度成像分光輻射度計，是分別於 Terra 和 Aqua 衛星上都有搭載，Terra MODIS 的觀測時間為當地時間之上午 10:30 左右，而 Aqua MODIS 則為下午 13:30 左右。MODIS 平均 1 至 2 天回到原點，掃瞄寬度為 2330 公里，有 36 個光譜波段，其頻帶介於 0.405~14.385 μm ，包含可見光、近紅外光與熱紅外光，並提供三種不同的空間解析度產品，分別為 250 公尺(band 1~2)、500 公尺(band 3~7)和 1000 公尺(band 8~36)。影像提供以正弦投影之地圖，臺灣地區分布範圍如圖 2-16 之 H28 V06 與 H29 V06 區域。

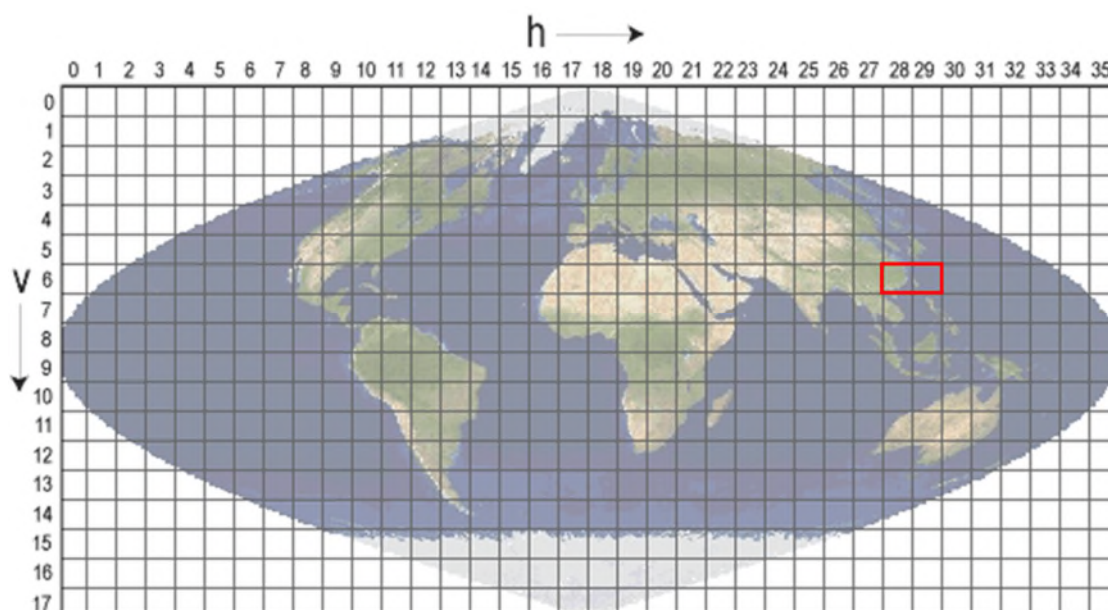


圖 2-16 臺灣地區 MODIS 範圍

資料來源：https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html

第三節 以衛星遙測評估土壤含水量之回顧

衛星遙測 (Remote Sensing)，定義為利用儀器對目標物進行遠距離的間接量測，遙測系統的蓬勃發展對氣候、環境、農林業的觀察可謂一大邁進。遙測的觀測方式可分為主動式和被動式，如圖 2-17 所示。被動式主要原理為儀器本身並不對外發射能量波，而由太陽輻射照射地球，經地表地物反射之電磁輻射再被感測器所接收，跟據不同輻射波段特性，反推出地表的狀態。主動式為搭載於衛星上之儀器主動往地球表面發射能量波，發射期間同時運行軌道並不斷向地球表面發射能量波，能量波接觸地表地物再接收其回波。信號依其波長而劃分成不同波段種類，如圖 2-18 所示。根據感測器所接收的波段不一亦可分為光學 (Optical) 及微波 (Microwave) 波段，光學主要為接收來自地球表面所反射與發射之能量波，故一般光學感測器皆為被動式感測器；而微波感測器可分為被動及主動兩種。

以下分別針對(1)被動式光學雷達、(2)主動式微波雷達、與(3)被

動式微波雷達，介紹其推估土壤含水量概況。

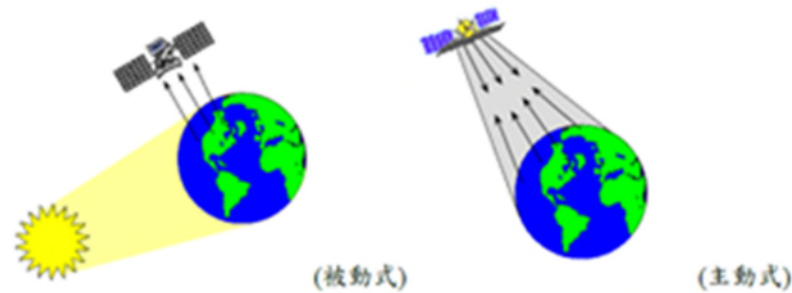


圖 2-17 被動式與主動式遙測示意圖

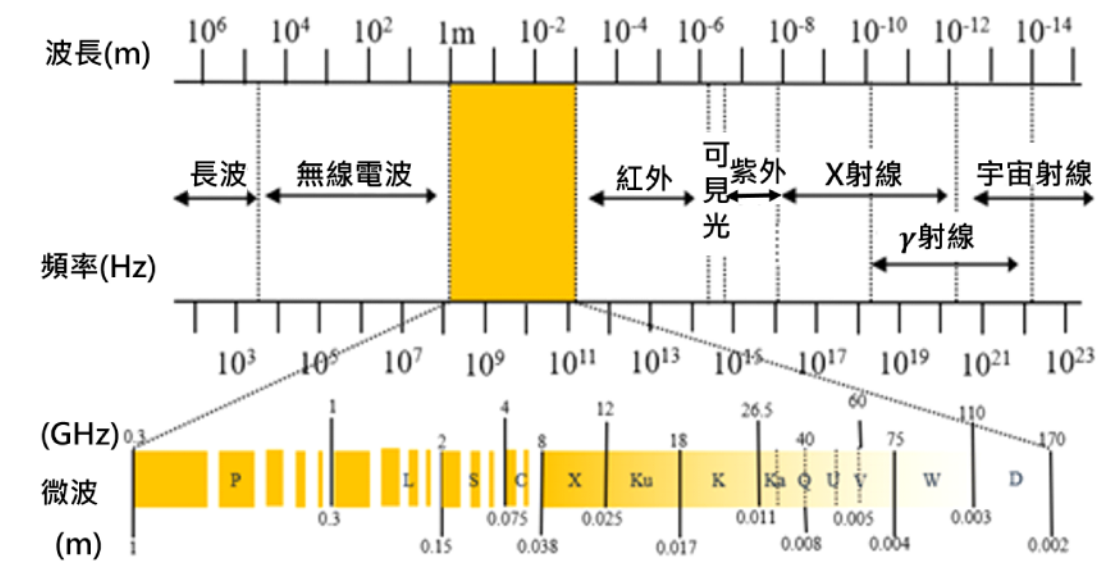


圖 2-18 依波長的差異所劃分的信號種類

一、被動式光學雷達推估土壤含水量

光學遙測的原理是以感測器所接收因來自地表的太陽輻射反射能量，利用這些反射能量以求得一些地表參數如地表溫度、植生指數、反照率等，經由這些地表參數之間與土壤含水量之關聯性來建立一系列的土壤含水量指標，用以代表目標區域之土壤含水量情形。常用來進行土壤含水量推估的光學雷達有 MODIS、SPOT、Sentinel-2 等，每款衛星之時間及空間解析度皆不一樣。目標常用的土壤含水量指標有溫度植被乾燥指數 (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)，

此一土壤含水量指標為利用地表溫度與植被指數之間交互關係所形成之比例，來代表該區域之土壤含水量情形 (林宜徵, 2011; Sandholt et al., 2002)。除此之外還有利用地表能量平衡方程式來求得地表蒸發散情形，以作物實際蒸發散量與潛勢蒸發散量的比值 (Evaporative Fraction, EF)來推估土壤含水量情形的作物水份壓力指標 CWSI (Crop Water Stress Index)(莊麒弘, 2017; Rahimzadeh-Bajgiran et al., 2013)。

二、主動式微波雷達推估土壤含水量

主動式微波遙測衛星為在載具上搭載可發射微波訊號之雷達，雷達向地表發出微波能量，到達地表地物時會出現吸收、散射、反射或穿透某介質然後到下一個介質再出現吸收或散射現象 (Kornelsen and Coulibaly, 2013)。雷達成像資訊為接收其反射回來之能量，即為後向散射 (Backscatter)。後向散射為一物體表面散射波、粒子或訊號等能量回至原入射方向之現象，而後向散射係數 (Backscatter coefficient) 即表示後向散射之能量與原入射能量的比值。影響後向散射之因素有很多，包括地表粗糙度、入射角、極化方式、土壤介電常數等。頻率波段不一，其對目標物的穿透程度也不一樣。例如 X 波段或 K 波段等短波波段穿透力較弱，在植物頂層就會被反射回去；而 L 波段等長波波段穿透力較強；至於介於中間的 C 波段，則可提供到目標物表面或目標物下的資訊 (Askne et al., 1997)，而且當波長大於 4cm 時，則雷達波幾乎不受雲、雨的阻擾，可提供清晰的地面資訊 (Henderson and Lewis, 1998)。微波遙測中會使用某個字母來表示微波波段的頻率或波長範圍，跟據 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 對微波頻率波長的命名規則 (Skolnik, 1962)，如表 2-6。本計畫使用的 Sentinel-1 衛星即屬主動式微波雷達，頻率波段為 C 波段。

一般而言乾燥土壤介電常數約為 2-5 而濕潤土壤約為 80，其介電常數增加而雷達的回波信號也將增大，故可利用這種差異來推估土壤含水量。研究指出，微波波段對地下 5 公分的土壤含水量最為敏感，如果深度深於 5 公尺的話，後向散射係數與土壤含水量的相關性就會相對降低 (Boisvert et al., 1997)。另外土壤特性也會影響土壤含水量的推估，研究指出土壤性質為砂土跟雷達後向散射係數的相關性會比黏土好，因為砂土含有更多的重力水，而黏土內則以吸附水為主，水份子附合著在土壤表面以致水份子無法有效跟雷達訊號做相互作用 (interaction)。

表 2-6 IEEE 微波頻率波長命名規則

IEEE Standard Radar Band Nomenclature		
IEEE Std. 521-2002, IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands		
頻率波段	頻率範圍(GHz)	波段長度範圍(cm)
L 波段	1-2	15-30
S 波段	2-4	7.5-15
C 波段	4-8	3.75-7.5
X 波段	8-12	2.5-3.75
Ku 波段	12-18	1.67-2.5
K 波段	18-27	1.11-1.67
Ka 波段	27-40	0.75-1.11

對於主動微波雷達於土壤含水量之推估，主要跟據不同的地型條件，挑選合適的後向散射係數模型，把地型條件消除後，隨之進行土壤含水量的反演推估 (Kornelsen and Coulibaly, 2013)。跟據不同的地形選擇合適的後向散射模型，例如在裸土地區會使用一些如 Oh 模型 (Oh et al., 1992)、Dubois 模型 (Dubois et al., 1995)、IEM (Baghdadi et al., 2011) 及 AIEM 模型 (Fung and Chen, 2004) 等進行後向散射係數修正，接著進行土壤含水量推估；但其實很多的地表都受到植被覆蓋，尤其是土石流發生的山坡地或農田地，而且在土壤含水量推估的研究中，大部份的目標區域皆為植被覆蓋地 (Kornelsen and Coulibaly, 2013)，因此要選擇合適的植被後向散射模型，把植被的影響消除。在合成孔徑雷達中，植被的覆蓋會使土壤含水量的推估變得複雜，因為在雷達波穿過植被時也一樣會受到植被的影響造成散射或衰減，使接收回來的雷達後向散射係數包含植被的資訊，如圖 2-19 (Iisaka, 1998)，箭號代表雷達波接觸到植被時的路徑，可分為三種：路徑 A 為遇到植被時散射回去；路徑 B 為雷達波在植被之間發生總散射現象 (Volume Scattering)；路徑 C 為穿越植被到地表再產生散射。植物的介電常數 (例如是葉片或樹幹裡的水份) 及物理結構則是影響雷達後向散射的因數 (Ulaby et al., 1982)，當植被比較稀疏的時候，植被的影響可以被忽略並視它為裸土地 (Dubois et al., 1995; Glenn and Carr, 2004)。然而，植被數量的增加會增加雷達後向散射係數，導致推估土壤含水量對後向散射係數的敏感度下降 (Romshoo et al., 2002)，而且總雷達後向散射可被視為是植被後向散射跟土壤後向散射的總和 (Joseph et al., 2010)。有研究指出 SAR 的 C 波段在高植被覆蓋的地區時，對土壤含水量非常敏感 (Romshoo et al., 2002)，而且在後續對消除植被影響也有更好的效果。(Notarnicola et al., 2006)。因此只要消除

植被後向散射的部份，得到土壤的後向散射，就可以繼續做之後的推估了。必須選擇適合該研究區域的模型方法以消除植被的影響。如果植被較高例如是在森林地，可選擇 MIMICS 模型；如果研究區域是農田地可選擇水雲模型 Water-cloud model。研究指出水雲模型在土壤含水量推估的前置作業中，能有效地消除植被影響，已被廣泛應用於多個研究之中 (Álvarez-Mozos et al., 2006; Bindlish and Barros, 2001; Lievens and Verhoest, 2011)。

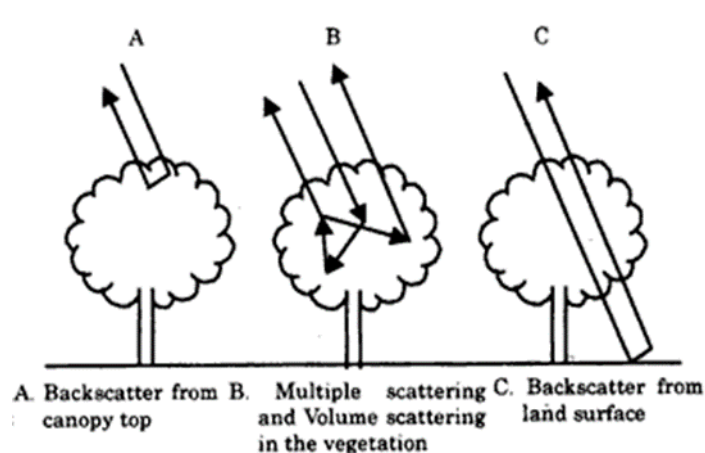


圖 2-19 雷達波遇到植被時的散射示意圖

(Wada, 2009)

三、被動式微波雷達推估土壤含水量

被動式微波遙測為搭載輻射計 (Radiometer)，接收地表物件和目標自身發出的微波輻射，波長為 1-30 cm。SMAP 衛星可正常運作的部位即屬此類，其頻率波段為 L 波段。跟據普朗克定律，任何自然和人造物都會向外輻射電磁波。微波輻射計則是通過接收地表物件和目標自身發出的微波輻射，或稱發射率。因此被動微波輻射計的影像在某種程度上可跟主動式雷達影像互補，在雷達影像中看到很亮的地方，在微波輻射計則可能是會很黑很暗；反之亦然 (吳季等人, 2009)。被動微波遙測的優點是由於微波屬於長波波段，故受到雲遮蔽、天氣影

響較小。而缺點為無法做小範圍之監測，比較多拿來做全球性的監測 (Wigneron et al., 2003)。

而微波因具有不受天氣條件的限制，可全天時、全天候的對地表開展觀測，對植被具有一定的穿透的能力，已然成為估算土壤水分的主要手段。微波遙感反演土壤水分的物理機制，主要源自於液態水和乾燥土壤介電常數的巨大差異（前者接近 80，後者接近 3，濕潤的土壤的介電常數通常小於 35），當土壤水分含量增加時，微波感測器探測到的介電常數也會隨著升高，進而反演得到土壤水分資訊 (Li et al., 2017)。已有研究證明微波感測器可以有效地監測地表土壤水分資訊，但植被和地表粗糙度降低了微波觀測土壤水分的敏感度，並且這種影響隨著微波頻率的增加越發明顯，所以低頻的 L 波段 (1-2GHz) 通常被認為是反演土壤水分的最佳波段 (Zhao et al., 2017)；再者，低頻波段微波（如 L 波段）具有更強的穿透能力，可以獲得地表淺層的土壤水分，更有助於土壤水分反演。雖然 L 波段可提供可靠的土壤水分數據，但由於 L 波段天線設計難度較大，直到 2009 年，歐洲空間局才發射了第一顆利用 L 波段監測全球土壤水分的土壤水分和海洋鹽度衛星 (SMOS: Soil Moisture and Ocean Salinity)。但 SMOS 衛星的空間解析度為 50km，適合於區域或全球尺度的土壤水分研究，為了能夠探測到更高解析度的土壤水分資訊，誕生了結合主動微波觀測和被動微波觀測聯合反演土壤水分的想法。

由於主動微波具有高的空間解析度，低的時間解析度，對植被和地表粗糙度敏感的特點；被動微波具有高時間解析度，低空間解析度，對土壤水分敏感的特點，綜合主被動的優勢將兩者有機的結合起來，在一定程度上可獲得：高空間解析度、高時間解析度和高精度的土壤水分產品 (李尚楠等人, 2018)。2015 年，美國宇航局發射了解析度更

高的 SMAP 衛星，該衛星搭載一個 L 波段主動雷達和 L 波段被動輻射計，通過結合主動和被動的 L 波段感測器，可以為用戶提供高解析度（主動微波的解析度為 3km，被動微波解析度為 36km，主被動結合的解析度為 9km）的土壤水分產品。

第四節 本計畫所使用衛星之介紹

彙整本計畫使用之衛星產品一覽表如表 2-7。包含：SMAP、SPOT、SENTINEL 與 MODIS 衛星。

表 2-7 本計畫使用衛星資料一覽表

項次	衛星名稱	產品	空間解析度	時間解析度	備註
1	SPOT6	Panchromatic	1.5 m	Monthly	
		Multi-spectral	6 m	Monthly	
2	Sentinel 1A	Backscatter (後向散射係數)	10 m	6 days	單位：dB
	Sentinel 1B		10 m	6 days	
3	Sentinel 2A	Multi-spectral	10 m ~ 60 m (隨波段不同有差異)	5 days	包含：可見光、紅邊、近紅外光、以及短波紅外光範圍，總共13個波段
	Sentinel 2B			5 days	
4	SMAP	L2_SM_SP	3km	3~5 days	使用 Sentinel 1 增加其解析度
		L2_SM_P	9km	daily	延遲約1天
		L3_SM_P_E	9km	daily	延遲約2天
		L4_SM	9km	3hour	延遲約4天
5	MODIS	MOD09A1	500m/250m	8 days	
		MOD11A1	6km/1km	Daily	
		MOD13Q1	1km/500m/250m	16 days	
		MCD15A3H	1km/500m	4 days	
		MCD43A3	500m	Daily	

資料來源：本計畫彙整

一、SMAP

SAMP (Soil Moisture Active Passive, SAMP) 為 JPL (NASA's Jet Propulsion Laboratory) 用於地表土壤含水量監測的計畫，採用雷達與輻射劑量儀 (radiometer measurements)，監測土壤含水量與冰層消融。空間解析度為 9 公里網格資料，資料自 2015 年 4 月至今，每 3 小時 1 筆資訊。SMAP 衛星產品一覽表請見表 2-8。

表 2-8 SMAP 衛星產品一覽表

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_TB_E	Radiometer T_B Optimally Interpolated on EASE2.0 grid	9 km	12 hrs	
L1B_S0_LoRes*	Low Resolution Radar σ_0 in Time-Order	(5x30 km)	12 hrs	
L1C_S0_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	
L1C_TB_E	Radiometer T_B in Half-Orbits, Enhanced	9 km	12 hrs	
L2_SM_A*	Soil Moisture (Radar)	3 km	24 hrs	Science Data (Half-Orbit)
L2_SM_P	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	24 hrs	
L2_SM_P_E	Soil Moisture (Radiometer, Enhanced)	9 km	24 hrs	
L2_SM_AP*	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	24 hrs	
L2_SM_SP	Soil Moisture (Sentinel Radar + Radiometer)	3 km	Best effort	
L3_FT_A*	Freeze/Thaw State (Radar)	3 km	50 hrs	Science Data (Daily Composite)
L3_FT_P	Freeze/Thaw State (Radiometer)	36 km	50 hrs	
L3_FT_P_E	Freeze/Thaw State (Radiometer, Enhanced)	9 km	50 hrs	
L3_SM_A*	Soil Moisture (Radar)	3 km	50 hrs	
L3_SM_P	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	50 hrs	
L3_SM_P_E	Soil Moisture (Radiometer, Enhanced)	9 km	50 hrs	
L3_SM_AP*	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	50 hrs	Science Value-Added
L4_SM	Soil Moisture (Surface and Root Zone)	9 km	7 days	
L4_C	Carbon Net Ecosystem Exchange (NEE)	9 km	14 days	

*only available from April 1 – July 7, 2015 due to the failure of the SMAP radar on July 7, 2015

二、SPOT

1986 年 2 月法國成功的發射第一顆 SPOT 衛星 (SPOT-1) 展開 SPOT 序列衛星觀測任務，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-4 衛星，於 1998 年 3 月發射，SPOT-5 號衛星於 2002 年 5 月發射升空。

SPOT 1-4 衛星已停止運作，SPOT 系列後續衛星 SPOT-6 於 2012 年 9 月發射成功，而同型衛星 SPOT-7 於 2014 年升空運作，SPOT-6 及-7 與兩顆 Pleiades 衛星將組成一星系進行運轉，可達成每日再返之能力。

SPOT-1-3 衛星上有兩組 HRV (High Resolution Visible) 感測器，每一組感測器分別擁有多光譜態 (XS) 及全色態 (PAN) 兩種模式。多光譜之三個波段分別為綠光段 (XS1: 0.5 μm –0.59 μm)，紅光段 (XS2: 0.61 μm –0.68 μm) 與近紅外光段 (XS3: 0.79 μm –0.89 μm)，而全色態的波長範圍則在 0.50 μm –0.73 μm 。每一組 HRV 之每一波段皆有 6000 個 CCD。其中全色態每一個 CCD 對應一個像元，多光譜態每一像元由兩個 CCD 之資料相加平均而組成。每一組 HRV 之視野角 (Field of View) 為 4.25 度。在垂直向下攝影 (近地點，Nadir) 時對應之地面寬度為 60 公里 (此時 PAN 之地面取樣間距為 10 公尺，XS 則為 20 公尺)。SPOT 衛星每一組 HRV 可在 ± 27 度內移動進行傾斜拍攝，在 27 度時其地面寬度約為 80 公里，此時 PAN 之地面取樣間距 約為 13.5 公尺，XS 之地面取樣間距約為 27 公尺。在 ± 27 度內共有 91 個角度位置，相鄰兩角度差 0.6 度。此傾斜觀測能力使得 SPOT 可在其目標左右各 400 餘公里內選擇，觀測幅寬從 60 至 80 公里範圍，利用此一功能更可對一特定地區增加觀測次數，以及進行立體觀測與製作數值地形模型。由於 SPOT 衛星載有兩組完全相同之 HRV 感測器，因此在資料獲取時可採用 Twin Mode 或 Double Mode 進行拍攝計畫。所謂 Twin Mode 是指拍攝時兩感測器採用相同光譜模式 (PAN+PAN 或 XS+XS)，並且以 117 公里之像幅寬度拍攝地表 (像底點)，也就是兩感測器所拍攝之影像在地面上約有 3 公里之重疊區域，如此可以在單次拍攝計畫中獲取最大範圍之資料。一般拍攝時兩感測

器可採用相同或不同光譜模式 (PAN+PAN、XS+XS、PAN+XS 或 XS+PAN) 拍攝，而兩感測器之觀測角亦可相同或不同。若兩感測器採用 PAN+XS 或 XS+PAN 光譜模式，並且以相同觀測角拍攝同一地點時，即可同時獲取 60 公里幅寬之黑白與彩色影像，稱為 Double Mode，此資料若進行高解析度影像融合將有最佳之效果。

SPOT-4 衛星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 衛星擁有 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。此外，在定位精度方面，過去 SPOT-1~4 衛星利用載體軌道參數所得到之絕對定位誤差約為 1000 公尺，而 SPOT-5 衛星利用 Star Tracker 與 DORIS 系統進行姿態與

軌道位置之定位，在未使用地面控制點且為平坦地形之絕對定位精度已可提高到 50 公尺。表 1 為 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式。另外，HRS 為立體觀測感測器，專為製作數值地形模型而設計，其拍攝範圍為 120 公里 (寬) x 600 公里 (長)，拍攝方式為同軌立體，以便獲取相同大氣狀況之立體影像。其空間解析度為 10 公尺 (Across Track) x 10 公尺 (Along Track)，並且在沿軌道方向重複取樣 (Over Sampling) 5 公尺。由於此感測器之觀測視角固定為 40 度，使得基線航高比 (B/H) 可高達 0.84，加上高精度之軌道參數，在平坦地形且未使用地面控制點之情況下，所製作之數值地形模型其定位精度約可達 15 公尺。然而，由於 HRS 為法國 IGN 所贊助設計之感測器，該公司之政策為不提供任何地面接收站來接收此資料，因此本站雖然可以接收 SPOT-5 HRG 資料，但無法接收其 HRS 資料。SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式整理於表 2-9。

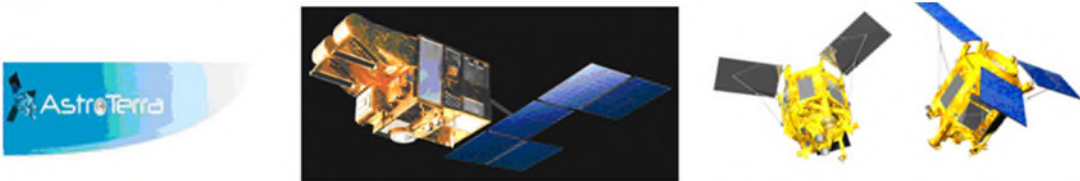
表 2-9 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式

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

資料來源：國立中央大學太空及遙測研究中心

SPOT 系列後續衛星 SPOT-6 於 2012 年 9 月發射成功，而同型衛星 SPOT-7 於 2014 年升空運作。SPOT-6 承續 SPOT 系列衛星之傳統，具備 60 公里之幅寬，可提供大範圍土地利用監測、災害監測及相關應用。SPOT-6 相較於 SPOT-5，有數點改進，包括(1)解析度由 2.5 公尺提升至 1.5 公尺，可提供細緻之地物細節，(2)衛星姿態控制方式改為本體旋轉，影像拍攝便利性增加，更可拍攝同軌立體對影像，(3)灰度值取樣增加為 12bit，可保留更多灰度值之細節，及(4)未使用控制點之定位精度提升至 35 公尺。SPOT-6 感測器擁有多光譜態 (XS) 及全色態 (PAN) 兩種模式。多光譜之四個波段分別為藍光段 ($0.455\mu\text{m} - 0.525\mu\text{m}$)，綠光段 ($0.53\mu\text{m} - 0.59\mu\text{m}$)，紅光段 ($0.625\mu\text{m} - 0.695\mu\text{m}$) 與近紅外光段 ($0.76\mu\text{m} - 0.89\mu\text{m}$)，而全色態的波長範圍則在 $0.455\mu\text{m} - 0.745\mu\text{m}$ 。相較於 SPOT-5，SPOT-6 之多光譜感測器增加之藍色波段，可與紅色及綠色波段組成自然光影像。SPOT-6 與 SPOT-5 衛星規格比對如表 2-10。

表 2-10 SPOT-6&7 與 SPOT-5 規格比較



	Spot 5	Spot 6 & Spot 7
Launch mass	3 000 kg	712 kg
Size	Body: 3.1 x 3.1 x 5.7 m Solar array wingspan 8 m	Body: ~ 1.55 x 1.75 x 2.7 m Solar array wingspan 5,4 m2
Design Lifetime	5 years	10 years
Product resolution / swath	2.5 m / 2 x 60 km	1.5 m / 60 km
Daily image acquisition capability in HR mode (i.e. HRG only)	up to 3 Mkm ² / day in operation 2 Mkm ² / day average	up to 3 Mkm ² / day in operation/sat 2.2 Mkm ² / day average/sat
Agility	Roll only (mirrors)	All axes (platform)
Single pass stereo capability	Only through HRS	Single pass stereo and tri-stereo
Geolocation	50 m without GCP	35 m without GCP
System tasking reactivity	1 mission plan / day	up to 6 missions plans / day
Additional payloads	HRS, Vegetation 2, Doris	None

資料來源：國立中央大學太空及遙測研究中心

三、SENTINEL

本計畫所使用的兩顆衛星 (Sentinel-1 及 Sentinel-2) 皆是來自歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) 哥白尼計畫 (Copernicus Programme) 下的一個地球觀測任務，由該任務主要對地球表面進行環境監測，包括森林監測、冰川及土地覆蓋 監測、天然災害管理等。Sentinel-1 為一組主動式合成孔徑微波雷達，由兩顆衛星所組成 (Sentinel-1A 及 Sentinel-1B)，單顆衛星週期 12 天，兩顆衛星軌道呈 180 度，代表每 6 天的週期可獲得該地區影像。Sentinel-1 搭載了 C 波段 (5.4GHz) 的感測器。根據獲取數據的方式可分為四種，分別是：條帶模式 (Stripmap Model, SM)，干涉寬幅 (Interferometric Wide Swath, IW)，超寬幅 (Extra-Wide Swath, EW) 及波模式 (Wave Mode, WM)。Sentinel-1 的產品也分成 SLC (Single Look Complex) 及 GRD (Ground Range Detected) 兩種。本計畫選擇使用 Sentinel-1 的 Level-1A GRD IW 產品，解析度為 20m。由於 SLC 產品包含影像的相位資料，土壤含水量的推估研究則不需要相位資料，而且 SLC 產品容量也較大，因此 GRD 產品是比較適用在本計畫上。Sentinel-1 自 2014 升空後，便開始對地球陸地及海洋進行監測，至於台灣地區的第一張影像是 2014 年的 10 月底。

四、MODIS

美國太空總署 NASA 於 1999 年 12 月發射 Terra 衛星，隔年 5 月又成功發射 Aqua 衛星，如圖 2-20 所示，酬載中尺度衛星感測器 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)，使得在一天內對同一地區可獲取兩次地面資料，有助於了解全球的陸地與海洋的各種變化。

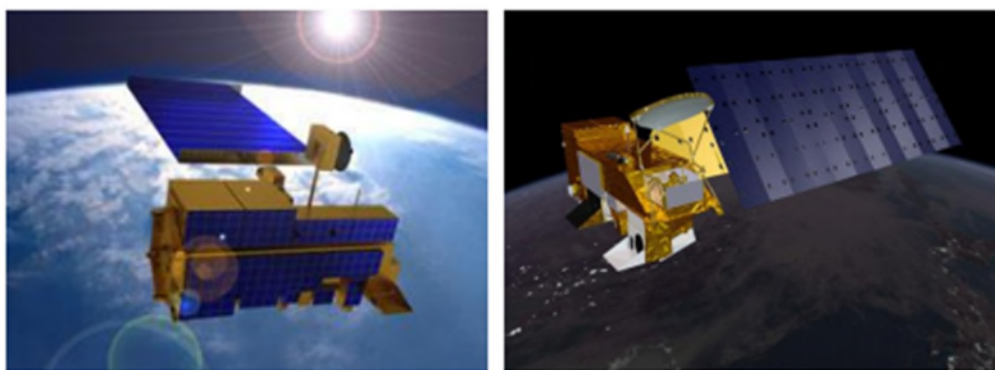


圖 2-20 MODIS 感測器之 Terra (左)及 Aqua (右)衛星

MODIS Terra 衛星軌道的繞行方向由北半球經赤道到南半球，使用格林威治時間，與台灣有 8 個小時的時差，經過台灣上空時間約為上午 10:30 左右，而 Aqua 衛星運行方向與 Terra 相反，經過台灣上空時間約為下午 13:30 左右。MODIS 具備 36 個光譜感測頻道，掃描寬度為 2330 公里，具有三個空間解析，250m、500m、1000m 提供涵蓋海洋、地表、大氣等 44 種資訊，隨著波段對大氣與海洋反射與吸收特性之不同，其應用也不相同，其中波段 1~2 可應用於植物的地表覆蓋變化和雲量鑑別；波段 3~7 (波長約為 459nm~2155nm)可應用於陸地及雲層特性之探討；波段 8~16 (波長約為 400~900nm)則可應用於分析葉綠素濃度分布特性；而波段 31~32 (波長約為 10.78~12.27 μ m)主要應用於地球表面溫度和雲監測。

第五節 遙感探測中與溼度有關之參數介紹

一、後向散射係數

主動式微波雷達成像資訊為接收其反射回來之能量，即為後向散射 (Backscatter)，後向散射為一物體表面散射波、粒子或訊號等能量沿原入射方向反射之現象，而後向散射係數數 (Backscatter coefficient)

即表示後向散射能量與原入射能量之比值。影響後向散射之因素有很多，包括地表粗糙度、入射角、極化方式、土壤介電常數等。其中土壤含水量的多寡會使其介電常數有所不同，此差異可用來推估土壤含水量 (陳錦麟，2018)。後向散射係數可由 Sentinel-1 SAR 影像資料經影像處理取得。

二、常態化差異植生指標 (NDVI)

常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index；NDVI) 又譯標準化植被指數、常態化差值植生指標，反映出地表植生生理特徵，其變化則受到土壤水分、生長環境的影響。當降雨量不足或水資源缺乏時，對植物所產生之影響在早期會使營養生長減緩，尤其是莖和葉片的生長會比根系生長更加敏感，因此植生指數會下降，可依據植生指數的浮動來推估土壤含水量的分布 (陳錕山，2009)。

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (式 2-1)$$

NDVI 之值落於 -1.0 ~ 1.0 範圍，指數越大時，代表綠色生物量之增加。

三、地溫 (LST)

地表溫度 (Land Surface Temperature; LST) 控制地表熱量和與水循環系統。地表溫度和土壤含水量在空間尺度上均隨土壤類型、土地覆蓋和土地利用等不同而變化，在時間尺度上則隨季節的變化而變化。LST 為推估土壤含水量之重要參數，其能顯示地表能量流動的狀態，亦能與土壤水分、植群水分狀態連結 (Savva et al., 2013)。而低量的 NDVI 會造成地表和空氣之間的溫度升高，而當水分供應不充足時，會產生地表與空氣之蒸氣壓不足，因此會造成熱能的流動量的增加，此即論述為何動態的土壤表面溫度可以解釋土壤含水量的變化

(Park et al., 2004 與黃雅莉等，2018)。本計畫將利用現地測量及 MODIS 衛星資料來取得地表溫度。

四、雨量

降雨量的多寡會使植生指數、地表溫度產生改變。其直接影響的因素即是降雨的入滲量，而影響入滲的因子包括降雨特徵（降雨強度）、土壤種類、土壤本體的含水量、土壤臨前水文條件以及地表覆蓋、地形等（吳怡瑩等，2013）。

五、坡度、坡向與高程

地形的不同會影響雷達的入射角度以及降雨的入滲量，間接影響地表溫度與植生指數，進而使土壤含水量的推估產生差異。因此本計畫也將坡度、坡向與高程納入計算考量，使用台灣 20 公尺 DTM 進行計算。

第三章 執行方法與步驟

第一節 預測模式概述

本計畫之目的為建構一預測模式，進行現地含水量之預測。預測工具採用隨機森林演算法；預測模式建構過程中，所預測之目標為集水區之現地含水量的實測數據；預測時所輸入之參數包含以下 6 類：(1)衛星遙測參數、(2)地形參數、(3)雨量參數、(4)量測日期、(5)地物分類、(6)研究區域等不同類型的參數。各類型的輸入參數內容說明如下。

一、衛星遙測參數包含：(1)修正前或修正後的後向散射係數(Sentinel-1) (圖 3-1)、(2) NDVI (Sentinel-2) (圖 3-2)、(3) NDWI (Sentinel-2) (圖 3-3)、(4)地溫 (MODIS) (圖 3-4) 與 (5)濕度(SMAP)(圖 3-5)，其中後向散射係數的修正與篩選將為分析的重點。

二、地形參數包含：(1)高程、(2)坡度與(3)坡向。

三、雨量參數包含進行現地濕度量測的(1)當天降雨量，及(2)前兩日、(3)前十日與(4)前 20 日累積降雨量。來源為氣象局雨量站內插。

四、量測日期指進行現地濕度量測該日於一年中的累積天數。

五、地物分類為以 Sentinel-2 衛星資料，分別使用(1)Parall、(2)SVM、(3)MahalDist 與(4)MaxLike 等方法，對現地濕度量測點進行地物分類的結果。

六、研究區域分成：(1)雙溪、(2)天花湖、(3)曾文、(4)阿公店、(5)士文與(6)牡丹水庫集水區等 6 區，依據現地濕度量測的採樣位置而定。

本計畫所使用之預測的工具為隨機森林演算法 (Random Forest)，其中的決策樹的個數設為 100，隨機選取現地含水量實測數據中的 80%作為訓練樣本，其餘的 20%為測試樣本。以訓練樣本進行預測模式之訓練後，再對測試樣本進行預測正確性的驗證，用來評估預測正確性的指標為均方根誤差 (root-mean-square error, RMSE) 與相關係數 (correlation coefficient)，最終的預測正確性結果，為重複執行 400 次隨機分類、訓練與測試驗證流程後，將各次驗證所獲得之正確性指標加以平均後的結果。

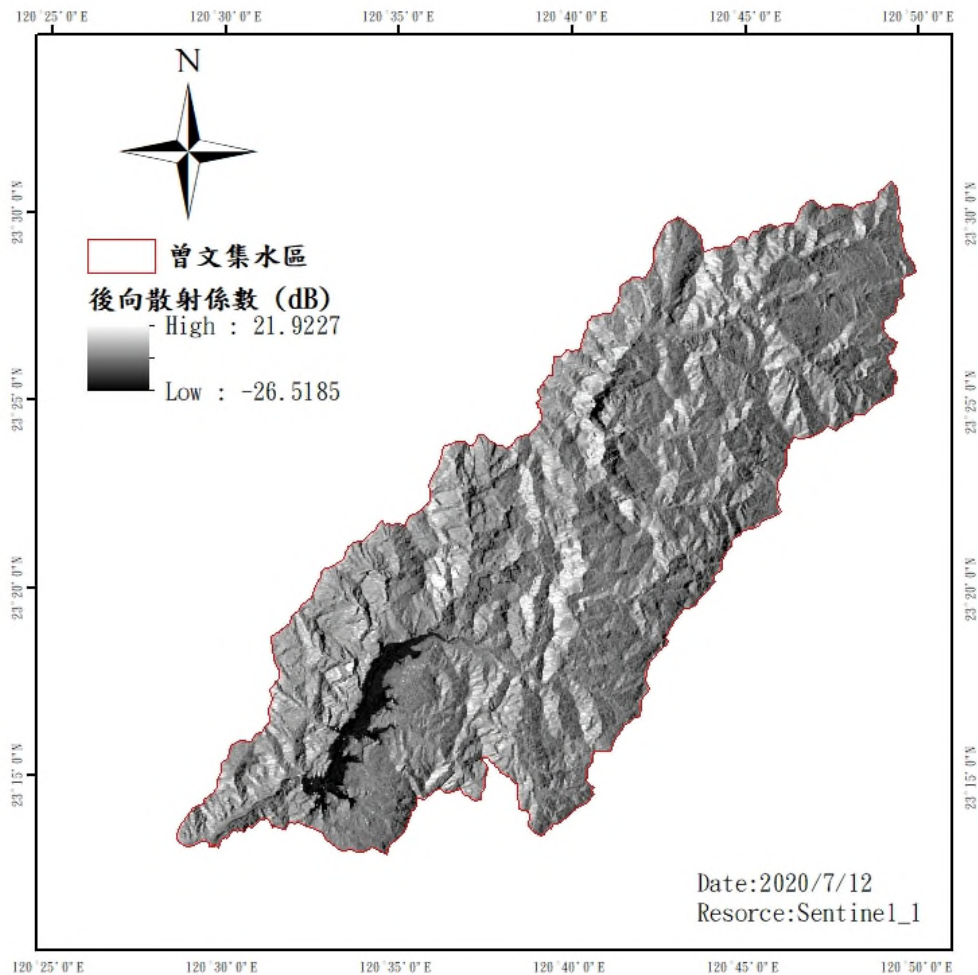


圖 3-1 後向散射係數觀測值範例(Sentinel-1 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/12)

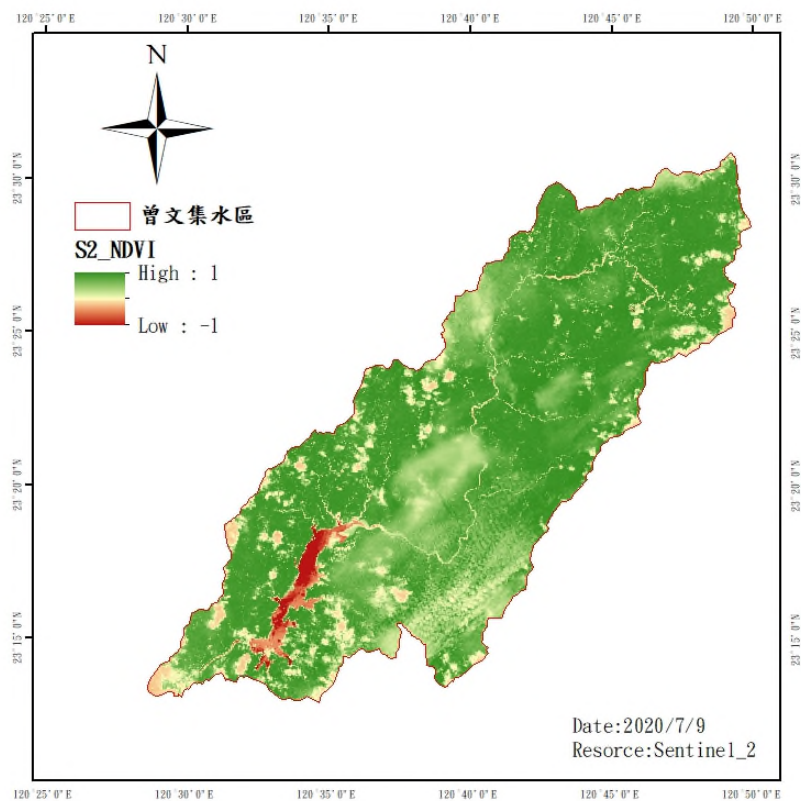


圖 3-2 NDVI 範例(Sentinel-2 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/9)

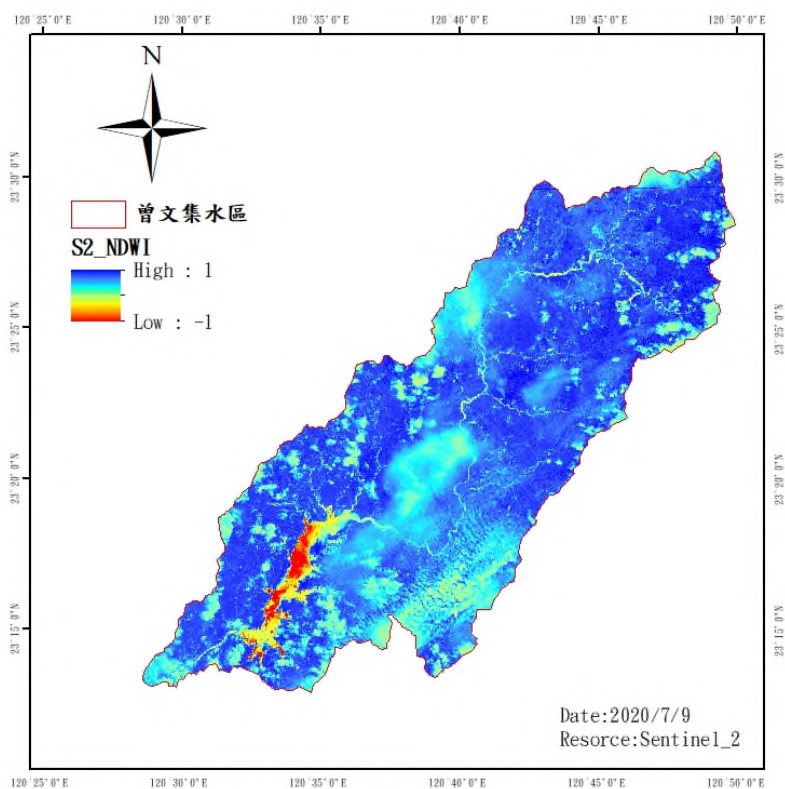


圖 3-3 NDWI 範例(Sentinel-2 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/9)

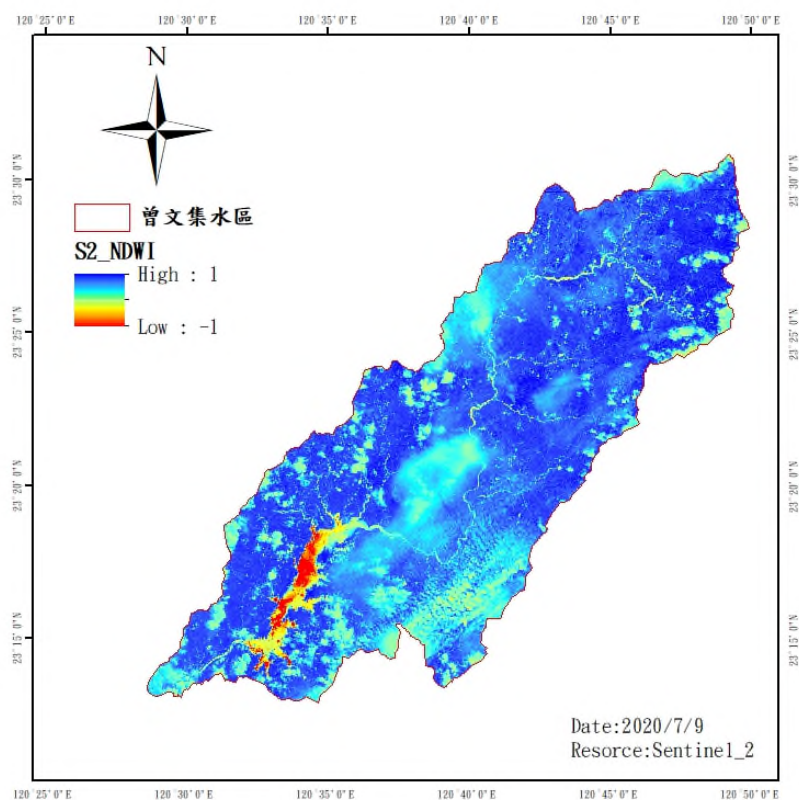


圖 3-4 地溫(LST)範例(MODIS 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/9)

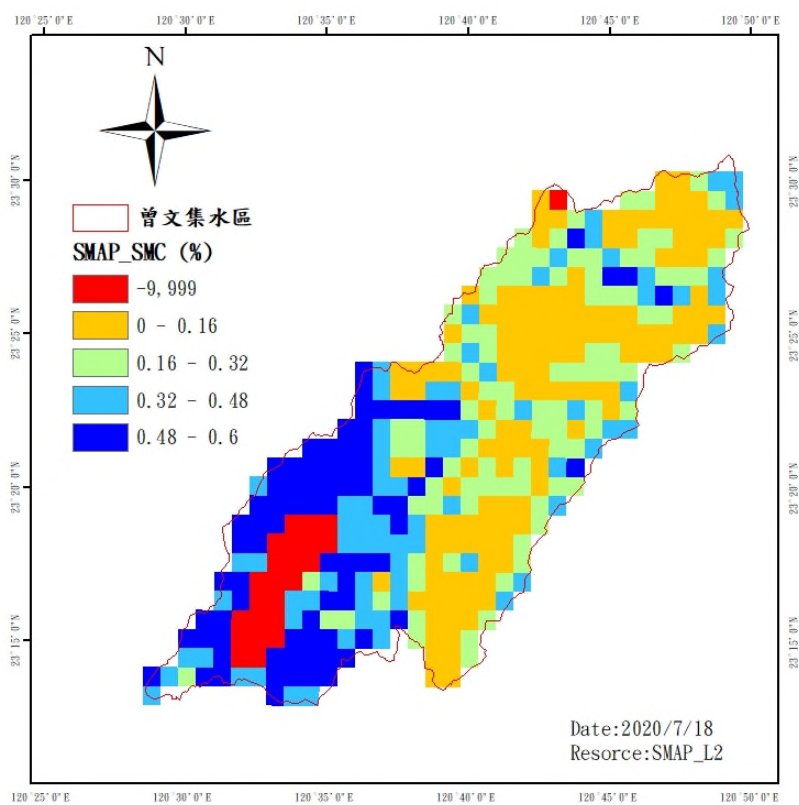


圖 3-5 大尺度濕度範例(SMAP 衛星、曾文水庫集水區、2020/7/18)

第二節 地物分類

本計畫使用監督式分類以取得現地含水量採樣點之地物種類參數。

監督式分類為利用已知的各地物類別作為訓練樣本，稱為訓練區，並計算各訓練區所含樣本之光譜統計值，作為影像資料分類之依據，再對整體影像以逐像元方式進行空間群落分析予以歸類。監督式分類法主要可分為三個階段，即(1)訓練階段：依所需求類別選取訓練區，並計算其光譜統計值；(2)分類階段：根據每一訓練區樣本之光譜統計值，將影像中每一像元依照某個特定的辨識函數予以分類；(3)輸出階段：將結果以主題圖型式、不同覆蓋類型的分類統計表或適用於地理資訊系統的記錄方式輸出。

地物分類執行的方法為使用 Sentinel 2 多光譜影像，於 ENVI 軟體中進行監督式分類，以人為的方式於影像中選取欲區分類別的地物樣本，再將這些樣本套入 ENVI 中各分類演算法。使用的演算法有平行六面體分類 (Parallelepiped Classification, Parall)、支持向量機 (Support Vector Machine, SVM)、馬哈朗諾比斯距離 (Mahalanobis Distance, MahalDist) 以及最大概相似法 (Maximum Likelihood, MaxLike) 等4種分類方法。本計畫將研究區域之地物種類分成五種：(1)森林地、(2)農地、(3)建築物與雲、(4)水體及(5)裸露地，並將分類結果納入預測地表含水量之輸入參數。以圖 3-6 為例，即為使用 MaxLike 地物分類法 (Sentinel-2) 之曾文水庫集水區分類結果。

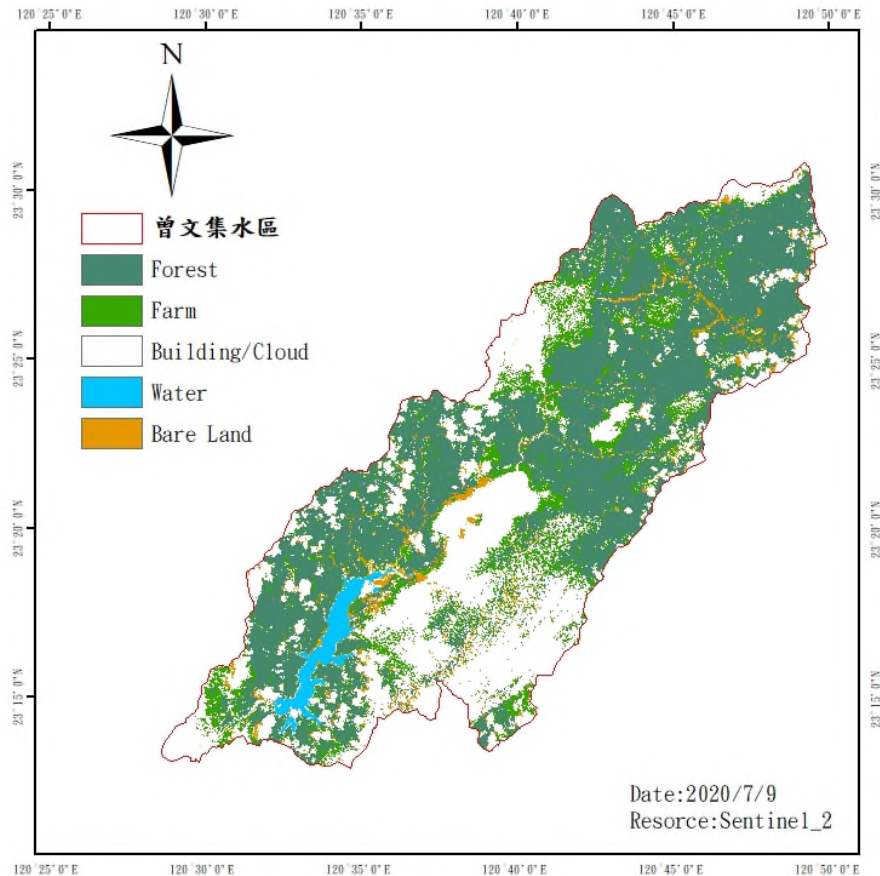


圖 3-6 使用 MaxLike 地物分類法(Sentinel-2)之曾文水庫集水區分類結果

第三節 後向散射係數之修正

將 Sentinel-1 衛星所獲取之後向散射係數，分別對(1)本地入射角與(2)後向散射係數模擬值進行修正，以突顯後向散射係數與地表含水量之相關性。修正原理與方法說明如下。

一、以本地入射角修正後向散射係數

後向散射係數除了與地表含水量有關外，亦隨植生狀況與雷達入射角（本地入射角）產生變化，其中，後向散射係數與本地入射角成反比的相關性，已被許多文獻所探討，例如 Ulaby et al. (1982)等研究。此本地入射角 (local incidence angle) 之定義為雷射射線與坡地法線

之夾角。如圖 3-1 所示，即為曾文水庫集水區於 2020 年 7 月 12 日之後向散射係數 (Sentinel-1) 觀測結果，於該區域中隨機取樣 10,000 個位置點，將該位置點上所對應之本地入射角與後向散射係數，繪於圖 3-7 中，觀察可知，本地入射角與後向散射係數彼此呈現反比之線性相關。

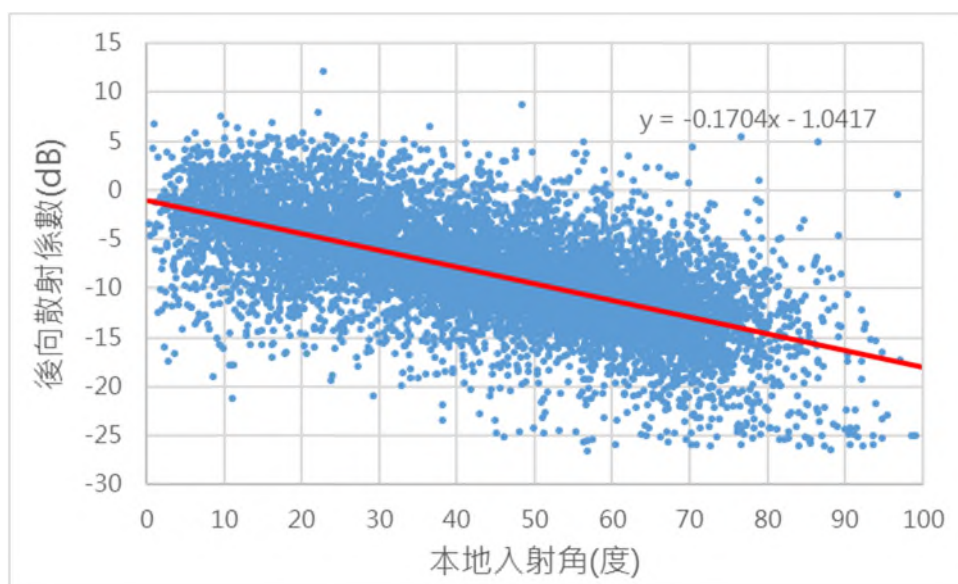


圖 3-7 曾文水庫集水區後向散射係數與本地入射角之相關性

本計畫採用 Schaufler et al. (2018)所建議線性模式，以此相關性之斜率 β 對後向散射係數 σ^0 進行修正，

$$\sigma^0(40^\circ) = \sigma^0(\theta_L) - \beta(\theta_L - 40^\circ) \quad (\text{式 3-1})$$

其中 θ_L 為本地入射角。此公式意義為將不同本地入射角所對應之後向散射係數，皆調整至特定 (例如本計畫所給定之 40 度) 本地入射角之水準。然而須瞭解的是，不同區域與不同時期中，本地入射角與後向散射係數之相關性並不相同，即線性相關之斜率與截距並非定值，因此，每次修正的過程中，皆須針對該後向散射係數圖，計算出對應於本地入射角之斜率，再進行修正。

本計畫進行現地含水量採樣點所對應之本地入射角與後向散射

係數 (修正前) 觀測值，標於圖 3-8 中之方點；以本地入射角所修正之後向散射係數，標於圖 3-8 中之圓點。其中，橫軸為本地入射角，縱軸為修正前或修正後之後向散射係數。

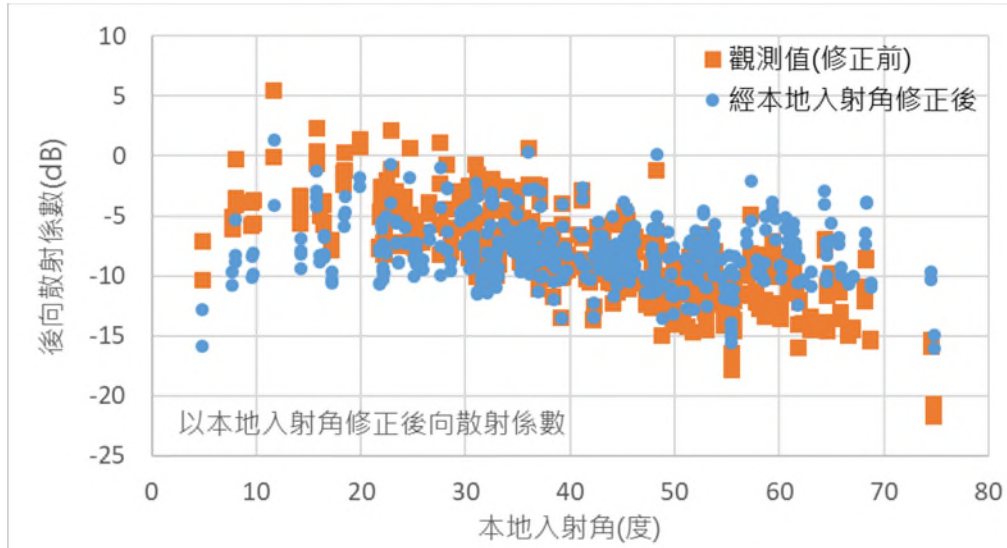


圖 3-8 含水量採樣點所對應之後向散射係數觀測值與本地入射角修正值

二、以後向散射係數模擬值修正觀測值

本計畫利用 SNAP 軟體中之合成孔徑雷達影像模擬運算法 (SAR Simulation Operator)，此運算法使用數位高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)、原始 SAR 影像的地理編碼、軌道資料以及 SAR 幾何成像的數值模型來生成 SAR 模擬影像，然而程序中並不考慮現地含水量與植生之狀況，因此，此後向散射係數模擬結果與實際值之差異，將蘊含現地含水量 (與植生) 之資訊。本計畫即使用後向散射係數觀測值與模擬值之差值，作為預測現地含水量之參數。

主要運算步驟為：

- (一) 從 SAR 影像產品中獲取雷達波長、範圍間距、傾斜範圍及軌道狀態向量等資料。
- (二) 利用軌道狀態向量進行插值計算每個方位角時間的衛星位置和速度。
- (三) 對 DEM 影像中的每個像元格重複以下步驟：
 1. 獲取該單元的緯度，經度和海拔；
 2. 將緯度，經度，海拔轉換為笛卡兒座標系統 $P(X, Y, Z)$ ；
 3. 使用都普勒頻率函數計算各點位 $P(x, y, z)$ 的零都普勒時間 t ；
 4. 計算 SAR 感測器在時間 t 位置 $S(X, Y, Z)$ ；
 5. 計算傾斜範圍 $r = |S - P|$ ；
 6. 計算經過偏差校正的零都普勒時間 $tc = t + r \frac{2}{c}$ ，其中 c 是光速；
 7. 更新衛星位置 $S(tc)$ 和傾斜範圍 $r(tc) = t + r \frac{2}{c}$ 對於偏差校正的都普勒時間 tc ；
 8. 使用零都普勒時間 tc 計算原始圖像中的方位角指數 Ia ；
 9. 使用傾斜範圍 $r(tc)$ 計算源圖像中的範圍指數 Ir ；
 10. 計算區域入射角；
 11. 計算後向散射並將其保存為像元值 $((int)Ia, (int)Ir)$ ；

(四)輸出模擬之 SAR 影像

如圖 3-9 為例，左圖為曾文水庫集水區於 2020 年 7 月 12 日之後向散射係數 (Sentinel-1) 觀測結果，右圖為所對應的模擬結果。另外，本計畫進行現地含水量測量之採樣點，各位置之後向散射係數觀測值與所對應之模擬值，標示於圖 3-10 中。其所使用之後向散射係數資

料，為使用最接近該次現地量測日期所拍攝之 Sentinel-1 影像進行處理。圖中顯示後向散射係數觀測值與模擬值，兩者呈線性關係，但觀測值約略大於模擬值，兩者之差值（觀測值減模擬值），即作為現地含水量預測模式之參數。

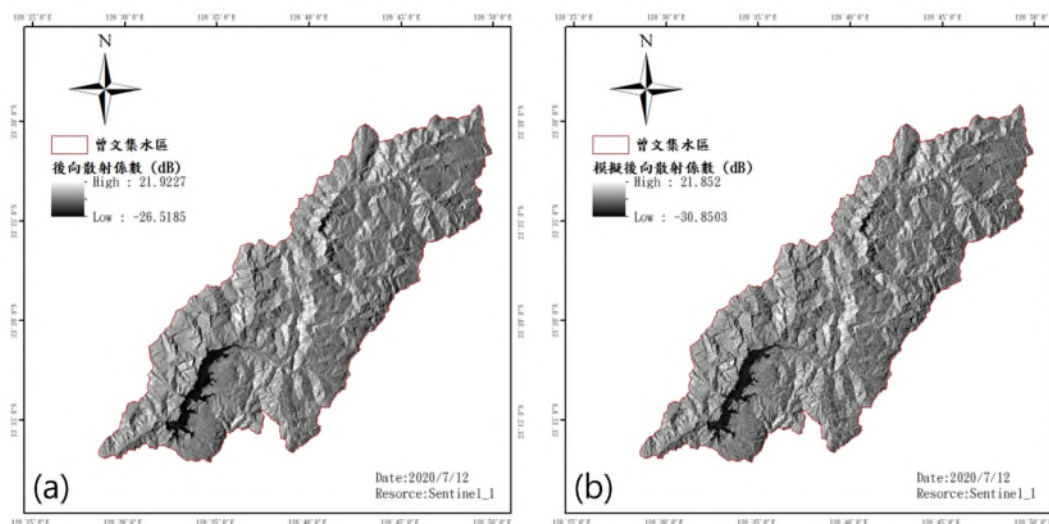


圖 3-9 曾文水庫區域後向散射係數(a)觀測值與(b)模擬值。

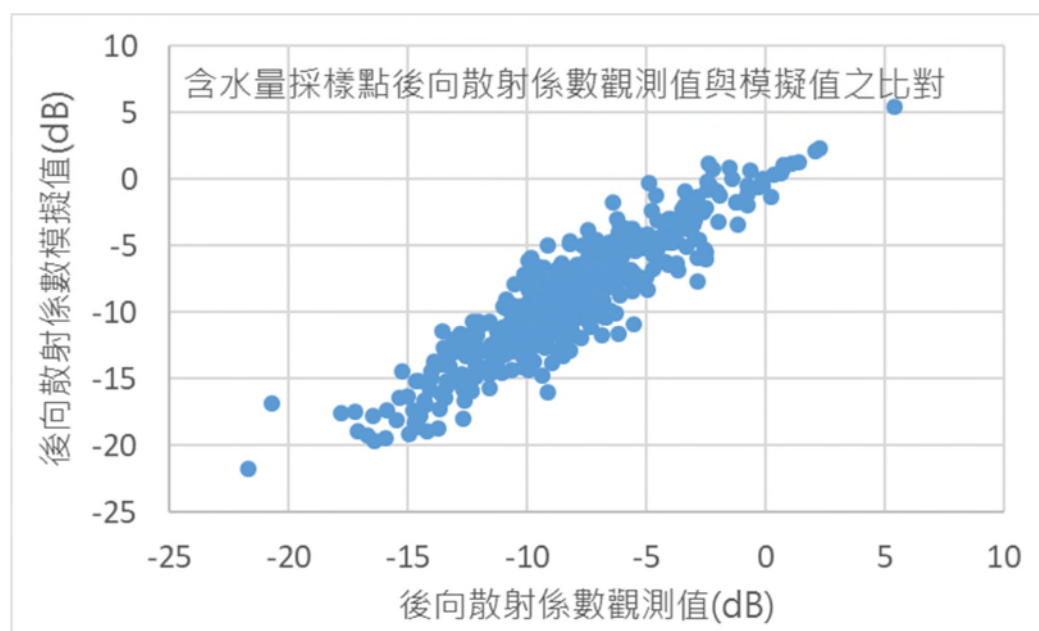


圖 3-10 現地含水量採樣點所對應之後向散射係數觀測值與模擬值

第四節 透視收縮和疊掩區域之剔除

本預測模式設定(1)入射波與坡向方位角之夾角門檻值與(2)本地入射角門檻值，作為剔除 SAR 成像過程中，發生透視收縮和疊掩區域的依據。

由於合成孔徑雷達系統為以側向掃描的方式進行成像，因此結果會出現圖像形變的現象。對於山區地形而言，會出現特有的幾何形變，主要包括透視收縮、疊掩與陰影。

透視收縮和疊掩主要發生在面向入射波的區域。透視收縮之意義為對應區域投影到圖像上所出現的收縮現象，即與平地上相同地物的圖像相比，圖像出現更高的亮度。此現象可能導致山頂和山腳兩處的回波，疊加到圖像上的同一點，而無法彼此區分；疊掩的意義為，對於某些面向入射波的區域中，高程較高的區域，其回波相較於高程較低區域的回波，優先被雷達所接收，導致高程較高區域的回波特徵被高程較低處回波所替換。

因雷達迴波於透視收縮和疊掩之區域很難被區分開來，故這些區域所觀測的後向散射係數將有所失真，因此，本預測模式設定適當之門檻值，透視收縮和疊掩之區域。

首先，設定方位角門檻值 $\varphi_{threshold}$ 。若 φ_s 為坡向方位角， φ_a 為入射波方位角，定義透視收縮和疊掩之區域發生於以下條件：

$$-\varphi_{threshold} \leq \varphi_s - \varphi_a \leq \varphi_{threshold} \quad (\text{式 3-2})$$

$$\pi - \varphi_{threshold} \leq \varphi_s - \varphi_a \leq \pi + \varphi_{threshold} \quad (\text{式 3-3})$$

若入射波方位角與坡向方位角之差值滿足上述條件，即入射波與坡向所夾銳角小於 $\varphi_{threshold}$ ，則該區域將於預測模式中剔除。

此外，並定義本地入射角門檻值 $\beta_{threshold}$ 。若坡度定義為 α ，雷達波入射角為 θ ，則沿著雷達入射波傳遞方向的單位向量 k_i 與坡面單

位法向量 n 可表示為：

$$k_i = \sin\theta \cos\varphi_a x + \sin\theta \sin\varphi_a y + \cos\theta z \quad (\text{式 3-4})$$

$$n = \sin\alpha \cos\varphi_s x + \sin\theta \sin\varphi_s y + \cos\theta z \quad (\text{式 3-5})$$

而本地入射角 β 可由下式計算：

$$\beta = \arccos(k_i \cdot n) \quad (\text{式 3-6})$$

本預測模式亦使用此本地入射角 β 值作為剔除透視收縮和疊掩區之依據，當本地入射角 β 小於 $\beta_{threshold}$ 之條件成立時，該區域亦將予以剔除。

第五節 水土保持局土壤水份觀測資料比對

將水土保持局土壤水份連續觀測資料，對雨量紀錄與後向散射係數進行比對，以瞭解時間上的相關聯性。所挑選的水分觀測站，為本計畫曾文區域附近的華山、豐丘、神木、坪頂與上安等 5 個土壤水份連續站，並挑選距離各土壤水份連續站最近的氣象局雨量站降雨觀測紀錄，作為雨量參數之來源。曾文區域附近土壤水份觀測與雨量站之分佈位置如圖 3-11 所示。



圖 3-11 曾文區域附近土壤水份觀測與雨量站之分佈位置

第四章 分析結果與討論

研究流程圖如圖 4-1 所示。以下分成 7 個部分，探討評估各參數與各方法對於提升現地濕度預測模式之預測的成效。

首先，先對分析區域進行地物分類法的適用性探討，以決定地物方類之模式，地物分類的結果作為後續現地濕度預測之參數。接著，針對後向散射係數以外之各項參數，逐一評估其對預測正確性之貢獻度。

本計畫之重點為評估如何納入後向散射係數作為預測含水量之重要依據，分析方法為分別針對不同地物分類結果進行分析，逐步評估使用後向散射係數觀測值與修正值，及設定門檻值以剔除疊掩等區域，對於提升預測正確性之助益。

以下使用 6 種納入後向散射係數進行預測的模式，針對不同地物分類結果，依序探討其預測正確性。模式簡述如下。

模式一：納入以 Sentinel-1 衛星獲取之「後向散射係數觀測值」

模式二：納入「經本地入射角修正後之後向散射係數」

模式三：納入「經模擬值修正後之後向散射係數」

模式四：納入「後向散射係數(未修正)觀測值」與「剔除疊掩等區域」

模式五：納入「經本地入射角修正後之後向散射係數」與「剔除疊掩等區域」

模式六：納入「經模擬值修正後之後向散射係數」與「剔除疊掩等區域」

最後，評估並說明水土保持局土壤水份連續觀測資料，對雨量紀錄與後向散射係數於時間上的相關聯性。

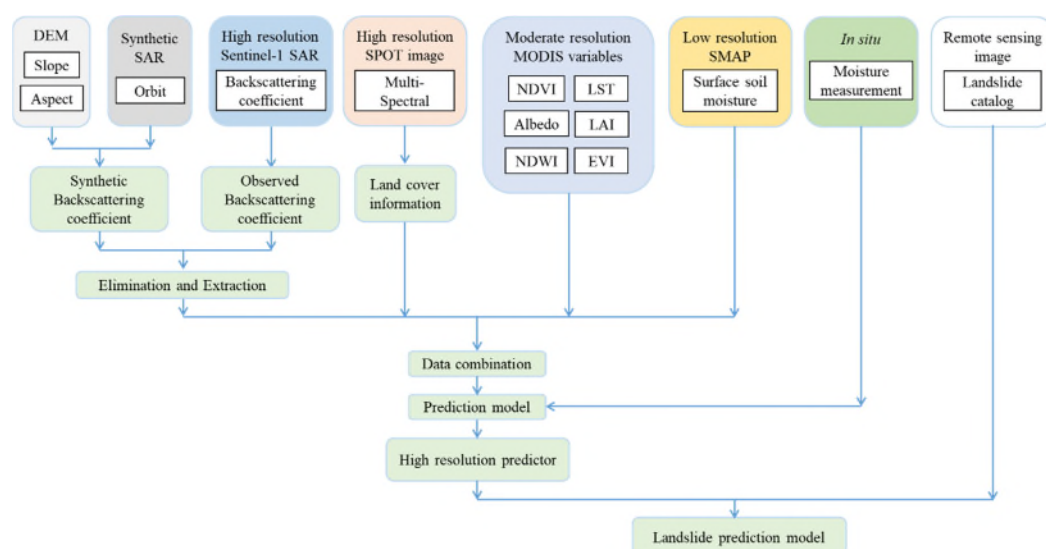


圖 4-1 研究流程圖

第一節 地物分類方法對提升濕度預測正確性之成效

本計畫考慮的地物分類方法，有(1) Parall、(2) SVM、(3) MahalDist 與(4) MaxLike 等 4 種，分別對 Sentinel-2 衛星與 STOP 衛星所提供之資料進行分類。為瞭解此 4 種地物分類方法對於現地濕度預測的適用性，故輪流採用此 4 種分類方法、輪流依據 2 種衛星資訊來源，對曾文區域進行地物分類，分類結果作為預測參數，連同上述不包含後向散射係數的其他預測參數，共同輸入至預測模式中。地物分類方法所對應之預測正確性指標，列於表 4-1 中。觀察表 4-1 可知，SVM 與 MahalDist 分類法有相對較佳之預測成果，以下擇一採用 MahalDist 分類法進行預測。另外，雖然 STOP 衛星的空間解析度大於 Sentinel-2 衛星，但從預測結果看來，兩者差異其實不大，但 Sentinel-2 衛星資料來源為免費，為考量後續應用性，故後續採用 Sentinel-2 衛星所提供之資料進行分類。

接著，使用 MahalDist 分類法與 Sentinel-2 衛星資訊，對所有研究區域進行地物分類與地表含水量預測。圖 4-2 中即為進行 400 場各自獨立的模式訓練與驗證之結果，橫軸為對驗證組進行濕度預測的預

測值，縱軸為實際現地濕度的觀測值，所獲得之 RMSE 與相關係數為 3.58 與 0.57，列於表 4-2 中。其他 3 種地物分類結果所獲得之預測正確性，一併列於表中比對。

表 4-1 不同衛星與不同地物分類法對曾文集水區之現地濕度預測正確性評估

地物分類方法	使用 Sentinel-2 衛星		使用 SPOT 衛星	
	RMSE	相關係數	RMSE	相關係數
Parall	3.53	0.23	3.55	0.21
SVM	3.49	0.22	3.47	0.22
MahalDist	3.44	0.22	3.52	0.21
MaxLike	3.56	0.21	3.52	0.22

表 4-2 Sentniel-2 衛星對各研究區域之現地濕度預測正確性評估

地物分類方法	RMSE	相關係數
Parall	3.62	0.57
SVM	3.63	0.56
MahalDist	3.58	0.57
MaxLike	3.60	0.57

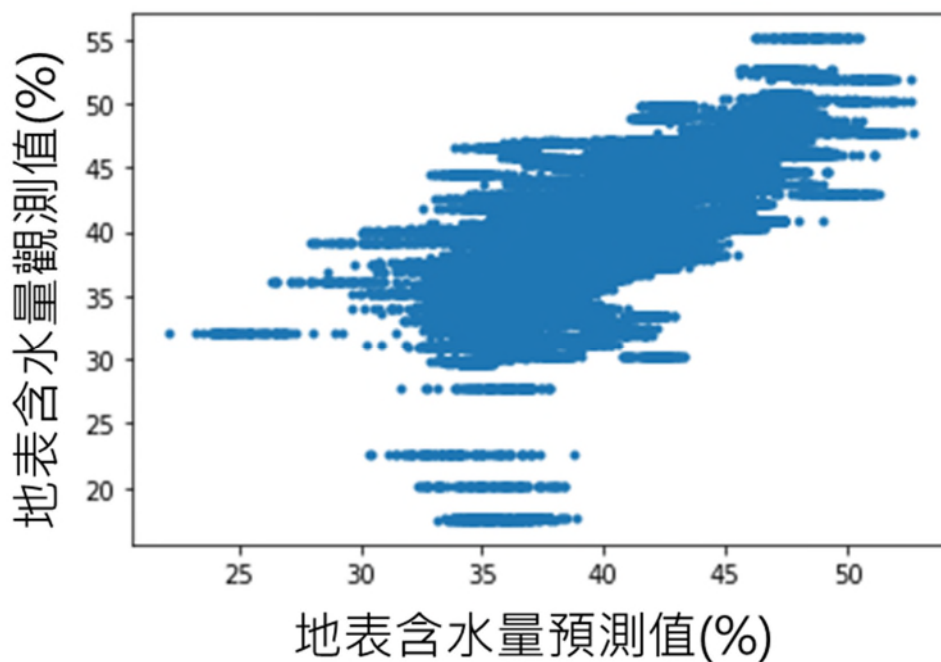


圖 4-2 使用後向散射係數以外之參數進行地表含水量預測

第二節 後向散射係數以外各參數對含水量預測之貢獻度

輪流將表 4-3 中的參數從預測模式中剔除，再進行模式訓練與驗證。輪流剔除各參數進行測試後，RMSE 與相關係數相對於剔除前的下降與上升百分比，列於表 4-3 中，此百分比可視為該參數對於提升模式預測正確性的貢獻程度。此測試過程中，使用 MahalDist 法、搭配 Sentinel-2 衛星進行地物分類，但尚未考慮後向散射係數。

表 4-3 各預測參數項對於現地濕度預測正確性的影響(不包含後向散射係數)

預測參數項	移除預測參數後對預測正確性的影響		預測參數項	移除預測參數後對預測正確性的影響	
	RMSE 下降幅度	相關係數上升幅度		RMSE 下降幅度	相關係數上升幅度
NDVI(Sentinel-2)	0.3%	0.9%	所有雨量參數	2.8%	3.5%
NDWI(Sentinel-2)	-0.4%	0.2%	當日降雨量	2.5%	3.1%
地溫(MODIS)	1.3%	2.2%	前兩日降雨量	1.8%	2.7%
大尺度濕度(SMAP)	2.1%	2.9%	前十日降雨量	1.2%	0.7%
高程	1.0%	0.1%	前 20 日降雨量	0.4%	0.2%
坡度	0.0%	0.3%	日期參數	3.2%	4.8%
坡向	0.4%	0.4%	研究區域	1.0%	1.5%

後向散射係數以外的各項參數中，對於地表含水量預測正確性貢獻程度較大的前 5 項參數依序為：日期 (3.2%, 4.8%)、雨量 (2.8%, 3.6%)、大尺度濕度 (2.1%, 2.9%)、地溫 (1.3%, 2.2%) 與研究區 (1.0%, 1.5%)。括弧內的數字為移除該項參數前後，RMSE 降低與相關係數提升的百分比。

對預測模式貢獻較大的 5 項參數中，貢獻最大者為日期，其貢獻程度甚至高於雨量，可見乾濕季氣候與四季氣溫的變化，對於現地濕度有很大的影響。

雨量參數對於現地濕度的預測，貢獻較大者依序為當日降雨量

(2.5%, 3.1%)、前兩日累積降雨量 (1.8%, 2.7%)、前 10 日累積降雨量 (1.2%, 0.7%) 與前 20 日累積降雨量 (0.4%, 0.2%)。可以預期的，前期降雨對於當日濕度的影響程度，為隨時間遞減。若將此 4 種雨量參數同時從預測模式中剔除，則 RMSE 升高 2.8%、相關係數降低 3.5%。

表 4-3 中的各項參數，重要性第 3 高的為 SMAP 衛星所測得之大尺度濕度資訊。可以理解的，此資訊必定在濕度預測模式中佔有重要地位。然而可惜的是，該資訊的 3 公里 (L2) 的空間解析度過低，無法正確測出採樣點所對應之濕度，因此還需其他參數所提供的資訊來補足。

地溫為影響地表濕度的重要因素之一，此常識也反應在地溫 (LST) 參數的重要性，在表 4-3 中排名第 4 高的分析結果上。此參數之來源為 MODIS 衛星，空間解析度為 1 公里，空間解析度不高，亦為此參數之缺點。

本計畫進行現地含水量採樣的區域，由北到南分別為雙溪、天花湖、曾文、阿公店、士文與牡丹水庫集水區等 6 區，分布區域相當廣，各自有其代表性。表 4-3 內的各項參數中，研究區域參數項的重要性排名第 5，此顯現出，台灣北中南各區域間，現地含水量的變化行為有相當大的差異性。

第三節 後向散射係數觀測值對預測正確性之影響

將以 Sentinel-1 降軌衛星所獲取之 (未修正) 後向散射係數(VV) 與本地入射角，納入預測模式的預測參數中，搭配前述其他提及的所有預測參數，分別對地物分類結果中的森林地、農地與裸露地之類群區域，進行訓練與驗證，此做法以下稱為「模式一」。其中，地物分類的結果，為使用 MahalDist 法、搭配 Sentinel-2 衛星資料進行。分類結果中，森林地、農地與裸露地之樣本數，分別為 293 筆、29 筆

與 70 筆。

森林地、農地與裸露地分類區域納入後向散射係數進行預測後，所預測出之地表含水量與實際量測值之關係圖，分別繪於圖 4-3(a)、圖 4-3 (b)與圖 4-3 (c)中。預測正確性指標列於表 4-4 中，納入後向散射係數後相關係數與 RMSE 的升降狀況如下。

(一)針對森林地之類群，RMSE 降低 0.8%、相關係數提升 1.6%

(二)針對農地之類群，RMSE 降低 2.5%、相關係數提升 19.8%

(三)針對裸露地之類群，RMSE 降低-0.9%、相關係數提升-1.7%

其中，農地類群之 RMSE 最低但相關係數偏低，應與其地表含水量觀測值的分佈區間相對較窄有關，然而農地類群的地表含水量預測正確性，在加入後向散射係數後，其改善的幅度大於其他兩類群。另外，在加入後向散射係數後，森林地的地表含水量預測正確性獲得提升，但裸露地之預測正確性卻反而降低。

此模式(一)之預測結果，尚未對後向散射係數進行修正，亦未設立門檻值對疊掩等區域進行刪除，後續將對此進行修正。

表 4-4 加入未修正之後向散射係數(模式一)後含水量預測正確性

	預測正確性		預測正確性之變化幅度		樣本數
	RMSE	相關係數	RMSE 下降幅度	相關係數 上升幅度	
森林	3.48	0.58	0.8%	1.6%	293
農地	3.21	0.19	2.5%	19.8%	29
裸露地	4.00	0.50	-0.9%	-1.7%	70

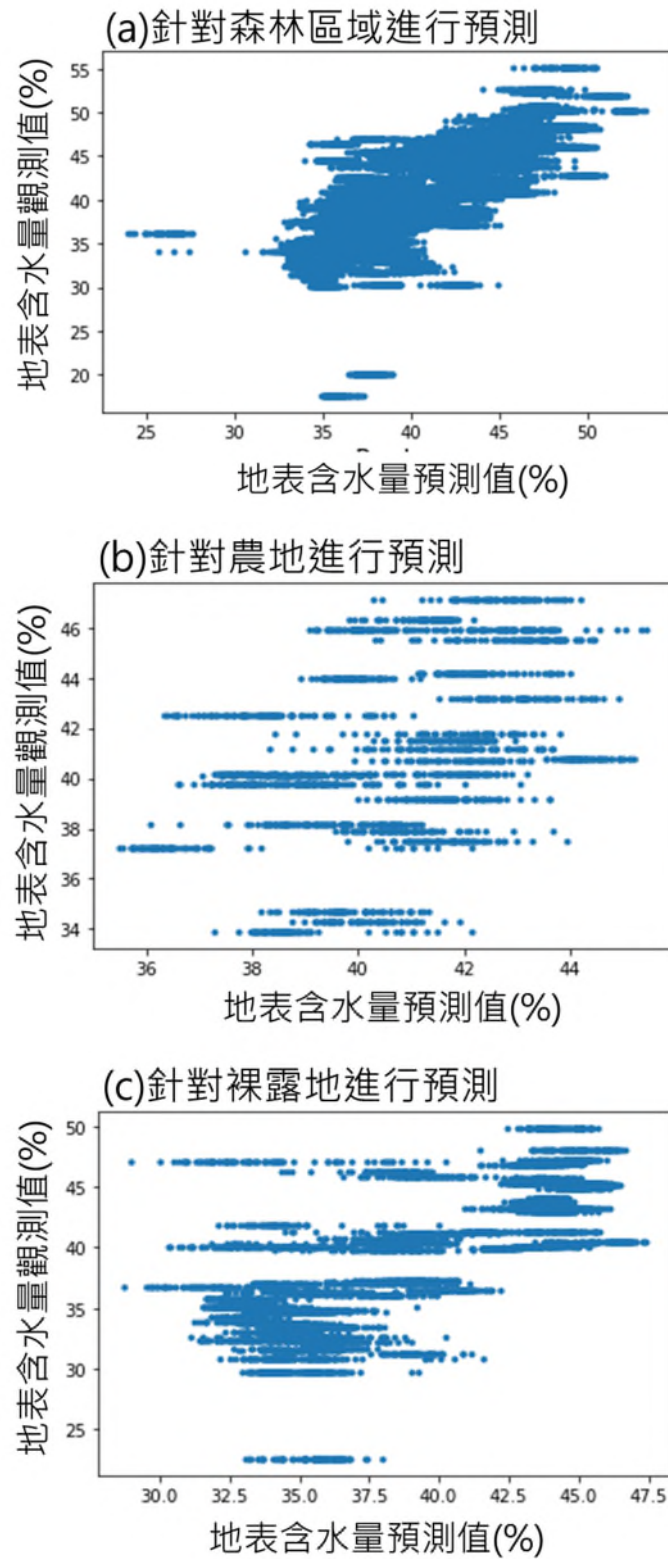


圖 4-3 比對納入後向散射係數之地表含水量預測模式的預測正確性

第四節 修正後向散射係以提升預測正確性

為進一步提升地表含水量預測經度，故將以 Sentinel-1 衛星所獲取之（未修正）後向散射係數與本地入射角，對本地入射角或模擬後向散射係數進行修正，再納入預測模式的預測參數中，並搭配前述其他提及的所有預測參數，分別對地物分類結果中的森林地、農地與裸露地之類群區域，進行訓練與驗證。

以下定義「模式二」為加入「經本地入射角修正後之後向散射係數」進行預測，其修正方法為將後向散射係數觀測值，帶入公式 3-1 中，以消除後向散射係數觀測值對於本地入射角之相依性，斜率係數 β 為該區域與該拍攝日期所對應之相關性；「模式三」為加入「經模擬值修正後之後向散射係數」進行預測，修正方法為先以軟體進行後向散射係數的模擬，將觀測值減模擬值之差值，作為現地含水量預測模式之參數。

森林地、農地與裸露地分類區域納入修正後的後向散射係數進行預測後（模式二與模式三），預測正確性提升的幅度列於表 4-5 中。另外，使用後向散射係數觀測值進行預測的模式一，其結果亦一併納入其中比對。比對此三種預測模式之成效可知，若針對森林區域進行預測，使用搭配本地入射角修正後之後向散射係數（模式二）將有較高之正確性；若針對農地進行預測，則使用經模擬值修正後之後向散射係數（模式三）進行預測較佳；然而，若針對裸露地進行預測，則使用後向散射係數進行後，反而降低其預測正確性，下一小節將進一步剔除疊掩等區域後進行預測，以彌補此三種模式之不足。

表 4-5 加入修正後之後向散射係數(模式二、三)對地表含水量預測之影響

		森林	農地	裸露地
RMSE 下降幅度	模式一	0.8%	2.5%	-0.9%
	模式二	1.2%	1.4%	-0.8%
	模式三	0.1%	6.8%	-2.8%
相關係數上升幅度	模式一	1.6%	19.8%	-1.7%
	模式二	1.6%	13.6%	-1.7%
	模式三	0.9%	73.9%	-6.0%

第五節 修正後向散射係數並設定門檻值以提升預測正確性

首先，設定不同方位角門檻值 $\varphi_{threshold}$ 與本地入射角門檻值 $\beta_{threshold}$ ，以剔除 SAR 成像過程中，被判斷為可能發生透視收縮和疊掩的區域，再將後向散射係數 (Sentinel-1) 分別對(1)本地入射角或(2)後向散射係數模擬值進行修正，修正後的結果，連同前述其他提及的預測參數，將納入預測模式中進行預測，評估不同門檻值所對應之預測正確性。

經測試並比較不同組合的門檻值所對應的正確性後，以下呈現並討論各地物分類結果所建議的門檻值範圍即其預測正確性。其中，方位角門檻值 $\varphi_{threshold}$ 對於森林區域與裸露地考慮 5 度至 12.5 度之範圍，對於農地考慮 30 度至 37.5 度；本地入射角門檻值 $\beta_{threshold}$ 對森林區域考慮 40~45 度，對農地考慮 5~35 度，對裸露地考慮 25~30 度。此三地物分類結果經不同後向散射係數修正法，並於不同門檻值下之預測正確性，分別繪於圖 4-4 至圖 4-6 中。其差異分析之目的，為瞭解納入後向散射係數前後的預測模式，對於含量預測正確性之差異，

因此前後兩種分析中所使用的樣本，皆已剔除疊掩等區域，以確保納入後向散射係數前後之分析，樣本能一致。

為方便討論，以下定義模式(四)為以「後向散射係數(未修正)觀測值」與「剔除疊掩等區域」進行預測；模式(五)為以「經本地入射角修正後之後向散射係數」與「剔除疊掩等區域」進行預測；模式(六)為以「經模擬值修正後之後向散射係數」與「剔除疊掩等區域」進行預測。

觀察圖 4-4 至圖 4-6 可瞭解，模式(四)對於提升地表含水量預測正確性的貢獻程度，於此三種地物分類中皆較低。於農地的分類中，模式(四)對於預測含水量的預測甚至出現反效果。可知若僅單純使用後向散射係數觀測值進行預測，而不進行修正，即使設定了門檻值剔除疊掩等區域，預測正確性也將不會出現明顯提升。

觀察圖 4-4 與圖 4-6 可瞭解，模式(五)對於預測正確性的提升，高於模式(六)，即「經本地入射角修正後之後向散射係數」與「剔除疊掩等區域」進行預測，將較有助於對提升森林與裸露地的地表含水量預測正確性。

而觀察圖 4-5 可瞭解，模式(六)使用「經模擬值修正後之後向散射係數」與「剔除疊掩等區域」的預測方法，預測正確性高於模式(五)，較有助於預測農地之地表含水量。

因門檻值的設定將會剔除疊掩等區域，進而使得該區域無法納入預測模式中，因此，若在相同的預測正確性下，應挑選較低的門檻值進行預測。

森林區域的地表含水量預測門檻值建議如下 (圖 4-4)：40 度的本地入射角門檻值，相對於 45 度，有較佳之效果，因此建議本地入射角門檻值設為 40 度；在 40 度的本地入射角門檻值下，5 度至 12.5

度間的方位角門檻值，所獲得的正確性差異其實不大，為使更多的區域能納入評估，故建議方位角門檻值設為 5 度。

農地的地表含水量預測門檻值建議如下 (圖 4-5): 觀察有較佳預測成果的模式(六)，30 度至 37.5 度間的方位角門檻值，所獲得的正確性差異其實不大，但降至 27.5 度時，正確性明顯降低，在盡可能納入更多預測區域的原則下，故建議方位角門檻值設為 30 度；在 5 度至 35 度間的本地入射角門檻值，所獲得的正確性差異不大，建議本地入射角門檻值挑選相對較的 5 度。

裸露地的地表含水量預測門檻值建議如下 (圖 4-6): 觀察有較佳預測成果的模式(五)，25 度的本地入射角門檻值，相對於 30 度，有較佳之效果，因此建議本地入射角門檻值設為 25 度；在 5 度至 12.5 度間的方位角門檻值，所獲得的正確性差異不大，建議方位角門檻值挑選相對較的 5 度。

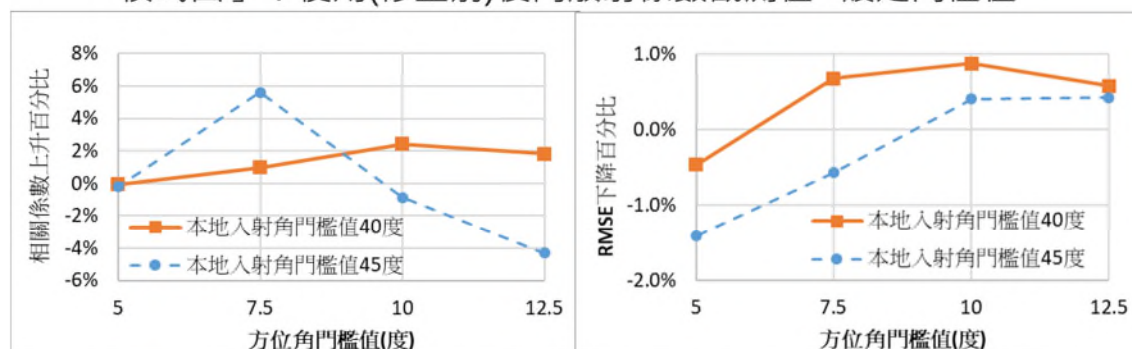
綜合上述分析結果，在表 4-6 中分別針對森林、農地與裸露地等三種地物分類結果，整理出建議的地表含水量預測效果最佳的預測模式、建議的本地入射角與方位角門檻值，並列出執行該程序過後的地表含水量預測正確性提升幅度。

表 4-6 修正後向散射係數並設門檻值後對地表含水量預測正確性之影響

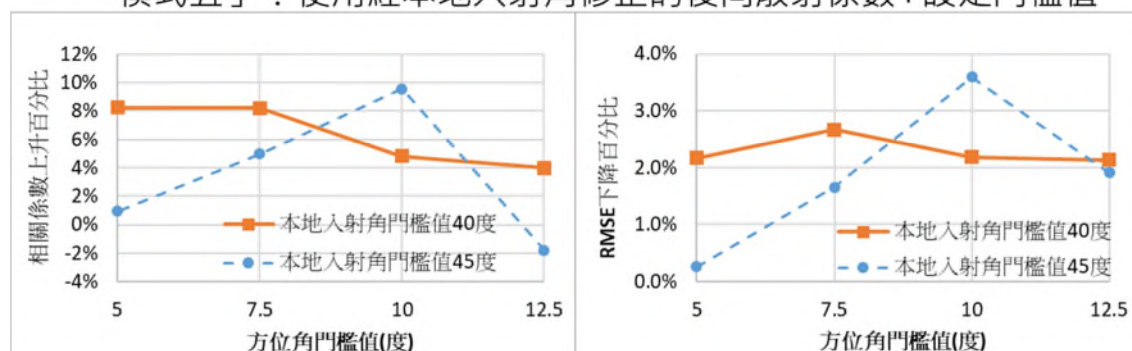
		針對的地物分類對象		
		森林	農地	裸露地
建議的門檻值	本地入射角	40 度	5 度	25 度
	方位角	5 度	30 度	5 度
建議使用的地表含水量預測模式		模式五	模式六	模式五
RMSE 下降幅度		2.2%	25.9%	5.3%
相關係數上升幅度		8.2%	470%	7.6%

針對森林區域~

「模式四」：使用(修正前)後向散射係數觀測值+設定門檻值



「模式五」：使用經本地入射角修正的後向散射係數+設定門檻值



「模式六」：使用經模擬值修正的後向散射係數+設定門檻值

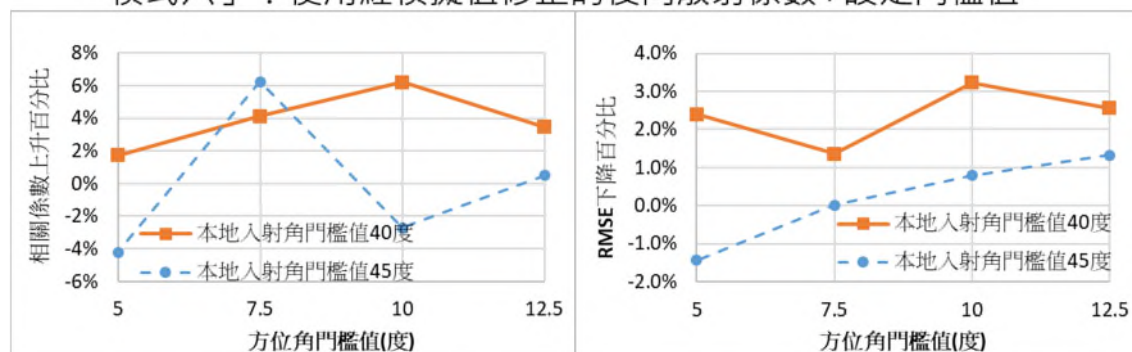
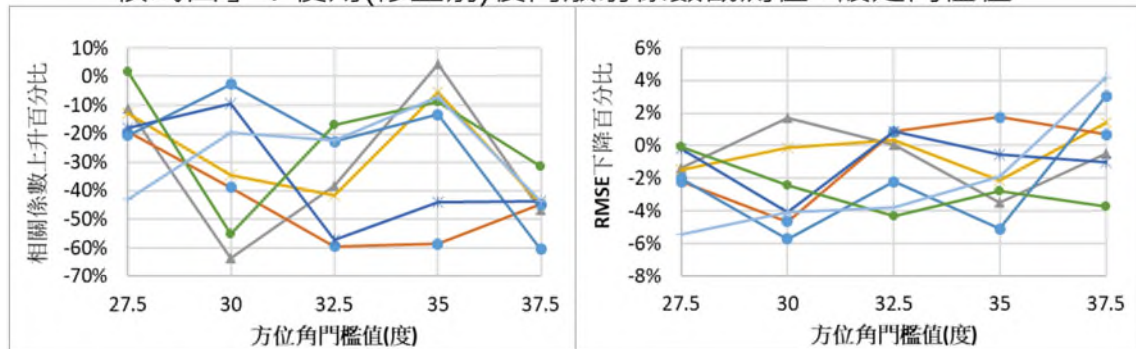


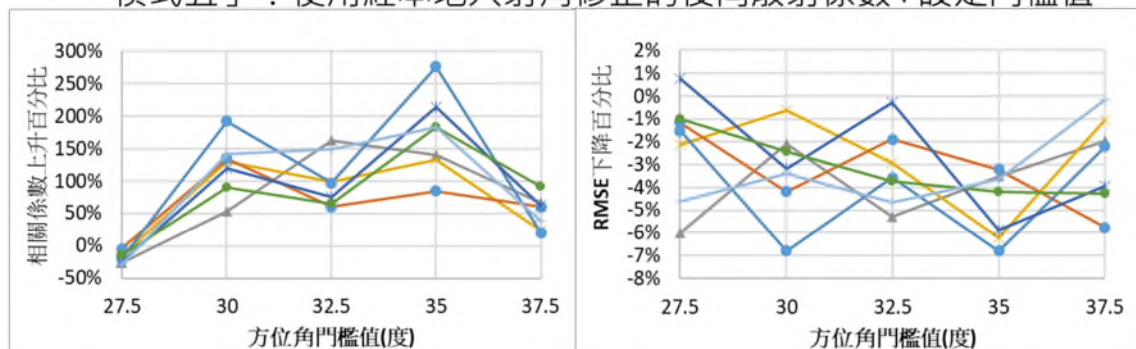
圖 4-4 修正後向散射係數與設定門檻值以提升森林地表含水量預測
正確性

針對農地~

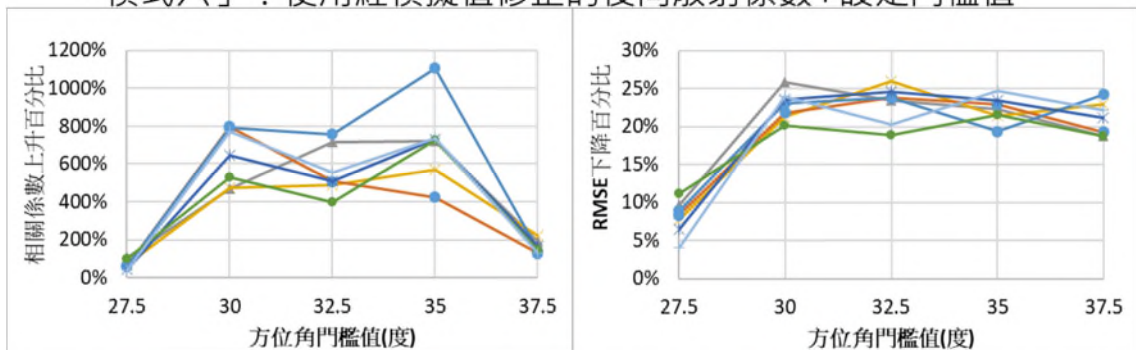
「模式四」：使用(修正前)後向散射係數觀測值+設定門檻值



「模式五」：使用經本地入射角修正的後向散射係數+設定門檻值



「模式六」：使用經模擬值修正的後向散射係數+設定門檻值

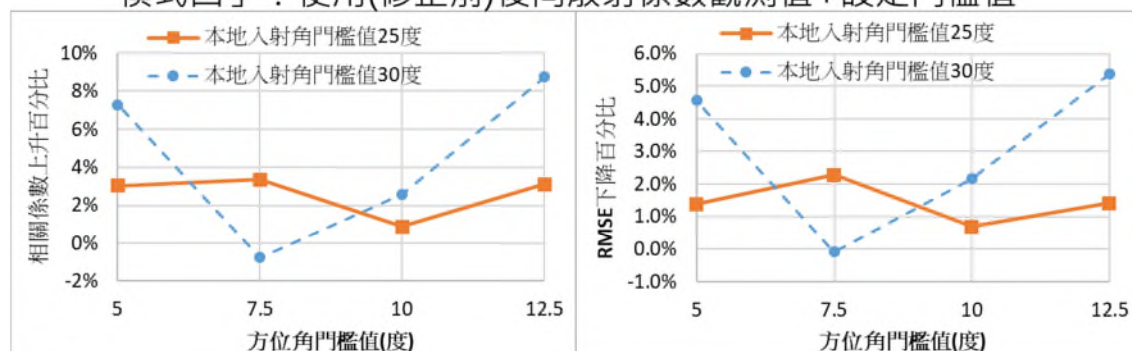


—本地入射角門檻值5度 —本地入射角門檻值10度
 —本地入射角門檻值15度 —本地入射角門檻值20度
 —本地入射角門檻值25度 —本地入射角門檻值30度
 —本地入射角門檻值35度

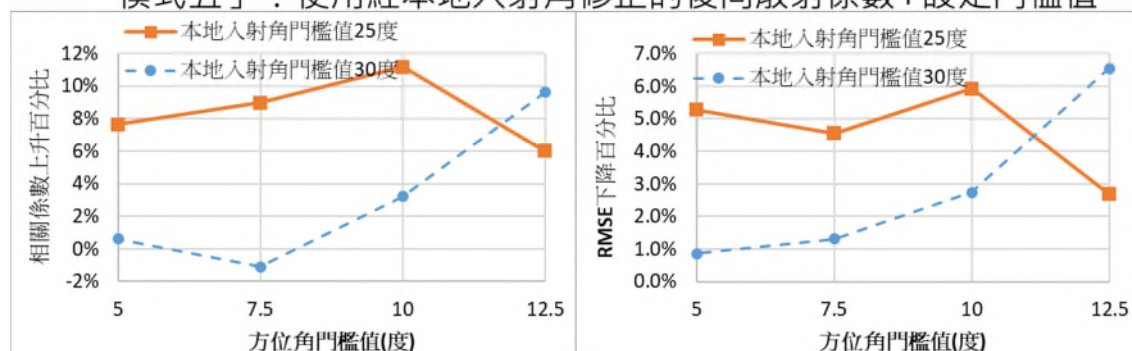
圖 4-5 修正後向散射係數與設定門檻值以提升農地地表含水量預測
正確性

針對裸露地~

「模式四」：使用(修正前)後向散射係數觀測值+設定門檻值



「模式五」：使用經本地入射角修正的後向散射係數+設定門檻值



「模式六」：使用經模擬值修正的後向散射係數+設定門檻值

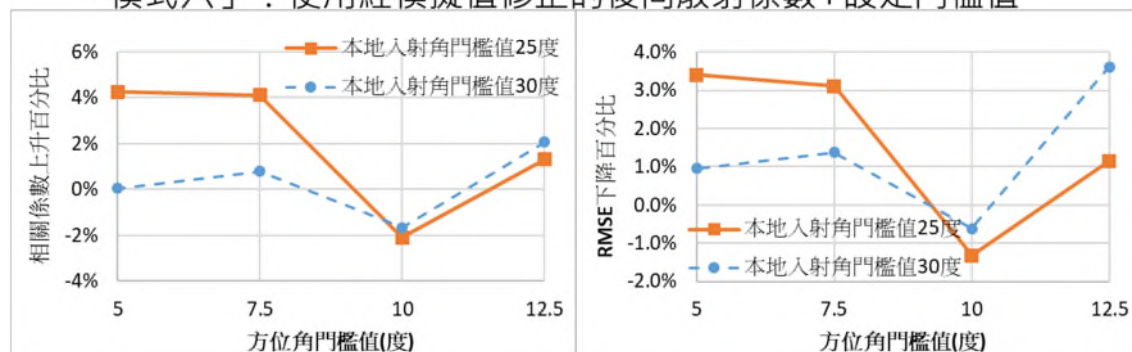


圖 4-6 修正後向散射係數與設定門檻值以提升裸露地地表含水量預測正確性

第六節 地表含水量預測正確性與適用性之綜合討論

各預測參數項或預測模式，對於現地濕度預測正確性的影響程度，整理於圖 4-7 (RMSE)與圖 4-8 (相關係數)中。觀察可瞭解，預測模式納入後向散射係數的考量後，正確性明顯提升。

但若單純將使用後向散射係數觀測值納入預測模式中，而不加以修正的話(即模式一)，則預測正確性上升的幅度並不明顯。若將後向散射係數進行修正後再進行預測，其效應才能顯現，若森林區域以模式二「經本地入射角修正後之後向散射係數」進行預測，正確性提升幅度為(1.2%, 1.6%)，若農地以模式三「經模擬值修正後之後向散射係數」進行預測，正確性提升幅度為(6.8%, 74%)。括弧內的數字為 RMSE 降低百分比與相關係數提升百分比。然而，裸露地之類群，即使進行後向散射係數進行修正後，亦無法改善其預測正確性。

接著，進一步以設定本地入射角與方位角門檻值的方式，剔除疊掩等區域後進行預測，則森林若使用模式五進行預測，正確性提升幅度為(2.2%, 8.2%)；農地若使用模式六進行預測，正確性提升幅度為(26%, 470%)；裸露地若使用模式五進行預測，正確性提升幅度為(5.3%, 7.6%)。從結果來看，預測正確性大幅提升，然而若以單一軌道之衛星資訊進行分析，則有部分區域將被剔除而無法進行預測，例如，本研究目前即使用降軌的 Sentinel-1 衛星進行後向散射係數之分析，故建議搭配使用升軌衛星，以避免有部分區域為提升預測正確性而被剔除在外。

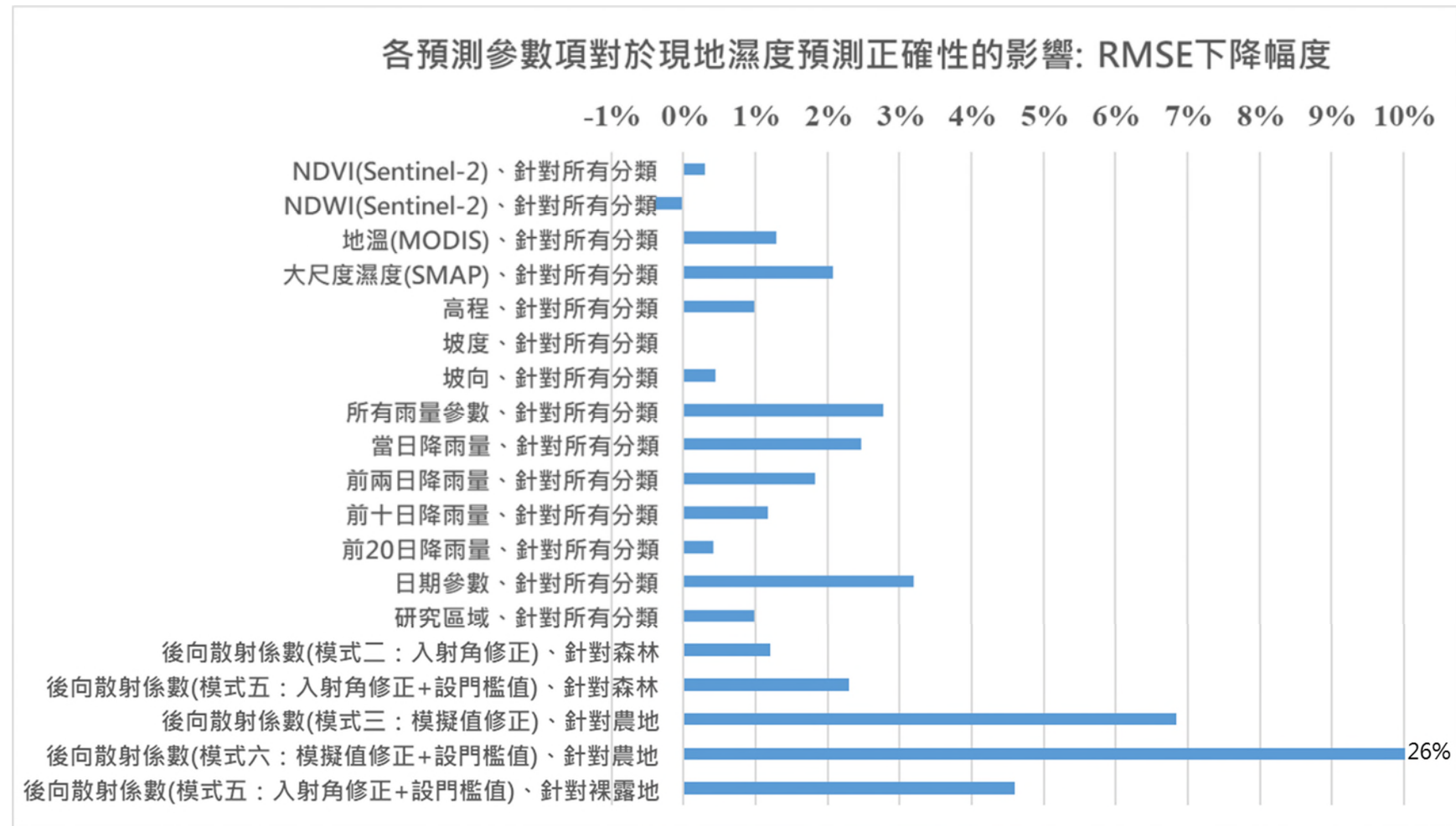


圖 4-7 各預測參數項對於現地濕度預測正確性(RMSE)的影響

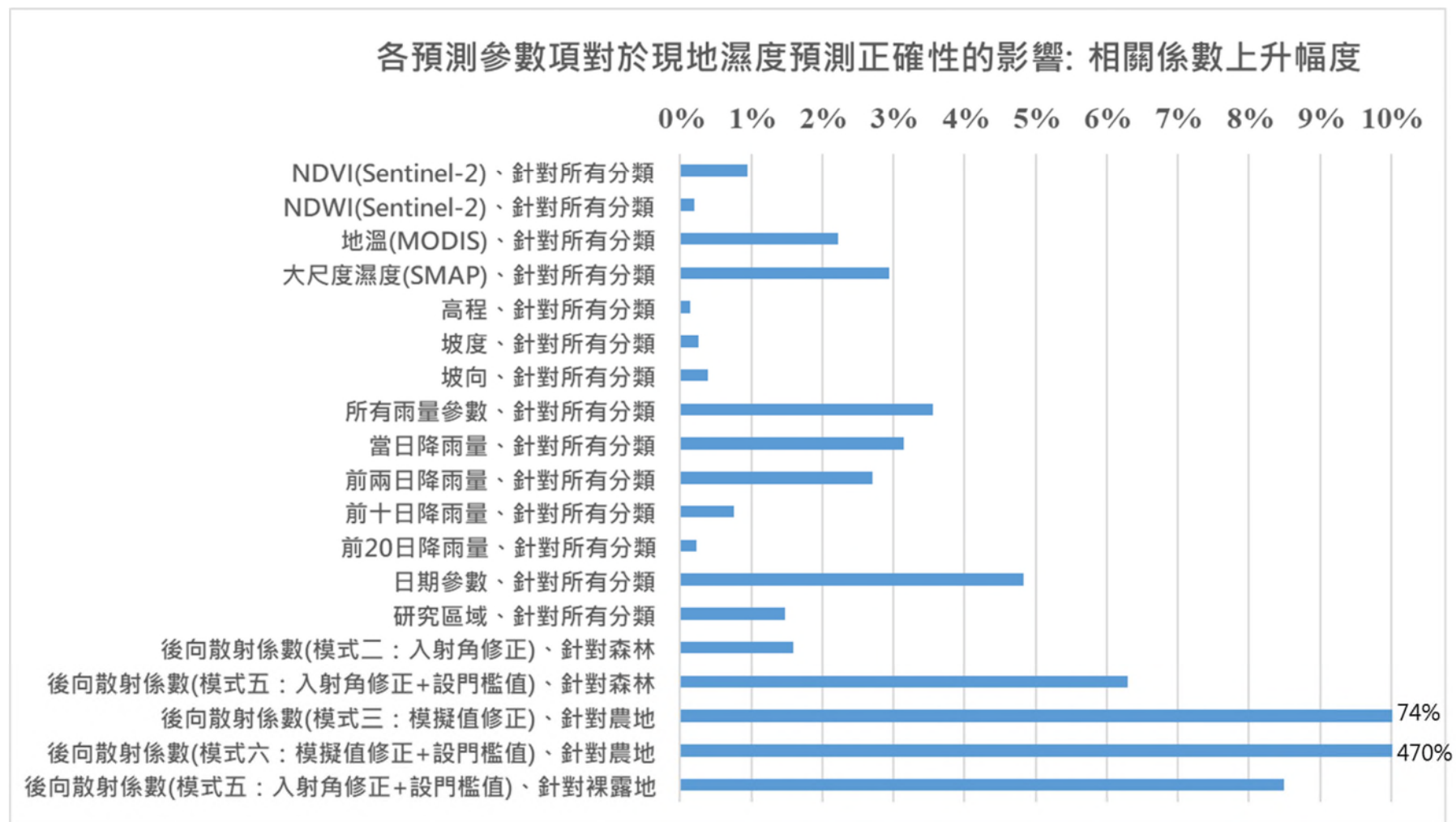


圖 4-8 各預測參數項對於現地濕度預測正確性(相關係數)的影響

第七節 水土保持局土壤水份觀測資料比對結果

水土保持局土壤水份連續觀測資料，對雨量紀錄與後向散射係數之比對結果，繪於圖 4-9 (華山站)、圖 4-10 (豐丘站)、圖 4-11 (神木站)、圖 4-12 (坪頂站)與圖 4-13 (上安站)。此 5 個含水量連續站紀錄，對於日雨量與後向散射係數之相關性，列於表 4-7 含水量連續站紀錄對日雨量與後向散射係數之相關性中。表中之相關係數顯示，特定位置上，其含水量對於日雨量在時間上的相關性，會高於對於後向散射係數之相關性。然而，此數據僅能顯示時間上之相關性，而並無法說明在空間上的相關性。

表 4-7 含水量連續站紀錄對日雨量與後向散射係數之相關性

含水量 站名	含水量與日雨量 之相關係數	含水量與後向散射係數 之相關係數
華山	0.36	-0.03
坪頂	0.36	0.43
上安	0.47	0.10
豐丘	0.06	-0.18
神木	0.32	-0.18

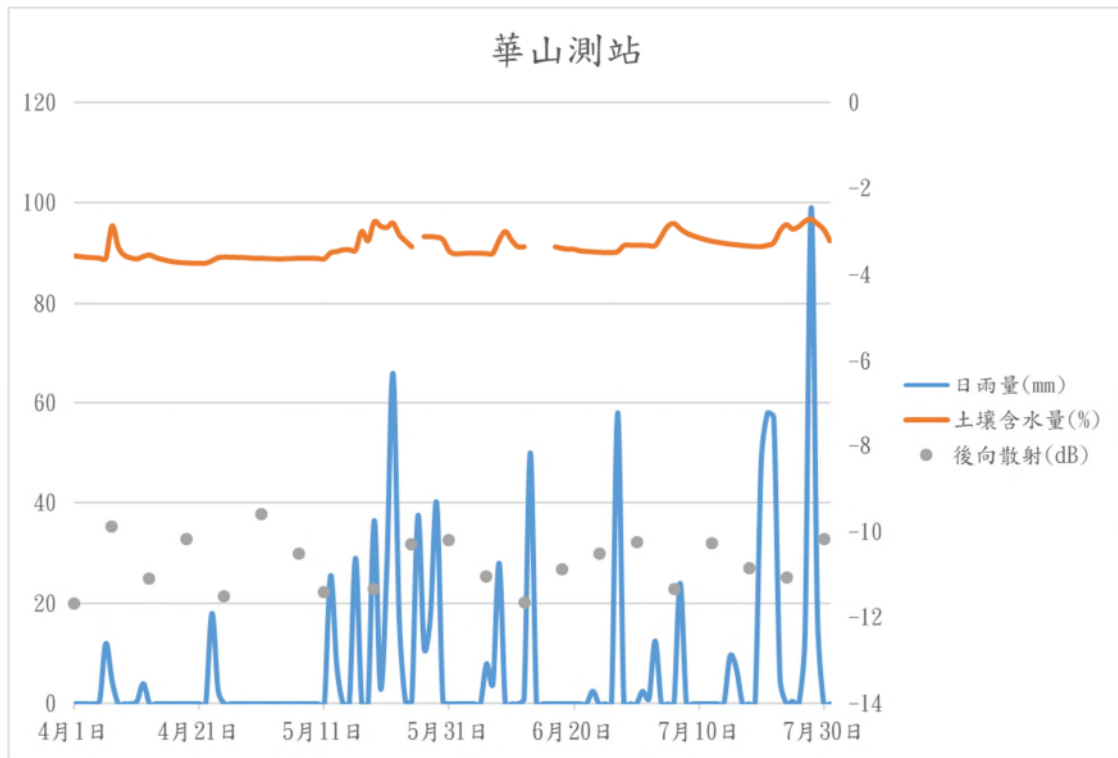


圖 4-9 華山站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對

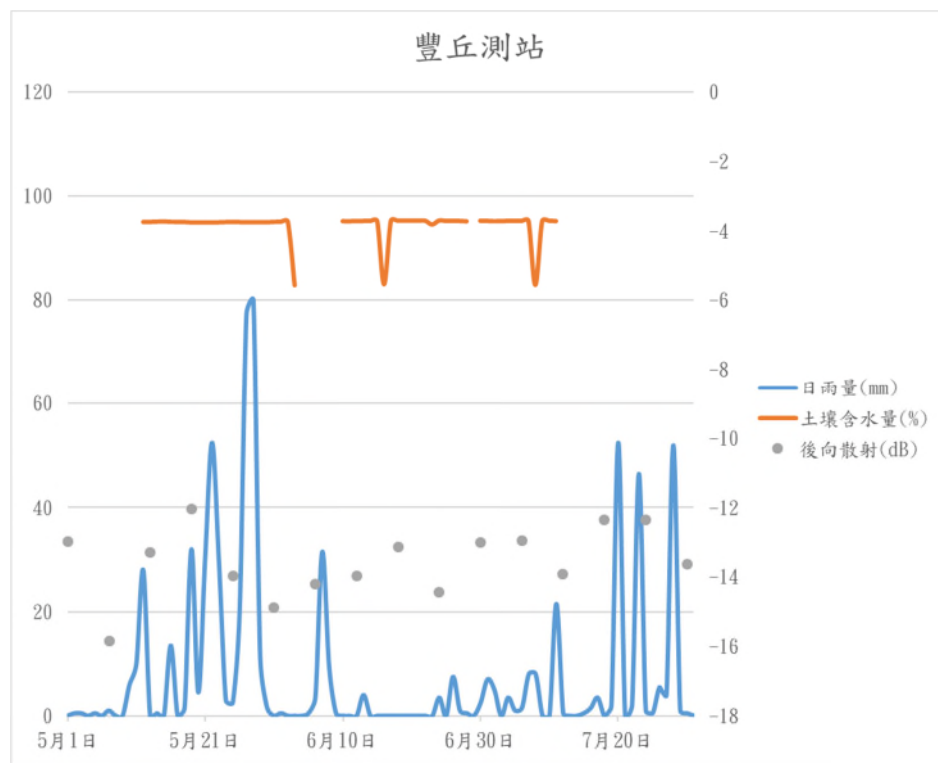


圖 4-10 豐丘站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對

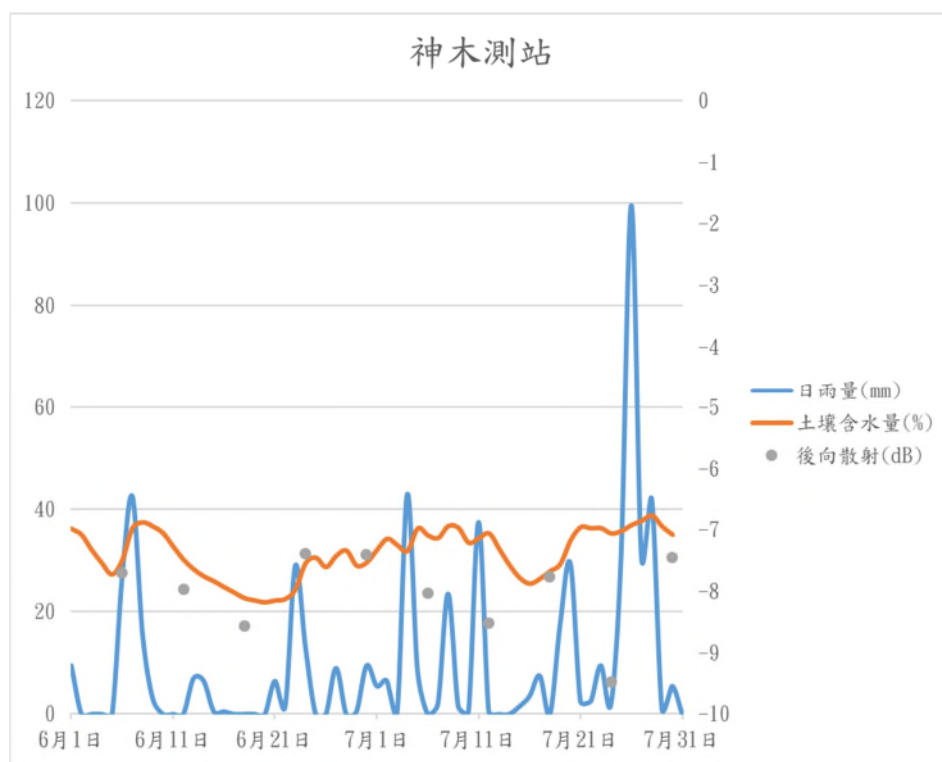


圖 4-11 神木站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對

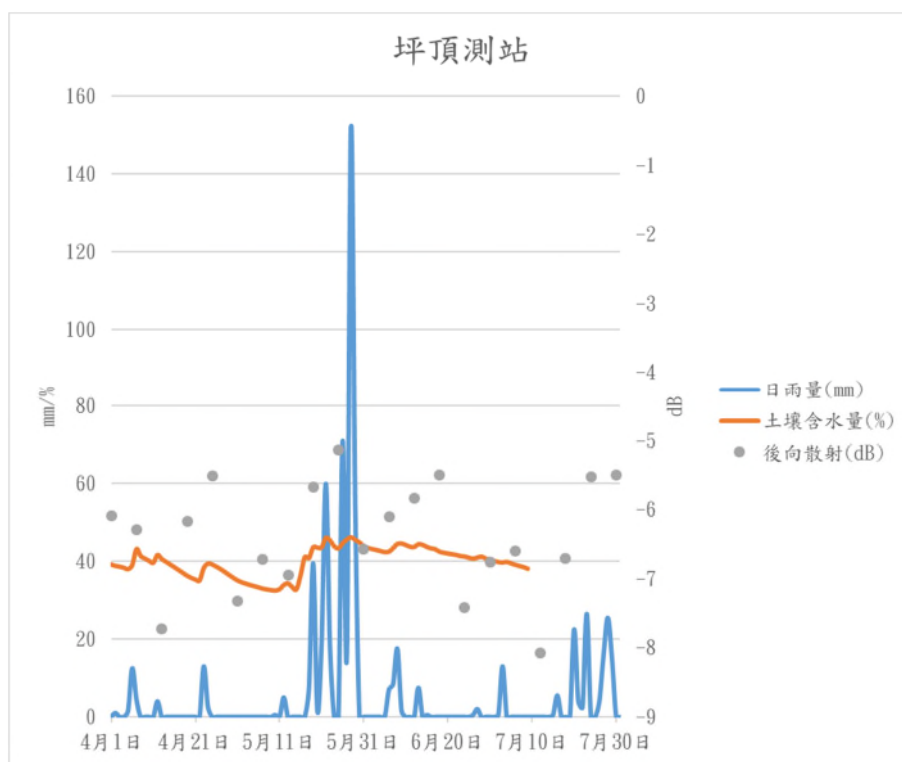


圖 4-12 坪頂站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對

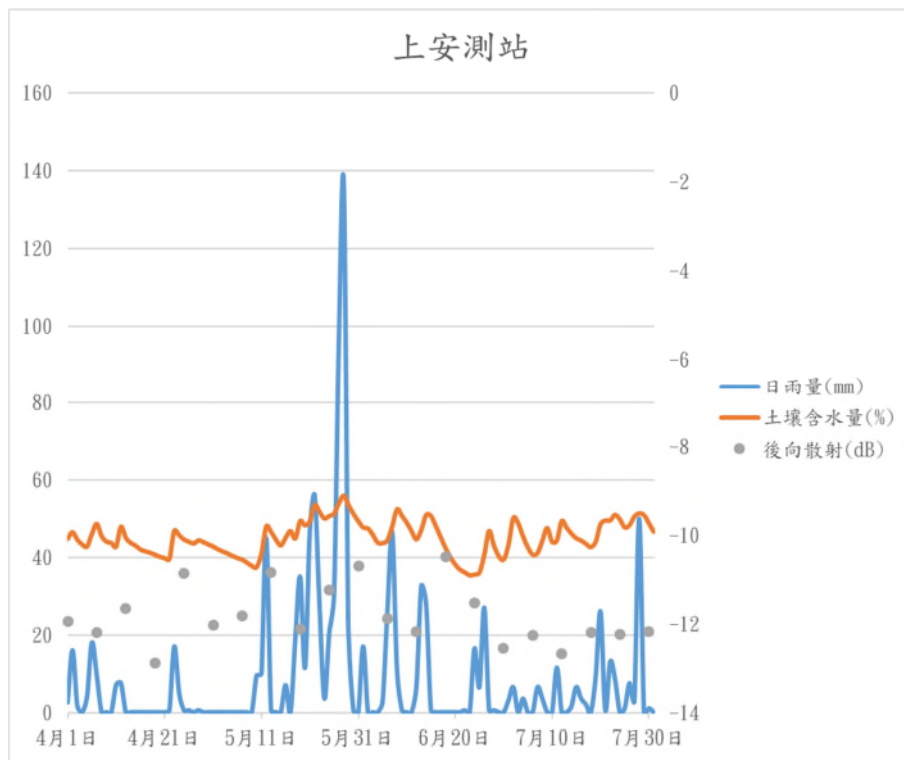


圖 4-13 上安站土壤水份紀錄、雨量與後向散射係數之比對

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、 本計畫使用低解析度之 SMAP 地表含水量觀測值、與含水量有關之中解析度 MODIS 觀測參數、高解析度之 SPOT 影像、以及經修正過後之高解析度 Sentinel-1 SAR 資料，搭配降雨資料，配合地物分類之結果，建置地表含水量模式。驗證結果顯示，加入修正後的後向散射係數，並剔除疊掩等區域後，預測正確性大幅提高。
- 二、 地物分類模式中的 MahalDist 分類法，其分類結果，較有助於提升地表含水量預測模式之正確性。
- 三、 地物分類結果中的「森林區域」，若使用經本地入射角修正後之後向散射係數，配合剔除疊掩等區域進行預測，預測正確性之 RMSE 下降 2.2%，相關係數上升 8.2%。
- 四、 地物分類結果中的「農地區域」，若使用經模擬值修正後之後向散射係數，配合剔除疊掩等區域進行預測，預測正確性之 RMSE 下降 26%，相關係數上升 470%。
- 五、 地物分類結果中的「裸露地」，若使用經本地入射角修正後之後向散射係數，配合剔除疊掩等區域進行預測，預測正確性之 RMSE 下降 5.3%，相關係數上升 7.6%。
- 六、 後向散射係數以外的各項參數中，對於地表含水量預測正確性貢獻程度較大的前 5 項參數依序為：日期、雨量、大尺度濕度、地溫與研究區。

七、本計畫進行現地含水量採樣的區域，由北到南分別為雙溪、天花湖、曾文、阿公店、士文與牡丹水庫集水區等 6 區，分布區域相當廣，各自有其代表性。分析結果顯示，研究區域參數項對於提升預測正確性的貢獻程度，名列後向散射係數以外參數中的第五名，由此可知，台灣各區域間，現地含水量的變化行為有相當大的差異性。

第二節 建議

- 一、本模式使用降軌之 Sentinel 影像進行，在設門檻值剔除疊掩等區域後，雖然可提高預測正確性，但單幅 Sentinel 影像上可預測的範圍變小，建議可用升軌衛星補足。
- 二、模式中所使用之雨量資訊，為氣象局雨量站觀測資料內插之結果，但山區雨量站密度相對較低，建議可採用空間解析度較高的雷達迴波資訊，進行山區降雨強度之推估，再將修正後之降雨強度參數，帶入地表含水量預測模式中。
- 三、本模式目前採用地物分類結果，將現地資訊納入預測模式中，建議可再加入土壤種類分區資料，以提供更多現況資訊。
- 四、目前以設定本地入射角門檻值與方位角門檻值的方式，剔除遮掩區域以提高預測正確性。此一作法本質上為經驗方法，建議後續可考慮採用數值方法，確實量化推估出後向散射係數值可靠之區域。

參考文獻

1. 吳季、劉浩、閻敬業、孫偉英、張成、潘碑(2009)，干涉式被動微波成像技術，遙感技術與應用，24(1)，1-12。
2. 吳怡瑩、劉哲欣、張志新. (2013)，降雨量與表層土壤含水量關係之研究. 中華水土保持學會。
3. 李尚楠、趙天傑、施建成、肖青、胡路、王平凱、趙瑞、陳德清、崔倩、薛淑琴、胡建峰(2018)，基於車載微波輻射計的地面觀測試驗方法，上海航太，35（02）:81-90。
4. 林宜徵(2011)，應用 MODIS 衛星資料推估地表土壤含水量，中央大學土木工程學系學位論文，1-99。
5. 莊麒弘(2017)，應用 MODIS 衛星資料演算蒸發散比率推估台灣土壤含水量情形，臺灣大學生物環境系統工程學研究所學位論文，1-76。
6. 陳郁琪(2019)，PS-InSAR 技術於台灣山區地形變化偵測誤差因素分析，國立成功大學資源工程研究所。
7. 陳錕山(2009)，衛星遙測台灣地區土壤含水量與降雨量之研究，國立中央大學通訊系統研究中心。
8. 陳錦麟(2018)，利用 Sentinel-1 & 2 遙測影像推估土壤含水量空間分布—以桃園石門灌區為例，國立台灣大學生物環境系統工程研究所。
9. 曾俞瑄(2019)，使用遙測影像推估參數用於山崩潛勢定率模型之研究。國立成功大學資源工程研究所。
10. 黃雅莉、吳芝伶、陳朝圳(2018)，以多時期 MODIS 衛星影像推估臺灣地區土壤濕度之時空變異，林業研究季刊，40(1): 53-69。
11. Álvarez-Mozos, Jesús, Casalí, Javier, González-Audicana, María, &

- Verhoest, Niko EC. (2006). Assessment of the operational applicability of RADARSAT-1 data for surface soil moisture estimation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(4), 913-924.
12. Askne, Jan IH, Dammert, Patrik BG, Ulander, Lars MH, & Smith, Gary. (1997). C-band repeat-pass interferometric SAR observations of the forest. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1), 25-35.
 13. Baghdadi, Nicolas, Chaaya, Jad Abou, & Zribi, Mehrez. (2011). Semiempirical calibration of the integral equation model for SAR data in C-band and cross polarization using radar images and field measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(1), 14-18.
 14. Bindlish, Rajat, & Barros, Ana P. (2001). Parameterization of vegetation backscatter in radar-based, soil moisture estimation. *Remote sensing of environment*, 76(1), 130-137.
 15. Boisvert, JB, Gwyn, QHJ, Chanzy, A, Major, DJ, Brisco, B, & Brown, RJ. (1997). Effect of surface soil moisture gradients on modelling radar backscattering from bare fields. *International Journal of Remote Sensing*, 18(1), 153-170.
 16. Brown, Sarah CM, Quegan, Shaun, Morrison, Keith, Bennett, John C, & Cookmartin, Geoff (2003) High- resolution measurements of scattering in wheat canopies-Implications for crop parameter retrieval. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(7), 1602-1610.
 17. Das, N. N., Entekhabi, D., Dunbar, R. S., Chaubell, M. J., Colliander, A., Yueh, S., ... & Walker, J. P. (2019). The SMAP and Copernicus Sentinel 1A/B microwave active-passive high resolution surface soil moisture product. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111380.

18. Das, N., & Dunbar, R. S. (2018). Level 2 SMAP/Sentinel Active/Passive Soil Moisture Product Specification Document.
19. Dubois, Pascale C, Van Zyl, Jakob, & Engman, Ted. (1995). Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(4), 915-926.
20. Dubois, Pascale C, Van Zyl, Jakob, & Engman, Ted. (1995). Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(4), 915-926.
21. Fung, Adrian K, & Chen, Kun-Shan. (2004). An update on the IEM surface backscattering model. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(2), 75-77.
22. Glenn, NF, & Carr, JR. (2004). Establishing a relationship between soil moisture and RADARSAT-1 SAR data obtained over the Great Basin, Nevada, USA. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(2), 176-181.
23. Henderson, Floyd M, & Lewis, Anthony J. (1998). Principles and applications of imaging radar. *Manual of remote sensing: Volume 2*.
24. Iisaka, J. (1998). *Synthetic aperture radar image handbook*. Asakura, Tokyo, 164-165.
25. Jacquemoud, S, & Baret, F. (1990). PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote sensing of environment*, 34(2), 75-91.
26. Joseph, AT, van der Velde, Rogier, O'Neill, PE, Lang, R, & Gish, T. (2010). Effects of corn on C-and L-band radar backscatter: A correction method for soil moisture retrieval. *Remote sensing of environment*, 114(11), 2417-2430.
27. Kornelsen, Kurt C, & Coulibaly, Paulin. (2013). Advances in soil moisture retrieval from synthetic aperture radar and hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 476, 460-489.

28. Kornelsen, Kurt C, & Coulibaly, Paulin. (2013). Advances in soil moisture retrieval from synthetic aperture radar and hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 476, 460-489.
29. Kornelsen, Kurt C, & Coulibaly, Paulin. (2013). Advances in soil moisture retrieval from synthetic aperture radar and hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 476, 460-489.
30. Li S, Akbar R, Zhao T, Lu H, Talebi S, Weng H, Wang Z, Mccoll K, Shi J, Entekhabi D (2017). Decomposition of SMAP polarization ratio into surface soil moisture and vegetation dynamics, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Texas, USA: 2017-July(2): 4133–4135.
31. Lievens, Hans, & Verhoest, Niko EC. (2011). On the retrieval of soil moisture in wheat fields from L-band SAR based on water cloud modeling, the IEM, and effective roughness parameters. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(4), 740-744.
32. Notarnicola, Claudia, Angiulli, Mariella, & Posa, Francesco. (2006). Use of radar and optical remotely sensed data for soil moisture retrieval over vegetated areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(4), 925-935.
33. Oh, Yisok, Sarabandi, Kamal, & Ulaby, Fawwaz T. (1992). An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 370-381.
34. Park S, Feddemab JJ, Egberta SL (2004) Impacts of hydrologic soil properties on drought detection with MODIS thermal data. *Remote Sensing of Environment* 89(1): 53- 62.
35. Rahimzadeh-Bajgiran, Parinaz, Berg, Aaron A, Champagne, Catherine, & Omasa, Kenji. (2013). Estimation of soil moisture using optical/thermal infrared remote sensing in the Canadian

- Prairies. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 83, 94-103.
36. Reichle, R., G. De Lannoy, R. D. Koster, W. T. Crow, J. S. Kimball, and Q. Liu (2018). SMAP L4 Global 3-hourly 9 km EASE-Grid Surface and Root Zone Soil Moisture Analysis Update, Version 4. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
 37. Reichle, R., G. De Lannoy, R. D. Koster, W. T. Crow, J. S. Kimball, and Q. Liu. 2018. SMAP L4 Global 3-hourly 9 km EASE-Grid Surface and Root Zone Soil Moisture Analysis Update, Version 4. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <https://doi.org/10.5067/60HB8VIP2T8W>. [Date Accessed].
 38. Romshoo, Shakil Ahmad, Koike, Masahiro, Onaka, Sadayukihiro, Oki, Taikan, & Musiake, Katumi. (2002). Influence of surface and vegetation characteristics on C-band radar measurements for soil moisture content. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 30(4), 229.
 39. Romshoo, Shakil Ahmad, Koike, Masahiro, Onaka, Sadayukihiro, Oki, Taikan, & Musiake, Katumi. (2002). Influence of surface and vegetation characteristics on C-band radar measurements for soil moisture content. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 30(4), 229.
 40. Sandholt, Inge, Rasmussen, Kjeld, & Andersen, Jens. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote sensing of environment, 79(2-3), 213-224.
 41. Savva Y, Szlavecz K, Carlson D, Gupchup J, Szalay A, Terzis A (2013) Spatial patterns of soil moisture under forest and grass land

- cover in a suburban area, in Maryland, USA. *Geoderma* 192: 202-210.
42. Skolnik, Merrill I. (1962). Introduction to radar. *Radar Handbook*, 2.
 43. Ulaby, Fawwaz T, Moore, Richard K, & Fung, Adrian K. (1982). *Microwave remote sensing: active and passive*. Vol. 2, *Radar remote sensing and surface scattering and emission theory*: Addison-Wesley Reading, MA.
 44. Wigneron, J-P, Calvet, J-C, Pellarin, T, Van de Griend, AA, Berger, M, & Ferrazzoli, P. (2003). Retrieving near-surface soil moisture from microwave radiometric observations: current status and future plans. *Remote sensing of environment*, 85(4), 489-506.
 45. Zhao T, Shi J, Zhao S, Wang P, Li S, Poxl K, Plfurdtyh I (2017). Multifrequency Microwave Radiometric Measurements of Soil Freeze thaw Process over Seasonally Frozen Ground, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Texas, USA: 5–8.

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	土壤濕度之判釋，目前國內外已有許多研究發表，但受限於資訊完整度、地表裸露情況、地形影響、土壤層深度、母岩...等因素影響不易掌握，導致研究成果使用上多所限制。本計畫採用之各項遙測資料，各有應用於崩塌領域之優劣勢，建議應採互補方式，挑選合適實驗區域，進行多元資訊判釋，並配合現地植被狀況與地形變化，比對判釋與現地調查成果，較易獲得實用效益。	因影響結果的因素眾多，因此本計畫盡量納入多種遙測資料，並使用機器學習(類神經與隨機森林)的演算法，希望能從複雜的資料中找出規律並進行預測。高解析度的SPOT影像可對研究區之地表覆蓋(Land cover)狀況予以量化或分類，另外，現地含水量測量時也同時對該地進行拍照，可供比對。
2	這項研究關鍵的SMAP資料要拍攝後7天才拿的到，不具即時性，空間解析度也不符合實際應用需求，必須結合其他類型的衛星影像產品。中間又做了很多近似和估算，一定會產生誤差，對最後的結果所造成的影響，無從評估；必須思考如何改善，否則成果有限。	後續分析結果發現，SMAP的Soil Moisture資訊對於現地含水量的預測，相關性並不如預期明顯，有可能為其解析度過低的緣故，因此本期中報告之架構稍做調整，將SMAP的角色平行於其他衛星資訊，使其分析過程並不需依賴SMAP資訊而可獨立作業。
3	預測模型之樣本對模型成果影響甚大，建議詳述樣本數量、取樣標準等資訊。本計畫最主要的成果是土壤濕度預測模式，但如何建構這個模式，計畫書內未詳述，在P4-28只條列步驟。另外，機器學習要	地表含水量現地測量的位置、數目與量測過程詳細說明於期中報告中。機器學習對於預測含水量的資料準備、訓練、預測驗證的過程，說明於期中報告中。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	如何應用於發展土壤濕度預測模式，亦請詳細補充說明。	
4	整本計畫書花了很多篇幅說明各水庫現地取樣路段，還有各種衛星介紹，相對之下，真正與計畫相關的重點，過於簡略，恐致整個研究的主題變得發散。	期中報告加強說明執行的過程與結果。
5	建議說明現地濕度量測之點位選取、數量、密度等條件或標準。在公式上「高解析度土壤濕度」僅有兩個參數，其一為地表覆蓋，需注意相同地表覆蓋，可能因地形起伏或區位不同，導致濕度差異甚大。	地表含水量現地測量的位置、數目與量測過程詳細說明於期中報告中。現地含水量測量時也同時對該地進行拍照與座標量測，故可瞭解其覆蓋狀況、地形與區位，同時，因衛星資訊包含高解析度的SPOT影像，進行量化或分類後，可提供預測時的地表覆蓋資訊。
6	建議說明由以低解析度為主（其餘資料降解析度配合）來訓練預測模型，而非以高解析度資料來訓練模型之原因。	後續分析結果發現，低解析度SMAP衛星資訊對於現地含水量的預測，相關性並不如預期明顯，因此本期中報告之內容已做調整，將SMAP的角色平行於其他衛星資訊，使其分析過程並不需依賴SMAP資訊而可獨立作業。
7	建議補充說明9公里解析度之資料與現地量測之資料，進行驗證之方法。	期中報告中已將低解析度SMAP資訊的角色，等同於其他中高解析度衛星，即將SMAP衛星資訊，連同其他MODIS、SPOT與Sentinel衛星資訊，共同對地表含水量進行

項次	審查意見	回覆辦理情形
		預測，再將預測結果，對地表含水量現地實測值進行驗證。
8	建議針對本計畫所使用之資料來源、時空解析度、精度進行表列說明。	於期中報告表 5-1 中說明。
9	請補充說明P1-1本計畫之工作目標與P4-29步驟五結果之連結。	將該步驟修正說明成：「使用(1)高解析度地表含水量預測值與(2)依據研究區高精度遙測影像所判釋出之山崩目錄，評估出崩塌位置於崩塌前可能的地表含水量，找出該地表含水量變化的特徵。建構此預測模式，以作為日後由隨時更新的衛星資訊，預測高解析度地表含水量變化狀況，尋找出易發生崩塌區域之輔助方法。」
10	P4-29 請補充使用何種「已發展成熟之降雨誘發之崩塌潛勢分析」，及「評估不同地表覆蓋下，降雨前的土壤濕度對於崩塌潛勢所扮演之角色」之評估方法。	文敘已修正。
11	研究所需之Sentinel-1影像，建議可由水保局BigGIS檢視並申請下載。	感謝提供建議，遵照辦理。
12	報告書內頁封面誤植計畫主持人為余騰鐸。	已修正。
13	P4-10倒數第一行及P4-14第二行，SPOT-7「預計」於2014年升空...。請修正。P4-15文字間存有空格，請修正。	文敘已修正。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	報告書中太多內容為一般性對各式衛星資訊之文獻回顧，應著重於本研究內容與資料分析。	期末報告中，呈現提升地表含水量預測正確性之方式與預測成果。
2	衛星遙測評估土壤含水量之於國際上均為大面積探討，對此類小面積崩塌地評估是否有推廣及實用之必要應審慎思考。	因坡地含水狀況為崩塌分析重要參數之一，故以高解析度之Sentinel資料，藉由含水量預測模式提供小區域崩塌地之含水量狀況。
3	SMAP、MODIS、Sentinel與SPOT等衛星適用性皆不同，不建議統一拿來做比較。其訊號內容、解析力、解釋力.....皆完全不同，地面含水量更與地表狀況、土地利用...等等因素皆有相關。	SMAP與MODIS所提供之濕度與地表溫度資訊，為直接與含水量有關，但其缺點為解析度太低，然Sentinel與SPOT雖然解析度高，但其所繪得之資訊並非直接為含水量，因此藉由機器學習演算法將之融合，提高含水量預測之正確性。期末報告中，加入地物分類之結果，以代表地表與土地利用之狀況。
4	目前成果尚無任何創建或新解，期待期末完整報告。	期末報告中，呈現提升地表含水量預測正確性之方式與預測成果。
5	封面誤植為工作執行計畫書。	已修正。
6	建議補充英文摘要。	已修正。

項次	審查意見	回覆辦理情形
7	P4-25建議補充"收集研究區土壤含水量與地溫之現地量測數據"	數據呈現於期末成果繳交報告中。
8	是否評估採用既有之山崩目錄進行後續之相關性分析，建議說明自行建立山崩目錄之優點為何？	因本計畫進行含水量現地採樣之時間，為計劃執行開始後，其預測之結果應較符合目前之狀況。但既有之山崩目錄，其崩塌時間為過去數年，故時間點上較有落差。另一方面，既有崩塌目錄，除有明確之崩塌座標，其餘資訊取得不易。
9	建議說明現地濕度量測之點為選取、數量、密度等條件或標準。	因顧及人員之可達性與山區移動之不便，故數量以一個月20的點位為原則，採點之位置盡量能遍布該研究區域。補充說明於期末報告2-1節中。
10	由於土壤含水量及水氣變動量大，針對後續建議土壤含水量預測模式的各種資料選用與現勘量測於時間上造成之影響進行評估或量化。	期末報告中，加入採樣之日期(進行現地濕度量測該日於一年中的累積天數)，作為含水量預測之參數項。
11	由於本計畫屬應用多元資料來源進行模式之建立，其各別資料之時間空間可能皆不同，建議計畫應將降與因素考量置資料選取流程中以提升準確度。	期末報告中，加入雨量之參數項，包含(1)當天降雨量，及(2)前兩日、(3)前十日與(4)前20日累積降雨量等四項。來源為中央氣象局雨量站數據之內插。

附錄三、期末聯合審查暨成果發表會審查意見回覆表

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	研究使用之現地含水量實測數據是使用地表下多深的位置？	現地含水量之量測深度為地表下15公分。
2	目前研究成果可預測的土壤含水量之空間及時間解析度分別為多少？	空間解析度為10公尺，對應於Sentinel-1衛星資訊之解析度。時間解析度則隨各衛星資料而隨時(即時)更新，其中SMPA 衛星為3~5天、Sentinel-1 衛星為6天、Sentinel-2衛星為5天、MODIS衛星為每天更新。
3	目前看不出土壤含水量與崩塌之關聯性，未來應如何利用本計畫之成果評估崩塌？	土壤含水量與崩塌之關聯性將於後續計畫中執行。
4	有關收集研究區域之土壤含水量相關調查數據，建議參考本局之數值資料標準格式(表土試驗)範本提交檔案，以利後續加值應用。	土壤含水量實測數據除列於成果報告之附錄中外，並依數值資料標準格式範本與主辦單位確認後提交檔案。
5	研究使用本局觀測資料相關數據，建議一併將數據呈現於成果報告書中。	本報告使用水土保持局土壤水份觀測資料進行比對，其結果列於報告書中。

附錄四、現地含水量紀錄

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/16	120.6473	22.36985	45.9
2020/4/16	120.646	22.3672	33.5
2020/4/16	120.6458	22.3653	40.8
2020/4/16	120.6447	22.36357	39.6
2020/4/16	120.6432	22.36285	38
2020/4/16	120.6402	22.36258	37.3
2020/4/16	120.6395	22.36103	40.4
2020/4/16	120.6397	22.35973	45.3
2020/4/16	120.6404	22.35825	38.5
2020/4/16	120.6399	22.35737	31.9
2020/5/6	120.6473	22.36985	32.2
2020/5/6	120.646	22.3672	17.6
2020/5/6	120.6458	22.3653	37.6
2020/5/6	120.6447	22.36357	27.7
2020/5/6	120.6432	22.36285	34.6
2020/5/6	120.6402	22.36258	34
2020/5/6	120.6395	22.36103	37
2020/5/6	120.6397	22.35973	39.7
2020/5/6	120.6404	22.35825	38.5
2020/5/6	120.6399	22.35737	35.6
2020/7/16	120.6473	22.36985	47.1
2020/7/16	120.646	22.3672	45.6
2020/7/16	120.6458	22.3653	45.9
2020/7/16	120.6447	22.36357	45.4
2020/7/16	120.6432	22.36285	45.1
2020/7/16	120.6402	22.36258	45.6
2020/7/16	120.6395	22.36103	47.8
2020/7/16	120.6397	22.35973	40.7
2020/7/16	120.6404	22.35825	49.5
2020/7/16	120.6399	22.35737	46.3
2020/8/5	120.6473	22.36985	48
2020/8/5	120.646	22.3672	45.3
2020/8/5	120.6458	22.3653	43.8
2020/8/5	120.6447	22.36357	46.1
2020/8/5	120.6432	22.36285	40.8
2020/8/5	120.6402	22.36258	48.1
2020/8/5	120.6395	22.36103	46.9
2020/8/5	120.6397	22.35973	42.2
2020/8/5	120.6404	22.35825	47.2
2020/8/5	120.6399	22.35737	48.2
2020/4/15	120.8693	24.55462	44.8
2020/4/15	120.8708	24.55517	46

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/15	120.8701	24.55625	46
2020/4/15	120.8685	24.55773	43.9
2020/4/15	120.8646	24.55725	47.2
2020/4/15	120.8628	24.55953	46.8
2020/4/15	120.8618	24.55905	45.8
2020/4/15	120.8594	24.5597	47.7
2020/4/15	120.8547	24.55938	44.6
2020/4/15	120.854	24.55813	48
2020/4/15	120.85	24.55808	47.2
2020/4/15	120.8478	24.55972	47.2
2020/4/15	120.8474	24.56128	46
2020/6/3	120.8693	24.55462	47.3
2020/6/3	120.8708	24.55517	43.8
2020/6/3	120.8701	24.55625	40.9
2020/6/3	120.8685	24.55773	46.4
2020/6/3	120.8646	24.55725	50.2
2020/6/3	120.8628	24.55953	48.6
2020/6/3	120.8618	24.55905	46.1
2020/6/3	120.8594	24.5597	50.2
2020/6/3	120.8547	24.55938	55.1
2020/6/3	120.854	24.55813	51.9
2020/6/3	120.85	24.55808	47.7
2020/6/3	120.8478	24.55972	52.7
2020/6/3	120.8474	24.56128	48.1
2020/7/21	120.8693	24.55462	43
2020/7/21	120.8708	24.55517	41.3
2020/7/21	120.8701	24.55625	37.9
2020/7/21	120.8685	24.55773	47
2020/7/21	120.8646	24.55725	43.7
2020/7/21	120.8628	24.55953	44.2
2020/7/21	120.8618	24.55905	30.3
2020/7/21	120.8594	24.5597	38.9
2020/7/21	120.8547	24.55938	44.9
2020/7/21	120.854	24.55813	46.5
2020/7/21	120.85	24.55808	40.2
2020/7/21	120.8478	24.55972	40.7
2020/7/21	120.8474	24.56128	40.2
2020/8/19	120.8693	24.55462	47.1
2020/8/19	120.8708	24.55517	49.2
2020/8/19	120.8701	24.55625	47.1
2020/8/19	120.8685	24.55773	46.2
2020/8/19	120.8646	24.55725	50.7
2020/8/19	120.8628	24.55953	48.6
2020/8/19	120.8618	24.55905	46.1
2020/8/19	120.8594	24.5597	50.4
2020/8/19	120.8547	24.55938	42.9
2020/8/19	120.854	24.55813	52.3

日期	經度	緯度	含水量
2020/8/19	120.85	24.55808	49.2
2020/8/19	120.8478	24.55972	48.4
2020/8/19	120.8474	24.56128	49.6
2020/6/2	121.8654	24.99863	47.1
2020/6/2	121.8689	24.99963	46.1
2020/6/2	121.8695	25.00428	46.2
2020/6/2	121.871	25.00623	46.2
2020/6/2	121.8738	25.0091	49.1
2020/6/2	121.8719	25.01292	43.3
2020/6/2	121.8742	25.01415	47.1
2020/6/2	121.8755	25.01693	45.8
2020/7/20	121.8654	24.99863	47.1
2020/7/20	121.8689	24.99963	41.7
2020/7/20	121.8695	25.00428	45.6
2020/7/20	121.871	25.00623	41.3
2020/7/20	121.8738	25.0091	41.2
2020/7/20	121.8719	25.01292	40.9
2020/7/20	121.8742	25.01415	38.4
2020/7/20	121.8755	25.01693	39
2020/8/18	121.8654	24.99863	49
2020/8/18	121.8689	24.99963	45.5
2020/8/18	121.8695	25.00428	38.6
2020/8/18	121.871	25.00623	39.9
2020/8/18	121.8738	25.0091	41.4
2020/8/18	121.8719	25.01292	32.4
2020/8/18	121.8742	25.01415	40.9
2020/8/18	121.8755	25.01693	40.3
2020/4/24	120.3507	22.82988	36.6
2020/4/24	120.353	22.83105	32.4
2020/4/24	120.3776	22.83323	35
2020/4/24	120.3735	22.82392	34.3
2020/4/24	120.3751	22.82107	35.1
2020/4/24	120.3652	22.82062	35.4
2020/4/24	120.3648	22.82052	34.3
2020/4/24	120.3576	22.81985	33.9
2020/4/24	120.3576	22.82043	33.5
2020/4/24	120.3606	22.81488	34.1
2020/4/24	120.3634	22.81625	34.7
2020/4/24	120.3648	22.81647	35.1
2020/4/24	120.366	22.81587	35.3
2020/4/24	120.3692	22.81715	33.8
2020/4/24	120.3711	22.81933	30.9
2020/4/24	120.3846	22.82195	31.5
2020/4/24	120.383	22.82553	32.3
2020/4/24	120.3948	22.82663	34.1
2020/4/24	120.4074	22.82207	34.3
2020/4/24	120.4049	22.81563	32.9
2020/4/24	120.3952	22.80935	32.7
2020/4/24	120.3917	22.80745	33.3

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/24	120.3868	22.80305	32.2
2020/4/24	120.3838	22.80732	33.7
2020/4/24	120.3826	22.80753	34.1
2020/4/24	120.3813	22.8077	35.5
2020/5/29	120.3507	22.82988	48.9
2020/5/29	120.3776	22.83323	49.8
2020/5/29	120.3751	22.82107	42.8
2020/5/29	120.3652	22.82062	40.5
2020/5/29	120.3648	22.82052	39.8
2020/5/29	120.3576	22.81985	43.2
2020/5/29	120.3576	22.82043	44.1
2020/5/29	120.3606	22.81488	45.2
2020/5/29	120.3634	22.81625	40.9
2020/5/29	120.3648	22.81647	37.2
2020/5/29	120.366	22.81587	38.5
2020/5/29	120.3692	22.81715	40.5
2020/5/29	120.3711	22.81933	42.7
2020/5/29	120.3846	22.82195	43.5
2020/5/29	120.383	22.82553	44.2
2020/5/29	120.3948	22.82663	40.9
2020/5/29	120.4074	22.82207	39.2
2020/5/29	120.4049	22.81563	38.9
2020/5/29	120.3952	22.80935	47.1
2020/5/29	120.3917	22.80745	46.3
2020/5/29	120.3868	22.80305	44.6
2020/5/29	120.3826	22.80753	40.7
2020/5/29	120.3872	22.80962	38.3
2020/5/29	120.3796	22.80057	37.9
2020/5/29	120.3806	22.79742	43.7
2020/5/29	120.3727	22.79597	42.9
2020/4/30	120.765	22.11662	34.2
2020/4/30	120.7659	22.1202	35.1
2020/4/30	120.7714	22.1232	33.9
2020/4/30	120.7769	22.12803	34.3
2020/4/30	120.7809	22.1284	29.8
2020/4/30	120.7841	22.12668	30.9
2020/4/30	120.7884	22.13037	37.3
2020/4/30	120.7893	22.13023	35.8
2020/4/30	120.7918	22.13018	34.7
2020/4/30	120.7953	22.1306	33.1
2020/4/30	120.7962	22.1318	36.2
2020/4/30	120.7992	22.13387	36.8
2020/4/30	120.803	22.1375	37.1
2020/4/30	120.8031	22.13912	35.4
2020/4/30	120.8075	22.14523	36.3
2020/4/30	120.8141	22.14713	29.7
2020/4/30	120.8174	22.14787	33.1

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/30	120.8167	22.14878	34.3
2020/4/30	120.8174	22.14928	34.7
2020/4/30	120.8204	22.15407	36.1
2020/4/30	120.8216	22.15548	37.2
2020/4/30	120.824	22.15875	35.7
2020/4/30	120.8247	22.15977	36.2
2020/4/30	120.8253	22.16247	34.9
2020/4/30	120.8289	22.16327	33.5
2020/4/30	120.8295	22.16427	32.4
2020/4/30	120.8278	22.16453	35.1
2020/4/30	120.8299	22.16833	36.3
2020/4/30	120.8323	22.17138	30.8
2020/4/30	120.835	22.17368	31.2
2020/4/30	120.8363	22.17467	41.9
2020/4/30	120.8393	22.17597	40.3
2020/4/30	120.8415	22.17925	40.5
2020/4/30	120.844	22.18125	39.8
2020/5/21	120.765	22.11662	48.2
2020/5/21	120.7659	22.1202	40.4
2020/5/21	120.7714	22.1232	45.3
2020/5/21	120.7769	22.12803	47.1
2020/5/21	120.7809	22.1284	43.8
2020/5/21	120.7841	22.12668	44
2020/5/21	120.7884	22.13037	46.2
2020/5/21	120.7893	22.13023	44.9
2020/5/21	120.7918	22.13018	43.2
2020/5/21	120.7953	22.1306	45.7
2020/5/21	120.7962	22.1318	46.1
2020/5/21	120.7992	22.13387	48
2020/5/21	120.803	22.1375	45.5
2020/5/21	120.8031	22.13912	44.1
2020/5/21	120.8075	22.14523	42.8
2020/5/21	120.8141	22.14713	45.3
2020/5/21	120.8174	22.14787	46.1
2020/5/21	120.8167	22.14878	47
2020/5/21	120.8174	22.14928	45.2
2020/5/21	120.8204	22.15407	44.7
2020/5/21	120.8216	22.15548	44.2
2020/5/21	120.824	22.15875	44.1
2020/5/21	120.8247	22.15977	43
2020/5/21	120.8253	22.16247	43.2
2020/5/21	120.8289	22.16327	45.4
2020/5/21	120.8295	22.16427	47.2
2020/5/21	120.8278	22.16453	46.8
2020/5/21	120.8299	22.16833	46.7
2020/5/21	120.8323	22.17138	43.2
2020/5/21	120.835	22.17368	40.1

日期	經度	緯度	含水量
2020/5/21	120.8363	22.17467	41.3
2020/5/21	120.8393	22.17597	42.7
2020/5/21	120.8415	22.17925	43
2020/5/21	120.844	22.18125	42.5
2020/7/24	120.765	22.11662	37.3
2020/7/24	120.7659	22.1202	38.2
2020/7/24	120.7714	22.1232	41.6
2020/7/24	120.7769	22.12803	37.2
2020/7/24	120.7809	22.1284	44.3
2020/7/24	120.7841	22.12668	38
2020/7/24	120.7884	22.13037	39.1
2020/7/24	120.7893	22.13023	38.2
2020/7/24	120.7918	22.13018	37.3
2020/7/24	120.7953	22.1306	36.5
2020/7/24	120.7962	22.1318	40.1
2020/7/24	120.7992	22.13387	42.5
2020/7/24	120.803	22.1375	38.5
2020/7/24	120.8031	22.13912	38.3
2020/7/24	120.8075	22.14523	39.7
2020/7/24	120.8141	22.14713	36.5
2020/7/24	120.8174	22.14787	36.2
2020/7/24	120.8167	22.14878	37.2
2020/7/24	120.8174	22.14928	37.4
2020/7/24	120.8204	22.15407	38.1
2020/7/24	120.8216	22.15548	39.2
2020/7/24	120.824	22.15875	40.1
2020/7/24	120.8247	22.15977	40.2
2020/7/24	120.8253	22.16247	37.1
2020/7/24	120.8289	22.16327	37.9
2020/7/24	120.8295	22.16427	38.1
2020/7/24	120.8278	22.16453	38.4
2020/7/24	120.8299	22.16833	34.9
2020/7/24	120.8323	22.17138	35.2
2020/7/24	120.835	22.17368	37.2
2020/7/24	120.8363	22.17467	38.1
2020/7/24	120.8393	22.17597	39.1
2020/7/24	120.8415	22.17925	44.5
2020/7/24	120.844	22.18125	40.1
2020/4/17	120.799	23.50705	36.1
2020/4/17	120.7971	23.50324	34.1
2020/4/17	120.8012	23.50067	41.3
2020/4/17	120.8034	23.5018	38.9
2020/4/17	120.8068	23.50362	37.1
2020/4/17	120.8165	23.50648	34.7
2020/4/17	120.8198	23.50472	38.8
2020/4/17	120.8208	23.50204	35.6
2020/4/17	120.8203	23.4948	36

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/17	120.819	23.49122	38.1
2020/4/17	120.8229	23.48681	31.1
2020/4/17	120.8264	23.48535	17.7
2020/4/17	120.7573	23.48525	33.6
2020/4/17	120.7592	23.47436	33.1
2020/4/17	120.7598	23.46517	44.5
2020/4/17	120.7602	23.46509	31.7
2020/4/17	120.7546	23.45989	30.3
2020/4/17	120.7514	23.45967	37.5
2020/4/17	120.7487	23.45168	20.1
2020/4/17	120.7454	23.45113	40.1
2020/4/17	120.7433	23.44877	33.7
2020/4/17	120.7433	23.44666	39.3
2020/4/17	120.7405	23.44536	40.9
2020/4/17	120.7379	23.44413	42.5
2020/4/17	120.7385	23.4437	40.9
2020/4/17	120.7418	23.43875	36.2
2020/4/17	120.7431	23.43399	40.7
2020/4/17	120.7348	23.43024	35.3
2020/4/17	120.7336	23.42355	34.2
2020/4/17	120.7333	23.42149	40
2020/4/17	120.7302	23.43675	41.4
2020/4/17	120.7261	23.41745	42.7
2020/4/17	120.7232	23.41583	38.9
2020/4/17	120.7241	23.41215	35.1
2020/4/17	120.7214	23.41255	42.2
2020/4/17	120.7204	23.40538	39.1
2020/4/17	120.7492	23.45272	17.5
2020/4/17	120.7349	23.45169	40.7
2020/4/17	120.7133	23.47328	35.2
2020/4/17	120.7137	23.47487	22.6
2020/4/24	120.3507	22.82988	36.6
2020/4/24	120.353	22.83105	32.4
2020/4/24	120.3776	22.83323	35
2020/4/24	120.3735	22.82392	34.3
2020/4/24	120.3751	22.82107	35.1
2020/4/24	120.3652	22.82062	35.4
2020/4/24	120.3648	22.82052	34.3
2020/4/24	120.3576	22.81985	33.9
2020/4/24	120.3576	22.82043	33.5
2020/4/24	120.3606	22.81488	34.1
2020/4/24	120.3634	22.81625	34.7
2020/4/24	120.3648	22.81647	35.1
2020/4/24	120.366	22.81587	35.3
2020/4/24	120.3692	22.81715	33.8
2020/4/24	120.3711	22.81933	30.9
2020/4/24	120.3846	22.82195	31.5

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/24	120.383	22.82553	32.3
2020/4/24	120.3948	22.82663	34.1
2020/4/24	120.4074	22.82207	34.3
2020/4/24	120.4049	22.81563	32.9
2020/4/24	120.3952	22.80935	32.7
2020/4/24	120.3917	22.80745	33.3
2020/4/24	120.3868	22.80305	32.2
2020/4/24	120.3838	22.80732	33.7
2020/4/24	120.3826	22.80753	34.1
2020/4/24	120.3813	22.8077	35.5
2020/4/29	120.6516	23.40458	36.3
2020/4/29	120.6515	23.40337	40.1
2020/4/29	120.6569	23.40237	36.3
2020/4/29	120.6603	23.40153	37.8
2020/4/29	120.658	23.39843	35.5
2020/4/29	120.6622	23.39898	41
2020/4/29	120.6629	23.39375	41.5
2020/4/29	120.6659	23.39005	39.8
2020/4/29	120.6649	23.38963	40.1
2020/4/29	120.6679	23.3885	39.5
2020/4/29	120.668	23.38747	40.3
2020/4/29	120.669	23.38587	38.9
2020/4/29	120.6684	23.38553	38.7
2020/4/29	120.668	23.38488	40.3
2020/4/29	120.6693	23.38127	38.3
2020/4/29	120.6715	23.37942	41.7
2020/4/29	120.6741	23.37793	39.8
2020/4/29	120.6747	23.37537	41.1
2020/4/29	120.6717	23.37327	36.8
2020/4/29	120.6741	23.36847	37.1
2020/4/29	120.6768	23.36408	36.5
2020/4/29	120.6808	23.35755	37.3
2020/4/29	120.6817	23.3513	39.2
2020/4/29	120.6874	23.34728	36.3
2020/4/29	120.6914	23.34175	34.1
2020/4/29	120.681	23.33523	32.8
2020/4/29	120.6811	23.33288	40.7
2020/4/29	120.6786	23.333	41.1
2020/4/29	120.6775	23.33027	38.5
2020/4/29	120.6792	23.3267	45.4
2020/4/29	120.6749	23.32182	38.7
2020/4/29	120.6726	23.31555	41.8
2020/4/29	120.6681	23.30557	36.7
2020/4/29	120.6687	23.29825	40.7
2020/4/29	120.675	23.29525	40.4
2020/4/29	120.6773	23.29572	39.7
2020/4/29	120.6807	23.29545	38.3

日期	經度	緯度	含水量
2020/4/29	120.6915	23.28807	38.7
2020/4/29	120.6902	23.2819	41.1
2020/4/29	120.6864	23.27332	40.7
2020/4/30	120.765	22.11662	34.2
2020/4/30	120.7659	22.1202	35.1
2020/4/30	120.7714	22.1232	33.9
2020/4/30	120.7769	22.12803	34.3
2020/4/30	120.7809	22.1284	29.8
2020/4/30	120.7841	22.12668	30.9
2020/4/30	120.7884	22.13037	37.3
2020/4/30	120.7893	22.13023	35.8
2020/4/30	120.7918	22.13018	34.7
2020/4/30	120.7953	22.1306	33.1
2020/4/30	120.7962	22.1318	36.2
2020/4/30	120.7992	22.13387	36.8
2020/4/30	120.803	22.1375	37.1
2020/4/30	120.8031	22.13912	35.4
2020/4/30	120.8075	22.14523	36.3
2020/4/30	120.8141	22.14713	29.7
2020/4/30	120.8174	22.14787	33.1
2020/4/30	120.8167	22.14878	34.3
2020/4/30	120.8174	22.14928	34.7
2020/4/30	120.8204	22.15407	36.1
2020/4/30	120.8216	22.15548	37.2
2020/4/30	120.824	22.15875	35.7
2020/4/30	120.8247	22.15977	36.2
2020/4/30	120.8253	22.16247	34.9
2020/4/30	120.8289	22.16327	33.5
2020/4/30	120.8295	22.16427	32.4
2020/4/30	120.8278	22.16453	35.1
2020/4/30	120.8299	22.16833	36.3
2020/4/30	120.8323	22.17138	30.8
2020/4/30	120.835	22.17368	31.2
2020/4/30	120.8363	22.17467	41.9
2020/4/30	120.8393	22.17597	40.3
2020/4/30	120.8415	22.17925	40.5
2020/4/30	120.844	22.18125	39.8
2020/5/8	120.799	23.50705	42.3
2020/5/8	120.7971	23.50324	40.1
2020/5/8	120.8012	23.50067	38.5
2020/5/8	120.8034	23.5018	42.1
2020/5/8	120.8068	23.50362	43
2020/5/8	120.8165	23.50648	40.5
2020/5/8	120.8198	23.50472	37.5
2020/5/8	120.8208	23.50204	38.1
2020/5/8	120.8203	23.4948	39.3
2020/5/8	120.819	23.49122	40.2

日期	經度	緯度	含水量
2020/5/8	120.8229	23.48681	31.6
2020/5/8	120.8264	23.48535	40.4
2020/5/8	120.7573	23.48525	35.8
2020/5/8	120.7592	23.47436	32.9
2020/5/8	120.7598	23.46517	35.7
2020/5/8	120.7602	23.46509	40.1
2020/5/8	120.7546	23.45989	37.2
2020/5/8	120.7514	23.45967	33.4
2020/5/8	120.7487	23.45168	36.1
2020/5/8	120.7454	23.45113	39.8
2020/5/8	120.7433	23.44877	34.2
2020/5/8	120.7433	23.44666	33.9
2020/5/8	120.7405	23.44536	35.1
2020/5/8	120.7379	23.44413	34.7
2020/5/8	120.7385	23.4437	35.6
2020/5/8	120.7418	23.43875	34.8
2020/5/8	120.7431	23.43399	40.3
2020/5/8	120.7348	23.43024	37.2
2020/5/8	120.7336	23.42355	37
2020/5/8	120.7333	23.42149	36.4
2020/5/8	120.7302	23.43675	34.7
2020/5/8	120.7261	23.41745	35.2
2020/5/8	120.7232	23.41583	33.8
2020/5/8	120.7242	23.41215	38.2
2020/5/8	120.7214	23.41255	39.1
2020/5/8	120.7204	23.40538	39.5
2020/5/8	120.7492	23.45272	37.5
2020/5/8	120.7349	23.45169	38.1
2020/5/8	120.7133	23.47328	36.6
2020/5/8	120.7137	23.47487	36.8
2020/5/15	120.6504	23.40565	46
2020/5/15	120.6429	23.40228	40.8
2020/5/15	120.6443	23.39868	44.2
2020/5/15	120.6449	23.39183	46.8
2020/5/15	120.6417	23.38855	43.2
2020/5/15	120.6382	23.38547	40.1
2020/5/15	120.6374	23.38155	38.5
2020/5/15	120.6372	23.37783	39.7
2020/5/15	120.6385	23.37078	43.1
2020/5/15	120.6429	23.37103	40
2020/5/15	120.6444	23.37068	39.2
2020/5/15	120.6399	23.36568	38.1
2020/5/15	120.6412	23.35873	39.3
2020/5/15	120.6403	23.35287	32.5
2020/5/15	120.6391	23.3489	39.3
2020/5/15	120.6057	23.32563	46.3
2020/5/15	120.5516	23.33837	45.8

日期	經度	緯度	含水量
2020/5/15	120.5544	23.34155	45.9
2020/5/15	120.5559	23.3443	42.5
2020/5/15	120.5574	23.34708	46.3
2020/5/15	120.5589	23.34864	42.1
2020/5/15	120.5596	23.34918	40.7
2020/5/15	120.56	23.34989	39.8
2020/5/15	120.5609	23.35137	40.2
2020/5/15	120.5623	23.35142	44
2020/5/15	120.5638	23.35276	43.5
2020/5/15	120.5655	23.35282	37.9
2020/5/15	120.5661	23.35169	37.5
2020/5/15	120.5688	23.3519	39.3
2020/5/15	120.5734	23.35666	42.5
2020/5/21	120.765	22.11662	48.2
2020/5/21	120.7659	22.1202	40.4
2020/5/21	120.7714	22.1232	45.3
2020/5/21	120.7769	22.12803	47.1
2020/5/21	120.7809	22.1284	43.8
2020/5/21	120.7841	22.12668	44
2020/5/21	120.7884	22.13037	46.2
2020/5/21	120.7893	22.13023	44.9
2020/5/21	120.7918	22.13018	43.2
2020/5/21	120.7953	22.1306	45.7
2020/5/21	120.7962	22.1318	46.1
2020/5/21	120.7992	22.13387	48
2020/5/21	120.803	22.1375	45.5
2020/5/21	120.8031	22.13912	44.1
2020/5/21	120.8075	22.14523	42.8
2020/5/21	120.8141	22.14713	45.3
2020/5/21	120.8174	22.14787	46.1
2020/5/21	120.8167	22.14878	47
2020/5/21	120.8174	22.14928	45.2
2020/5/21	120.8204	22.15407	44.7
2020/5/21	120.8216	22.15548	44.2
2020/5/21	120.824	22.15875	44.1
2020/5/21	120.8247	22.15977	43
2020/5/21	120.8253	22.16247	43.2
2020/5/21	120.8289	22.16327	45.4
2020/5/21	120.8295	22.16427	47.2
2020/5/21	120.8278	22.16453	46.8
2020/5/21	120.8299	22.16833	46.7
2020/5/21	120.8323	22.17138	43.2
2020/5/21	120.835	22.17368	40.1
2020/5/21	120.8363	22.17467	41.3
2020/5/21	120.8393	22.17597	42.7
2020/5/21	120.8415	22.17925	43
2020/5/21	120.844	22.18125	42.5

日期	經度	緯度	含水量
2020/5/29	120.3507	22.82988	48.9
2020/5/29	120.3776	22.83323	49.8
2020/5/29	120.3751	22.82107	42.8
2020/5/29	120.3652	22.82062	40.5
2020/5/29	120.3648	22.82052	39.8
2020/5/29	120.3576	22.81985	43.2
2020/5/29	120.3576	22.82043	44.1
2020/5/29	120.3606	22.81488	45.2
2020/5/29	120.3634	22.81625	40.9
2020/5/29	120.3648	22.81647	37.2
2020/5/29	120.366	22.81587	38.5
2020/5/29	120.3692	22.81715	40.5
2020/5/29	120.3711	22.81933	42.7
2020/5/29	120.3846	22.82195	43.5
2020/5/29	120.383	22.82553	44.2
2020/5/29	120.3948	22.82663	40.9
2020/5/29	120.4074	22.82207	39.2
2020/5/29	120.4049	22.81563	38.9
2020/5/29	120.3952	22.80935	47.1
2020/5/29	120.3917	22.80745	46.3
2020/5/29	120.3868	22.80305	44.6
2020/5/29	120.3826	22.80753	40.7
2020/5/29	120.3872	22.80962	38.3
2020/5/29	120.3796	22.80057	37.9
2020/5/29	120.3806	22.79742	43.7
2020/5/29	120.3727	22.79597	42.9
2020/6/5	120.6504	23.40565	46.3
2020/6/5	120.6429	23.40228	45.9
2020/6/5	120.6443	23.39868	47.1
2020/6/5	120.6449	23.39183	41.5
2020/6/5	120.6417	23.38855	45.5
2020/6/5	120.6382	23.38547	46
2020/6/5	120.6374	23.38155	40.9
2020/6/5	120.6372	23.37783	46
2020/6/5	120.6385	23.37078	44.6
2020/6/5	120.6429	23.37103	40.9
2020/6/5	120.6444	23.37068	40.3
2020/6/5	120.6399	23.36568	39.7
2020/6/5	120.6412	23.35873	41.2
2020/6/5	120.6403	23.35287	43.7
2020/6/5	120.6391	23.3489	42.5
2020/6/5	120.6057	23.32563	41.2
2020/6/5	120.5516	23.33837	38.9
2020/6/5	120.5544	23.34155	37.5
2020/6/5	120.5559	23.3443	39.1
2020/6/5	120.5574	23.34708	44.4
2020/6/5	120.5589	23.34864	42.1

日期	經度	緯度	含水量
2020/6/5	120.5596	23.34918	43
2020/6/5	120.56	23.34989	43.5
2020/6/5	120.5609	23.35137	39.8
2020/6/5	120.5623	23.35142	37.9
2020/6/5	120.5638	23.35276	46.1
2020/6/5	120.5655	23.35282	47.2
2020/6/5	120.5661	23.35169	45.2
2020/6/5	120.5688	23.3519	44.3
2020/6/5	120.5734	23.35666	40.7
2020/6/23	120.6516	23.40458	32.9
2020/6/23	120.6515	23.40337	39
2020/6/23	120.6569	23.40237	34.5
2020/6/23	120.6603	23.40153	31.6
2020/6/23	120.658	23.39843	39.3
2020/6/23	120.6622	23.39898	46.5
2020/6/23	120.6629	23.39375	38.2
2020/6/23	120.6659	23.39005	33.3
2020/6/23	120.6649	23.38963	35.1
2020/6/23	120.6679	23.3885	34.2
2020/6/23	120.668	23.38747	37.9
2020/6/23	120.669	23.38587	40
2020/6/23	120.6684	23.38553	39.8
2020/6/23	120.668	23.38488	37.2
2020/6/23	120.6693	23.38127	32.1
2020/6/23	120.6715	23.37942	32.5
2020/6/23	120.6741	23.37793	32.7
2020/6/23	120.6747	23.37537	33.2
2020/6/23	120.6717	23.37327	34.7
2020/6/23	120.6741	23.36847	30.1
2020/6/23	120.6768	23.36408	37.2
2020/6/23	120.6808	23.35755	37.1
2020/6/23	120.6817	23.3513	36.5
2020/6/23	120.6874	23.34728	36.3
2020/6/23	120.6914	23.34175	35.2
2020/6/23	120.681	23.33523	34.1
2020/6/23	120.6811	23.33288	38.2
2020/6/23	120.6786	23.333	38.5
2020/6/23	120.6775	23.33027	39.3
2020/6/23	120.6792	23.3267	35.7
2020/6/23	120.6749	23.32182	35.4
2020/6/23	120.6726	23.31555	33.9
2020/6/23	120.6681	23.30557	34.5
2020/6/23	120.6687	23.29825	33.5
2020/6/23	120.6726	23.31555	37.2
2020/6/23	120.6681	23.30557	37.2
2020/6/23	120.6687	23.29825	37.1
2020/6/23	120.6915	23.28807	38

日期	經度	緯度	含水量
2020/6/23	120.6902	23.2819	36.1
2020/6/23	120.6864	23.27332	36.3
2020/7/8	120.799	23.50705	40.9
2020/7/8	120.7971	23.50324	41.6
2020/7/8	120.8012	23.50067	44.3
2020/7/8	120.8034	23.5018	40.6
2020/7/8	120.8068	23.50362	43.8
2020/7/8	120.8165	23.50648	47
2020/7/8	120.8198	23.50472	45.7
2020/7/8	120.8208	23.50204	40.7
2020/7/8	120.8203	23.4948	39.8
2020/7/8	120.819	23.49122	42.1
2020/7/8	120.8229	23.48681	43.5
2020/7/8	120.8264	23.48535	44.7
2020/7/8	120.7573	23.48525	42.1
2020/7/8	120.7592	23.47436	40.7
2020/7/8	120.7598	23.46517	40
2020/7/8	120.7602	23.46509	38.9
2020/7/8	120.7546	23.45989	38.5
2020/7/8	120.7514	23.45967	40.2
2020/7/8	120.7487	23.45168	40.4
2020/7/8	120.7454	23.45113	44.1
2020/7/8	120.7433	23.44877	45.2
2020/7/8	120.7433	23.44666	37.2
2020/7/8	120.7405	23.44536	38.1
2020/7/8	120.7379	23.44413	39.2
2020/7/8	120.7385	23.4437	40.7
2020/7/8	120.7418	23.43875	40.8
2020/7/8	120.7431	23.43399	46.5
2020/7/8	120.7348	23.43024	44.3
2020/7/8	120.7336	23.42355	42.1
2020/7/8	120.7333	23.42149	41
2020/7/8	120.7302	23.43675	40.9
2020/7/8	120.7261	23.41745	40.8
2020/7/8	120.7232	23.41583	37.1
2020/7/8	120.7241	23.41215	37.2
2020/7/8	120.7214	23.41255	38.3
2020/7/8	120.7204	23.40538	35.1
2020/7/8	120.7492	23.45272	39.4
2020/7/8	120.7349	23.45169	41.7
2020/7/8	120.7133	23.47328	41.6
2020/7/8	120.7137	23.47487	42
2020/7/14	120.6504	23.40565	36.3
2020/7/14	120.6429	23.40228	34.2
2020/7/14	120.6443	23.39868	45.4
2020/7/14	120.6449	23.39183	45.1
2020/7/14	120.6417	23.38855	46.3

日期	經度	緯度	含水量
2020/7/14	120.6382	23.38547	45
2020/7/14	120.6374	23.38155	46.1
2020/7/14	120.6372	23.37783	44.7
2020/7/14	120.6385	23.37078	40.2
2020/7/14	120.6429	23.37103	37.9
2020/7/14	120.6444	23.37068	38.1
2020/7/14	120.6399	23.36568	42.2
2020/7/14	120.6412	23.35873	43.1
2020/7/14	120.6403	23.35287	44.5
2020/7/14	120.6391	23.3489	39.2
2020/7/14	120.6057	23.32563	38.7
2020/7/14	120.5516	23.33837	35.9
2020/7/14	120.5544	23.34155	40.9
2020/7/14	120.5559	23.3443	40.5
2020/7/14	120.5574	23.34708	40.5
2020/7/14	120.5589	23.34864	42.7
2020/7/14	120.5596	23.34918	44.5
2020/7/14	120.56	23.34989	46.1
2020/7/14	120.5609	23.35137	46.3
2020/7/14	120.5623	23.35142	45.2
2020/7/14	120.5638	23.35276	39
2020/7/14	120.5655	23.35282	38.9
2020/7/14	120.5661	23.35169	37.5
2020/7/14	120.5688	23.3519	37.2
2020/7/14	120.5734	23.35666	37.3
2020/8/13	120.799	23.50705	40.9
2020/8/13	120.7971	23.50324	41.6
2020/8/13	120.8012	23.50067	44.3
2020/8/13	120.8034	23.5018	40.6
2020/8/13	120.8068	23.50362	43.8
2020/8/13	120.8165	23.50648	47
2020/8/13	120.8198	23.50472	45.7
2020/8/13	120.8208	23.50204	40.7
2020/8/13	120.8203	23.4948	39.8
2020/8/13	120.819	23.49122	42.1
2020/8/13	120.8229	23.48681	43.5
2020/8/13	120.8264	23.48535	44.7
2020/8/13	120.7573	23.48525	42.1
2020/8/13	120.7592	23.47436	40.7
2020/8/13	120.7598	23.46517	40
2020/8/13	120.7602	23.46509	38.9
2020/8/13	120.7546	23.45989	38.5
2020/8/13	120.7514	23.45967	40.2
2020/8/13	120.7487	23.45168	40.4
2020/8/13	120.7454	23.45113	44.1
2020/8/13	120.7433	23.44877	45.2
2020/8/13	120.7433	23.44666	37.2

日期	經度	緯度	含水量
2020/8/13	120.7405	23.44536	38.1
2020/8/13	120.7379	23.44413	39.2
2020/8/13	120.7385	23.4437	40.7
2020/8/13	120.7418	23.43875	40.8
2020/8/13	120.7431	23.43399	46.5
2020/8/13	120.7348	23.43024	44.3
2020/8/13	120.7336	23.42355	42.1
2020/8/13	120.7333	23.42149	41
2020/8/13	120.7302	23.43675	40.9
2020/8/13	120.7261	23.41745	40.8
2020/8/13	120.7232	23.41583	37.1
2020/8/13	120.7241	23.41215	37.2
2020/8/13	120.7214	23.41255	38.3
2020/8/13	120.7204	23.40538	35.1
2020/8/13	120.7492	23.45272	39.4
2020/8/13	120.7349	23.45169	41.7
2020/8/13	120.7133	23.47328	41.6
2020/8/13	120.7137	23.47487	42
2020/8/7	120.6504	23.40565	42.4
2020/8/7	120.6429	23.40228	47.1
2020/8/7	120.6443	23.39868	47.1
2020/8/7	120.6449	23.39183	47.2
2020/8/7	120.6417	23.38855	41.8
2020/8/7	120.6382	23.38547	47.8
2020/8/7	120.6374	23.38155	42.5
2020/8/7	120.6372	23.37783	40.9
2020/8/7	120.6385	23.37078	47.2
2020/8/7	120.6429	23.37103	48.1
2020/8/7	120.6444	23.37068	44.5
2020/8/7	120.6399	23.36568	43.2
2020/8/7	120.6412	23.35873	41.8
2020/8/7	120.6403	23.35287	42.5
2020/8/7	120.6391	23.3489	39.8
2020/8/7	120.6057	23.32563	40.8
2020/8/7	120.5516	23.33837	41.2
2020/8/7	120.5544	23.34155	44.2
2020/8/7	120.5559	23.3443	43.7
2020/8/7	120.5574	23.34708	44.1
2020/8/7	120.5589	23.34864	38.1
2020/8/7	120.5596	23.34918	38.2
2020/8/7	120.56	23.34989	37.9
2020/8/7	120.5609	23.35137	40.1
2020/8/7	120.5623	23.35142	40.5
2020/8/7	120.5638	23.35276	43.2
2020/8/7	120.5655	23.35282	44.7
2020/8/7	120.5661	23.35169	40.2
2020/8/7	120.5688	23.3519	39.8

日期	經度	緯度	含水量
2020/8/7	120.5734	23.35666	39.7
2020/9/24	120.6516	23.40458	39
2020/9/24	120.6515	23.40336	40.8
2020/9/24	120.6569	23.40237	42.2
2020/9/24	120.6603	23.40153	40.4
2020/9/24	120.658	23.39843	41.1
2020/9/24	120.6622	23.39898	40.1
2020/9/24	120.6629	23.39375	36.8
2020/9/24	120.6659	23.39005	36.5
2020/9/24	120.6649	23.38963	44
2020/9/24	120.6679	23.3885	41.5
2020/9/24	120.668	23.38747	42.8
2020/9/24	120.669	23.38587	38.2
2020/9/24	120.6684	23.38553	44
2020/9/24	120.668	23.38488	39.2
2020/9/24	120.6693	23.38127	40.8
2020/9/24	120.6715	23.37941	39.2
2020/9/24	120.6741	23.37793	37.9
2020/9/24	120.6747	23.37537	36.1
2020/9/24	120.6717	23.37327	20.3
2020/9/24	120.6741	23.36847	42.1
2020/9/24	120.6768	23.36408	36.4
2020/9/24	120.6808	23.35755	43.7
2020/9/24	120.6817	23.3513	45.6
2020/9/24	120.6874	23.34728	41.6
2020/9/24	120.6914	23.34175	40.8
2020/9/24	120.681	23.33523	37.1
2020/9/24	120.6811	23.33288	44.6
2020/9/24	120.6786	23.333	44.1
2020/9/24	120.6775	23.33027	40.5
2020/9/24	120.6792	23.3267	38.5
2020/9/24	120.6749	23.32182	41.1
2020/9/24	120.6726	23.31556	46.3
2020/9/24	120.6681	23.30557	44.7
2020/9/24	120.6687	23.29825	39.2
2020/9/24	120.675	23.29525	44.6
2020/9/24	120.6773	23.29572	44.2
2020/9/24	120.6807	23.29545	41.8
2020/9/24	120.6915	23.28807	41.7
2020/9/24	120.6902	23.2819	40.3
2020/9/24	120.6864	23.27332	26.1