

# 以SMAP衛星遙測配合SAR雷達回波 評估土壤含水量分布

水土保持局技術研究發展小組  
專題討論

導讀者：余騰鐸 彭文飛

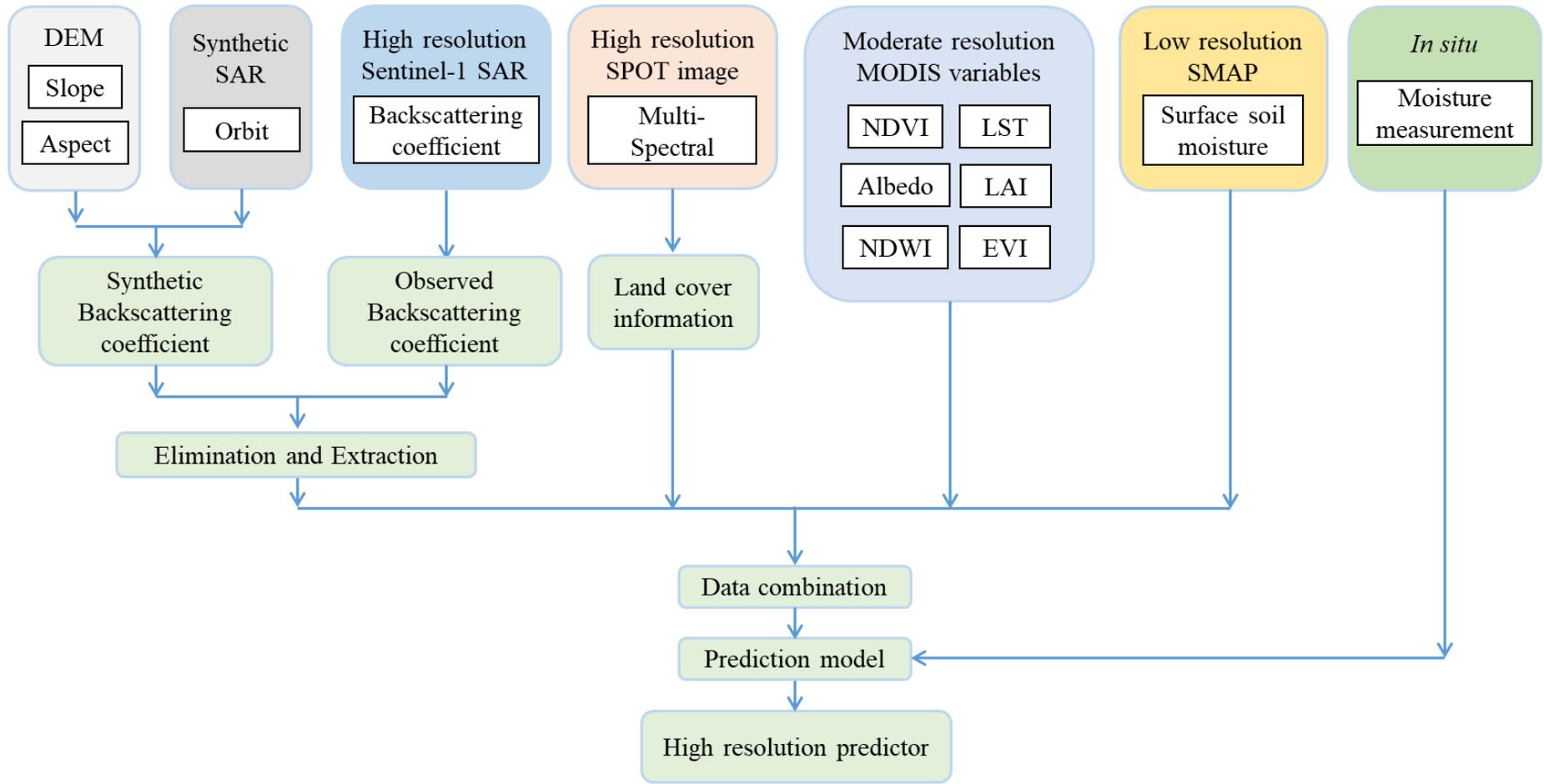
單位：成功大學 衛星資訊研究中心

# 一、前言與研究目的

- 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。
- 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，以作為預測土壤含水量之依據，以供邊坡防災評估使用。

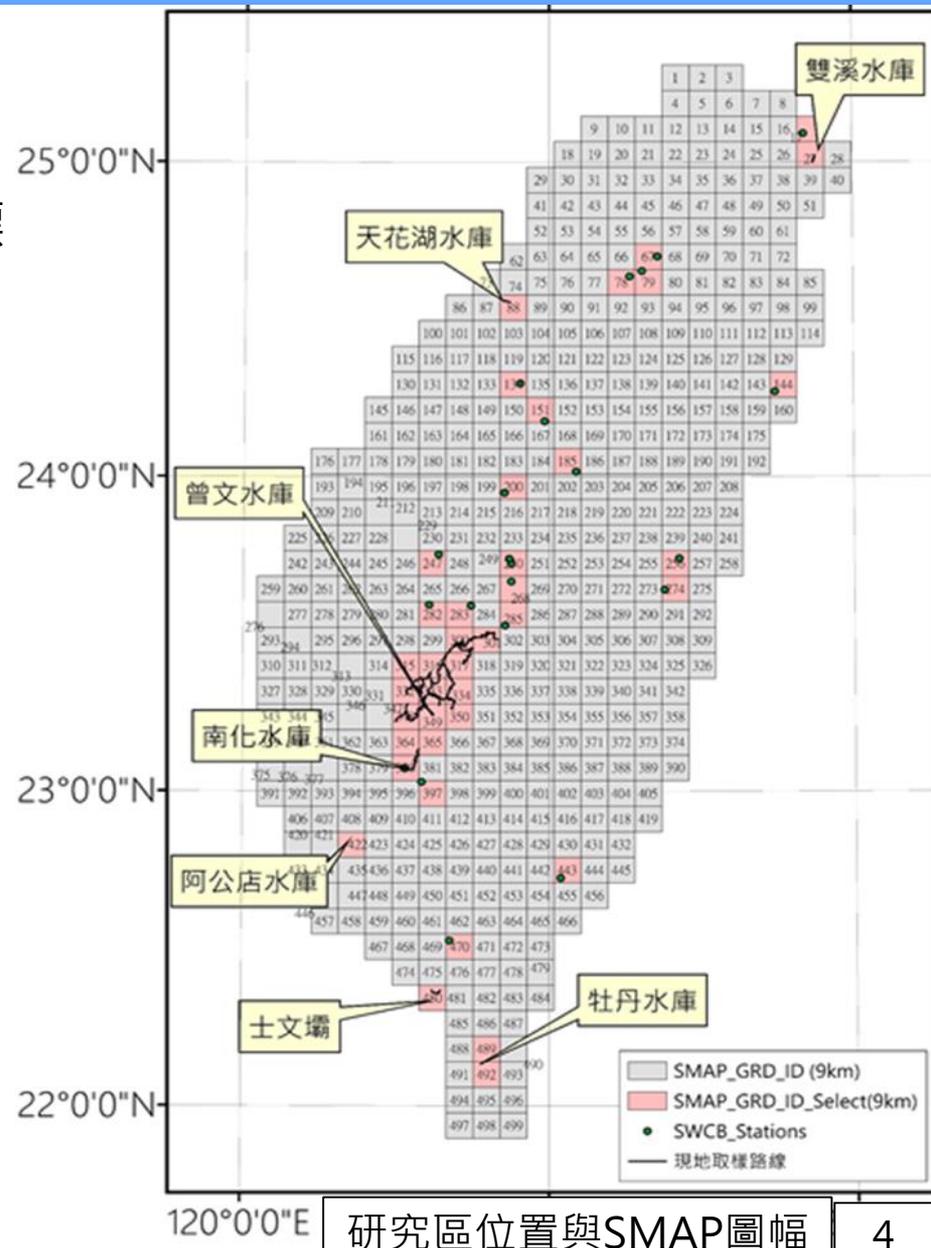
# 二、研究方法

建構現地含水量預測模式之流程圖:



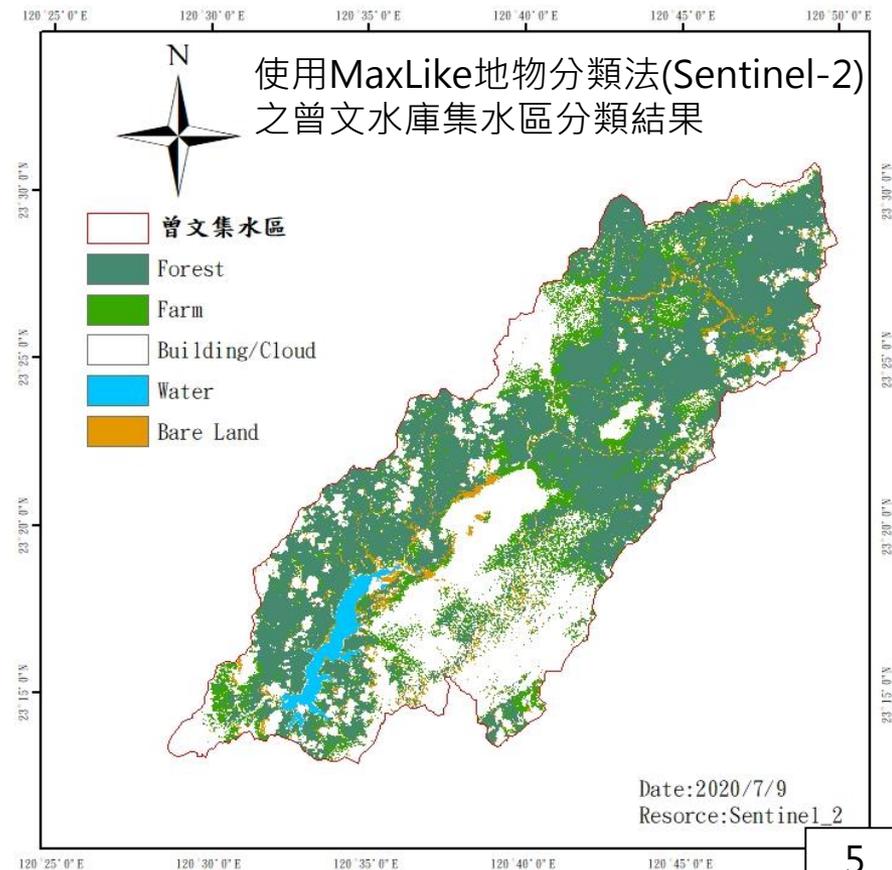
## 二、研究方法

- 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**。
- **研究區域**由北至南分成：
  - (1)雙溪水庫、
  - (2)天花湖水庫、
  - (3)曾文水庫、
  - (4)阿公店水庫、
  - (5)土文水庫及
  - (6)牡丹水庫集水區等6區。



## 二、研究方法

- 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**及**(6)研究區域**。
- 衛星遙測參數包含：**(1)後向散射係數(Sentinel-1)**、**(2)NDVI(Sentinel-2)**、**(3)NDWI(Sentinel-2)**、**(4)地溫(MODIS)**及**(5)大尺度濕度(SMAP)**。
- 使用監督式分類法以取得現地含水量採樣點之**地物種類參數**，作為反映地表狀況之依據，納入預測地表含水量之輸入參數。依據Sentinel-2多光譜影像，使用MahalDist分類演算法，使用ENVI軟體，將地物種類分成：**(1)森林地**、**(2)農地**、**(3)建築物與雲**、**(4)水體**及**(5)裸露地**。
- 預測正確性指標: **(1)root-mean-square error, RMSE**、**(2)相關係數**

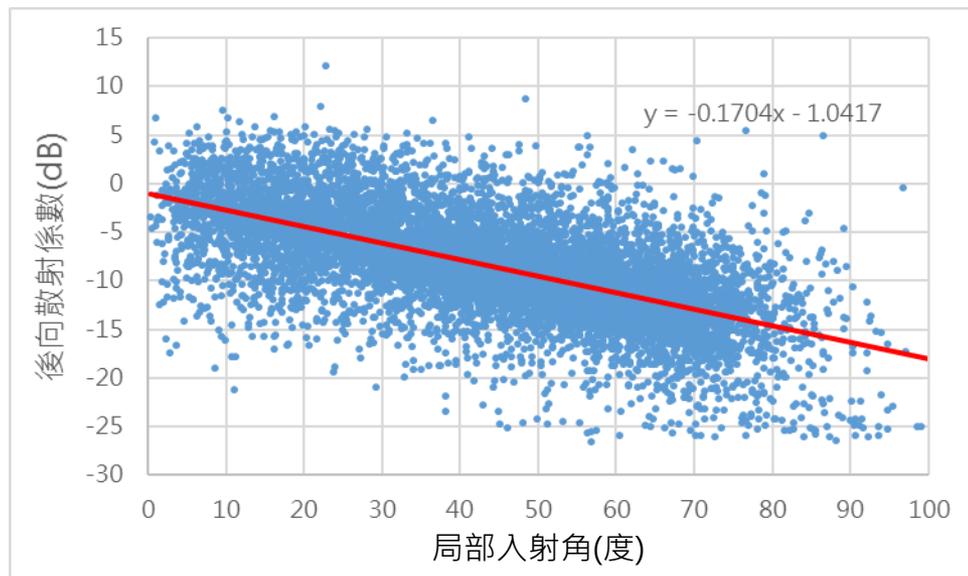


## 二、研究方法

- 藉由以下三個方式修正或篩選適當的後向散射係數 $\sigma^0$ ：**(1)去除後向散射係數與局部入射角成反比的相關性**；(2)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；(3)設定入射波與坡向方位角之夾角門檻值與局部入射角門檻值，以剔除透視收縮和疊掩區域。

採用Schaufler et al. (2018)所建議線性模式，以此相關性之斜率 $\beta$ 對後向散射係數 $\sigma^0$ 進行修正：

$$\sigma^0(40^\circ) = \sigma^0(\theta_L) - \beta(\theta_L - 40^\circ)$$

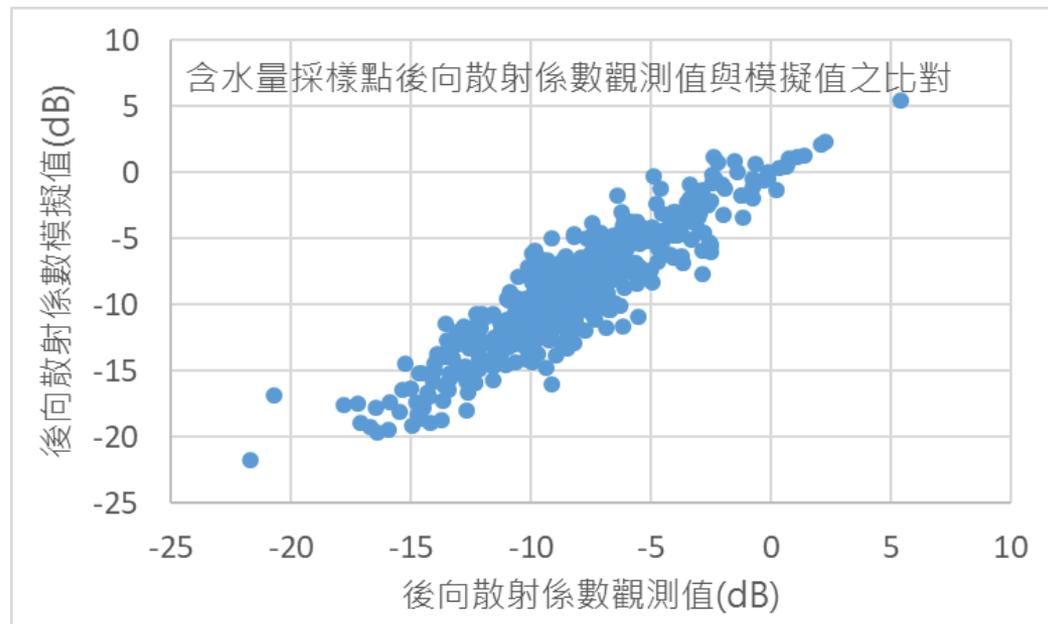


曾文水庫集水區後向散射係數與局部入射角之相關性

## 二、研究方法

- 藉由以下三個方式修正或篩選適當的後向散射係數 $\sigma^0$ ：(1)去除後向散射係數與局部入射角成反比的相關性；**(2)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**；(3)設定入射波與坡向方位角之夾角門檻值與局部入射角門檻值，以剔除透視收縮和疊掩區域。

- ◆ 利用SNAP軟體中之合成孔徑雷達影像模擬運算法，藉由DEM、原始SAR影像地理編碼、軌道資料以及SAR幾何成像的數值模型，生成SAR模擬影像，**此程序並不考慮現地含水量與植生之狀況，故此模擬值與實際值之差異，將蘊含現地含水量(與植生)之資訊。**



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

## 二、研究方法

- 藉由以下三個方式修正或篩選適當的後向散射係數 $\sigma^0$ ：(1)去除後向散射係數與局部入射角成反比的相關性；(2)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；(3)設定入射波與坡向方位角之夾角門檻值與局部入射角門檻值，以剔除透視收縮和疊掩區域。

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。本預測模式設定適當之門檻值，剔除透視收縮和疊掩之區域。

若方位角門檻值 $\varphi_{threshold}$ ， $\varphi_s$ 為坡向方位角， $\varphi_a$ 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：

$$-\varphi_{threshold} \leq \varphi_s - \varphi_a \leq \varphi_{threshold}$$

$$\pi - \varphi_{threshold} \leq \varphi_s - \varphi_a \leq \pi + \varphi_{threshold}$$

藉由預測結果反推適當之門檻值。

# 三、研究成果與討論

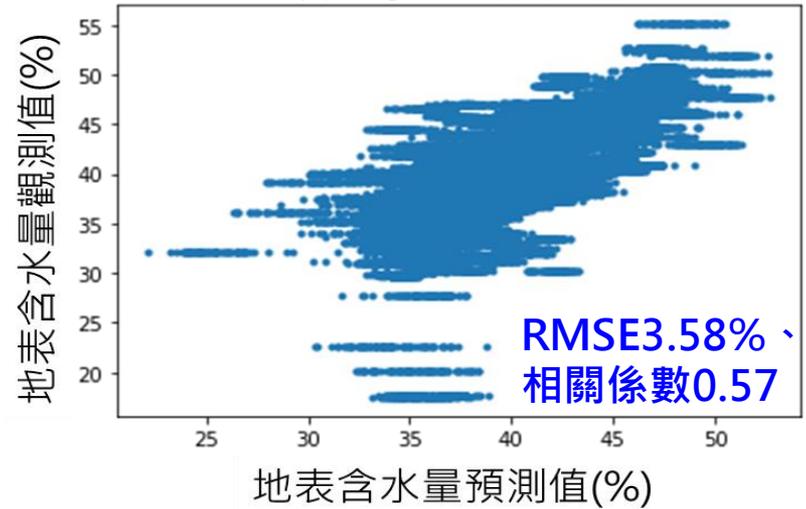
## 使用後向散射係數以外之參數進行地表含水量預測~

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：

- (1)日期 (3.2%, 4.8%)、
- (2)雨量 (2.8%, 3.6%)、
- (3)大尺度濕度 (2.1%, 2.9%)、
- (4)地溫 (1.3%, 2.2%) 與
- (5)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。

地表含水量預測之正確性比對



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)

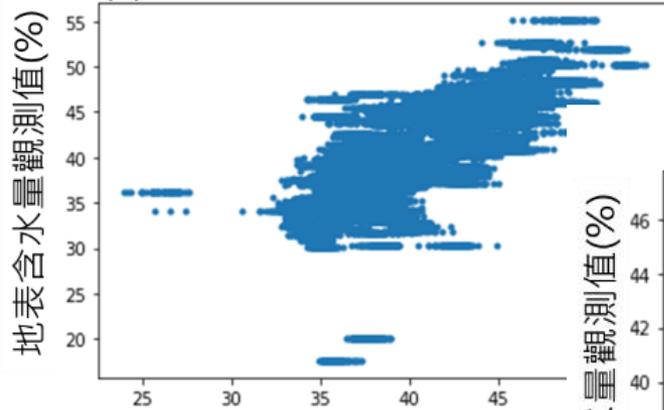
預測參數項	移除預測參數後對預測正確性的影響		預測參數項	移除預測參數後對預測正確性的影響	
	RMSE下降幅度	相關係數上升幅度		RMSE下降幅度	相關係數上升幅度
NDVI(Sentinel-2)	0.3%	0.9%	所有雨量參數	2.8%	3.6%
NDWI(Sentinel-2)	-0.4%	0.2%	當日降雨量	2.5%	3.1%
地溫(MODIS)	1.3%	2.2%	前兩日降雨量	1.8%	2.7%
大尺度濕度(SMAP)	2.1%	2.9%	前十日降雨量	1.2%	0.7%
高程	1.0%	0.1%	前20日降雨量	0.4%	0.2%
坡度	0.0%	0.3%	日期參數	3.2%	4.8%

# 三、研究成果與討論

未修正之後向散射係數觀測值對預測正確性之影響~

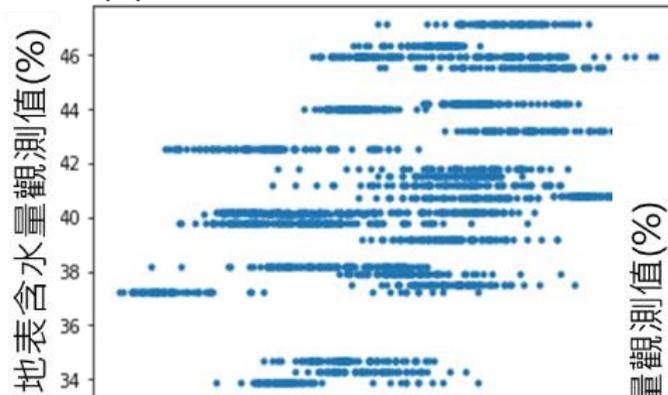
- (一)針對**森林地**之類群，RMSE降低0.8%、相關係數提升1.6%
- (二)針對**農地**之類群，RMSE降低2.5%、相關係數提升19.8%
- (三)針對**裸露地**之類群，RMSE降低-0.9%、相關係數提升-1.7%

(a)針對森林區域進行預測



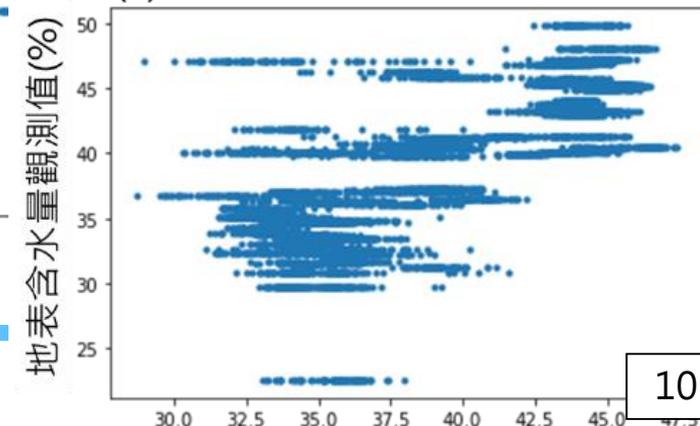
(RMSE3.21%、相關係數0.19)

(b)針對農地進行預測



(RMSE4.00%、相關係數0.50)

(c)針對裸露地進行預測



(RMSE3.48%、相關係數0.58)

地表含水量預測值(%)

地表含水量觀測值(%)

30.0 32.5 35.0 37.5 40.0 42.5 45.0

# 三、研究成果與討論

## 修正後之後向散射係數觀測值對預測正確性之影響~

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「經局部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」

## 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%

若針對**森林區**，使用**搭配局部入射角修正**後之後向散射係數 (模式二) 將較佳；  
若針對**農地**，則使用**經模擬值修正**後之後向散射係數 (模式三) 將較佳；

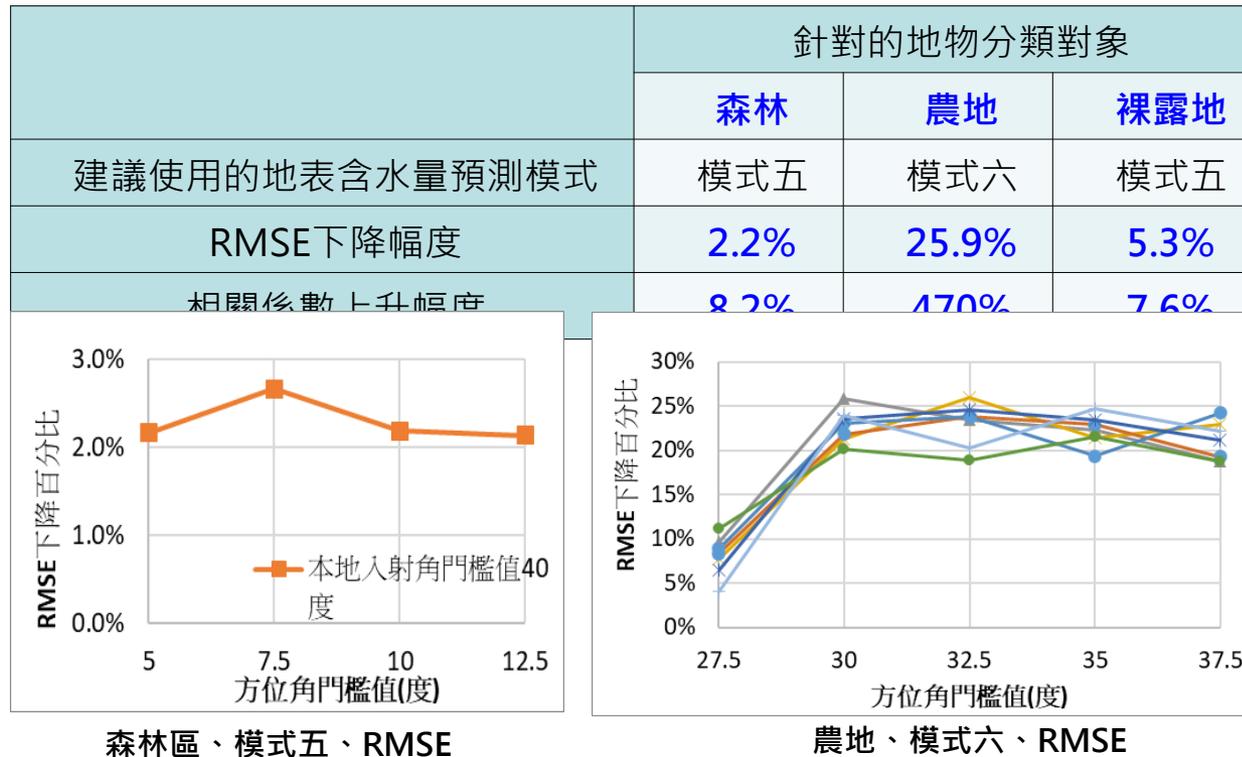
# 三、研究成果與討論

修正後向散射係數並設定門檻值以提升預測正確性~

模式五：納入「經局部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」

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

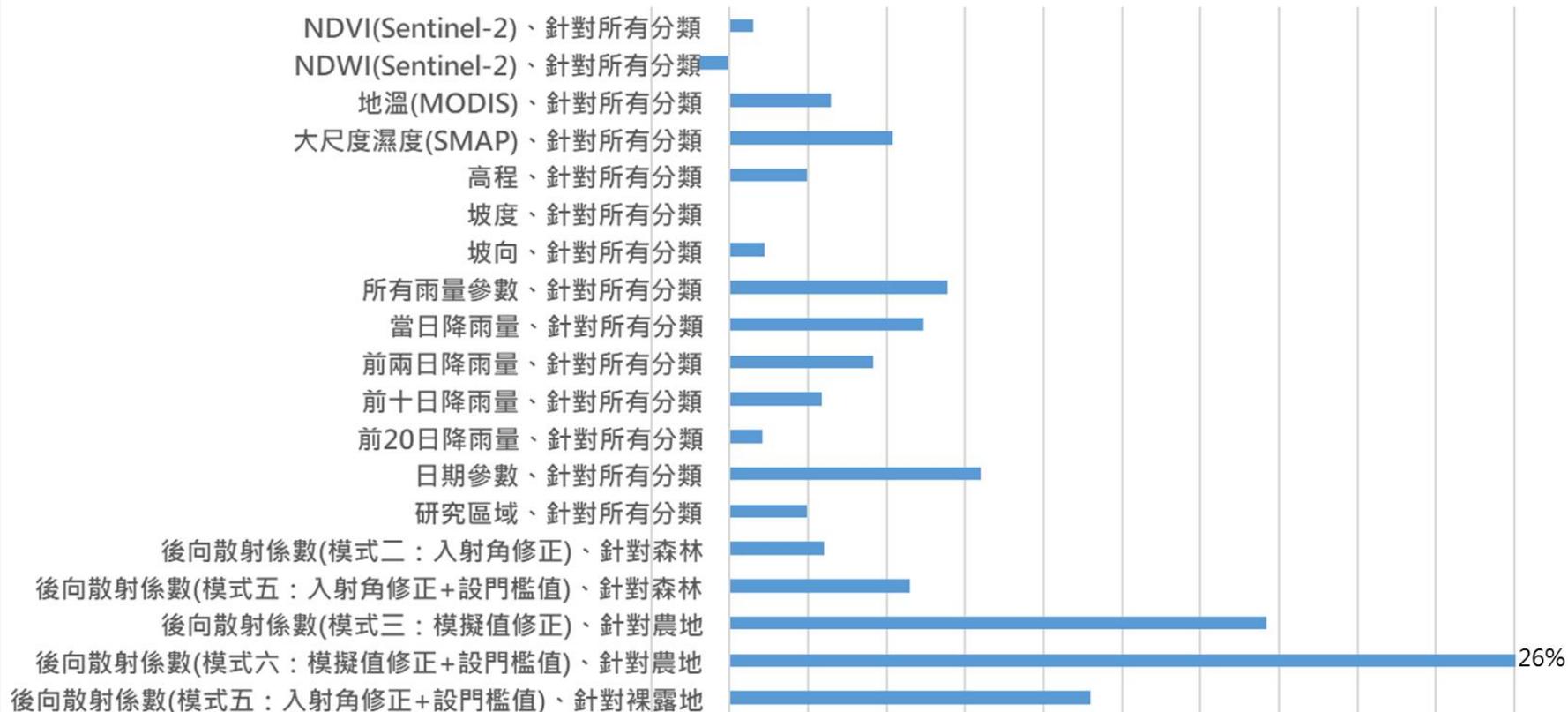


# 三、研究成果與討論

## 各預測參數項對於現地濕度預測正確性(RMSE)的影響

各預測參數項對於現地濕度預測正確性的影響: RMSE下降幅度

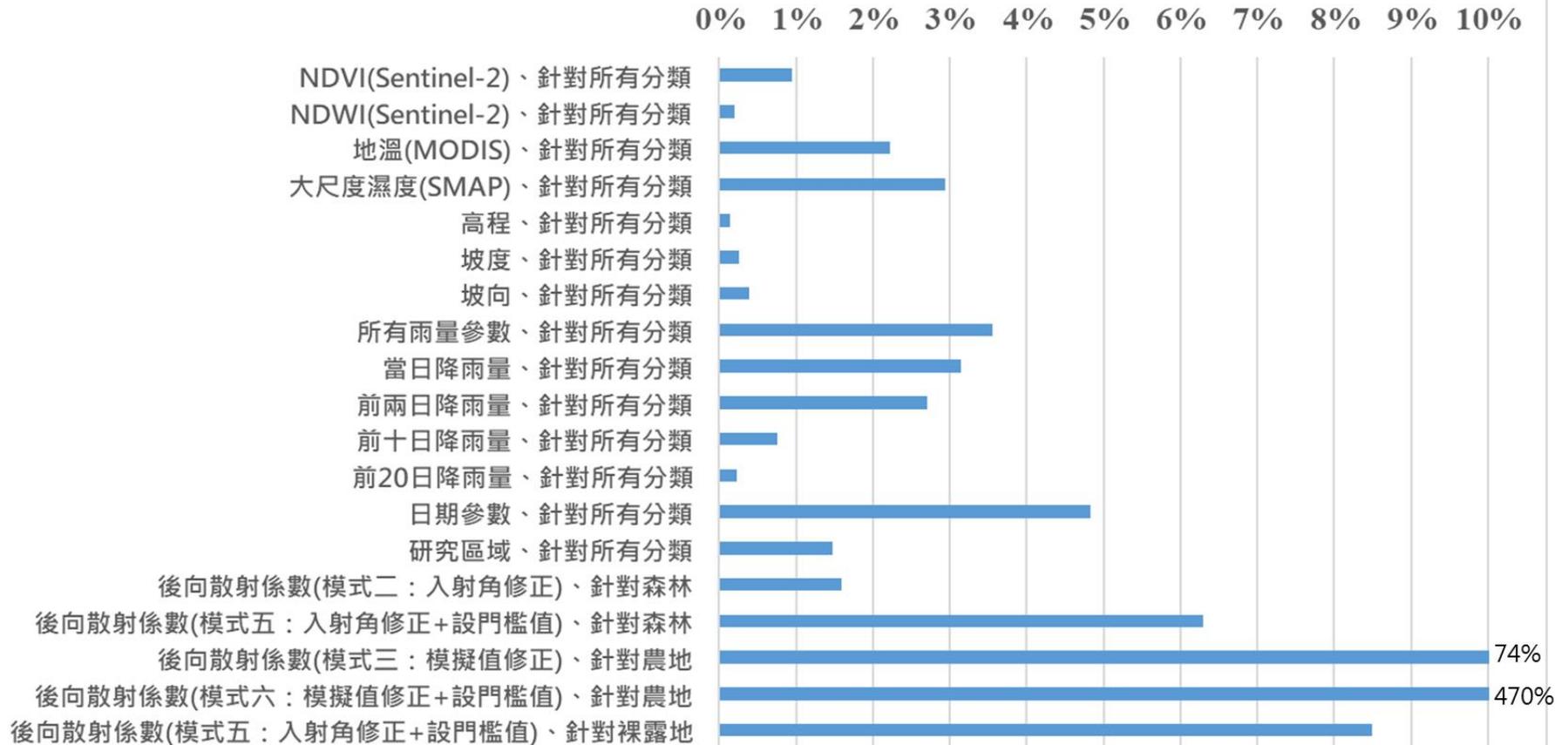
-1% 0% 1% 2% 3% 4% 5% 6% 7% 8% 9% 10%



# 三、研究成果與討論

## 各預測參數項對於現地濕度預測正確性(相關係數)的影響

各預測參數項對於現地濕度預測正確性的影響: 相關係數上升幅度



# 四、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分類法結果，較有助於提升地表含水量預測正確性。
- 三、地物分類結果中的「森林區域」，若使用經局部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%。

# 四、結論

- 五、地物分類結果中的「裸露地」，若使用經局部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。

# 預測模式之衛星資訊需求

Data	Product	Temporal Coverage	Resolution	Delay	Charge
Soil Moisture	SMAP_L2 _SM_SP	3~5 days	3km	1~3 days	Free
Backscatter	Sentinel_1	6 days	10m	On Time	
NDVI	Sentinel_2	5 days	10m	On Time	
NDWI					
LAI					
LST	MODIS_M OD11A1	Daily	1km	2 days	

**簡報完畢**

---

**敬請指教**