

台灣區域土壤含水率觀測網之建置與資料分析

江昭輝¹ 簡光佑¹ 莊秉潔¹ 黨美齡¹
李育棋² 洪景山² 郭珮萱¹ 蔡徵霖³

¹國立中興大學環境工程學系

²中央氣象局

³景丰科技股份有限公司

（中華民國一〇三年十二月二十四日收稿；中華民國一〇四年六月二日定稿）

摘 要

土壤含水率與土溫為影響大氣與地表間能量交互作用的重要參數之一。相對於台灣地區氣象測站之密集度，目前台灣地區土壤含水率觀測資料在時間及空間上的分布仍相當缺乏，本研究團隊在國科會計畫經費補助並與中央氣象局合作下，已於氣象局台中、高雄、恆春、日月潭、嘉義、阿里山與永康等氣象站及中興大學北東眼山測站設置土壤含水率觀測網，今年度完成氣象局北部（台北氣象檢校中心及新竹氣象站）與東部（宜蘭、花蓮與台東等氣象站）之土壤含水率觀測網建置。

初步結果顯示，土壤含水率與降雨量呈現良好的正相關，當降雨量上升時含水率會有相應之反饋。本研究分析重點放在於降雨結束後，表層土壤含水率隨時間衰退的情形。在定性分析方面，針對不同土壤含水量的背景值，探討其消退曲線的表現。定量分析方面，以固定時距觀察單一測站在不同降雨事件的土壤含水量消散的趨勢。在時間分佈上，而土壤含水率變化主要是受到季節降雨特性所影響，1~5月各測站土壤含水率相對較低，平均約10%左右；5月開始的梅雨季與相繼而來的颱風季節帶來的降雨使得各測站土壤含水率普遍偏高，約20~30%左右；冬季11~12月各測站土壤含水率偏低，平均約10%左右。地表模式GLDAS及HRLDAS反演2014年4、5月份不同深度之平均土壤含水率分佈情形。GLDAS呈現南部地區高，中部及北部地區低的情形；HRLDAS則顯示各個深度之平均土壤含水率均在30%以上。

關鍵字：土壤含水率、地表模式、GLDAS、HRLDAS、降雨量

一、前言

土壤含水率是指土壤非飽和層中的水分含量，目前已經被認為基本氣候變量之一(System G.C.O., 2010)。地表可藉由能量及水文的循環和儲存影響短期天氣的事件及長期氣候的變異，相關研究報告指出，在 2003 年歐洲熱浪發生之前已有一段極不尋常的乾燥春季，乾燥的土壤無法提供足夠的水分進行蒸發，進而使夏季氣溫變得極高。土壤中的水分改變地表能量的收支，並影響著數值天氣預報的表現，不論是在氣候模式預測、植被生長及氣象反饋上都扮演著相當重要的角色 (Teuling et al., 2007; Seneviratne et al., 2010)。

由於土壤含水率不易測量，很難掌握準確的土壤含水率資料，也難以建立合適的參數化模型，不精確的土壤含水率常大幅影響氣候預測的結

果。目前全球的土壤含水率數據主要來微波衛星遙測資料(Yaari et al., 2014)及現地觀測（如 TDR、FDR 等），透過資料同化系統將這些微波遙測及現地觀測數據進行再分析資料處理，目前資料同化系統（如 HRLDAS、GLDAS）已在氣候監測、季節預報、區域水循環及大氣模式等許多研究領域中得到廣泛應用。

土壤水分與地表水文過程息息相關，並受到地形、土地利用及土壤質地空間異質性的分佈而有所改變。因此在時間及空間上對於土壤水分的觀測及模擬，具有很高的挑戰性。圖 1 顯示目前全球土壤含水率觀測分散不均，台灣地區僅有局部性土壤含水率觀測（吳等，2013；邱，2005；陳等，2003；童等，2001），且在時間及空間上的分布仍相當缺乏，因此本研究團隊在國科會計畫經費補助並與中央氣象局合作下，建置台灣地區

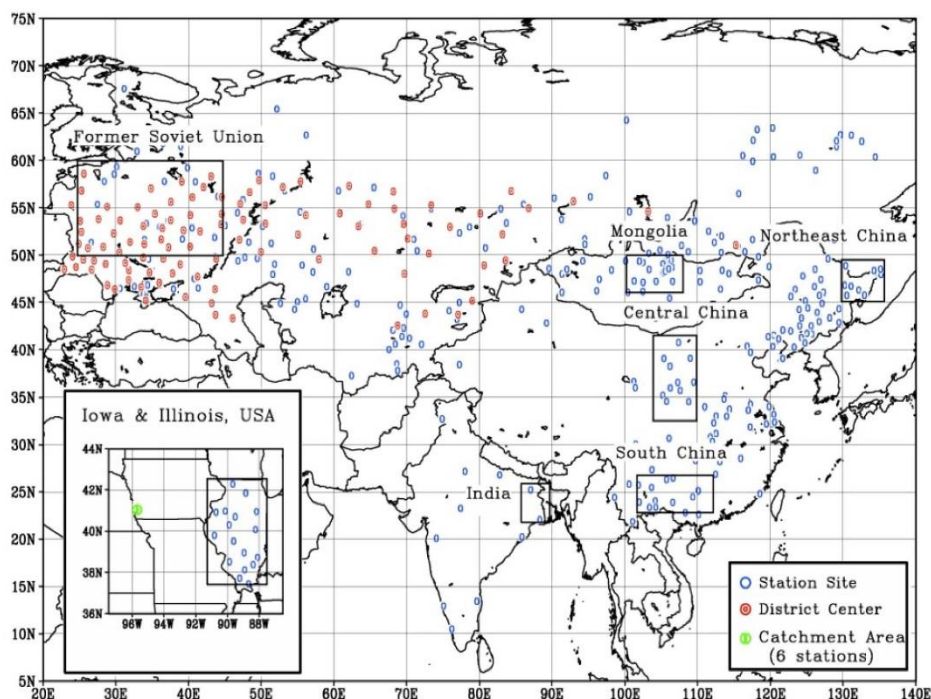


圖 1 全球土壤含水率分佈網(Robock et al., 2000)。

土壤含水率觀測網。本研究先初步探討降雨量及不同土層含水率的消長關係，再以 HRLDAS 及 GLDAS 模擬之土壤含水率與觀測值比較，了解其時空間上的差異，進一步分析區域性土壤含水率變化。

二、研究背景及方法

(一) 觀測資料

台灣地區土壤含水率觀測資料在時間及空間上的分布仍相當缺乏，本研究團隊在國科會計畫經費補助並與中央氣象局合作下，建置台灣地區土壤含水率觀測網。目前已於氣象局台中、高雄、恆春、日月潭、嘉義、阿里山、台南、台北氣象檢校中心、新竹、宜蘭、花蓮與台東等氣象站與中興大學北東眼山測站完成土壤含水率觀測網建

置。目前已在台中氣象站設置一桌上型電腦以收集各測站的觀測資料，由本實驗室之 QBOX 伺服器主機做為主要資料庫，至台中氣象局蒐集各個氣象站之資料儲存與使用，並可將各個土壤含水率測站數據整合而提供即時土壤含水率資料。圖 2 為研究埋設之台灣土壤含水率空間分布圖。

地表過程不僅牽涉地表及大氣間的交互作用，影響天氣與區域氣候的特性，在模式中地表過程要能正確的發生作用，正確的土地利用型態分布與良好的參數化是決定性的因子。所以觀測站之土地利用型態則應先被確認，本研究中以 GTx 土地使用分類資料作為各觀測站土地利用型態之依據，以各觀測站所在位置之網格為中心點，以 3 公里×3 公里作為預設之模擬範圍，在前述的土地使用分類資料庫中取出範圍內的網格資

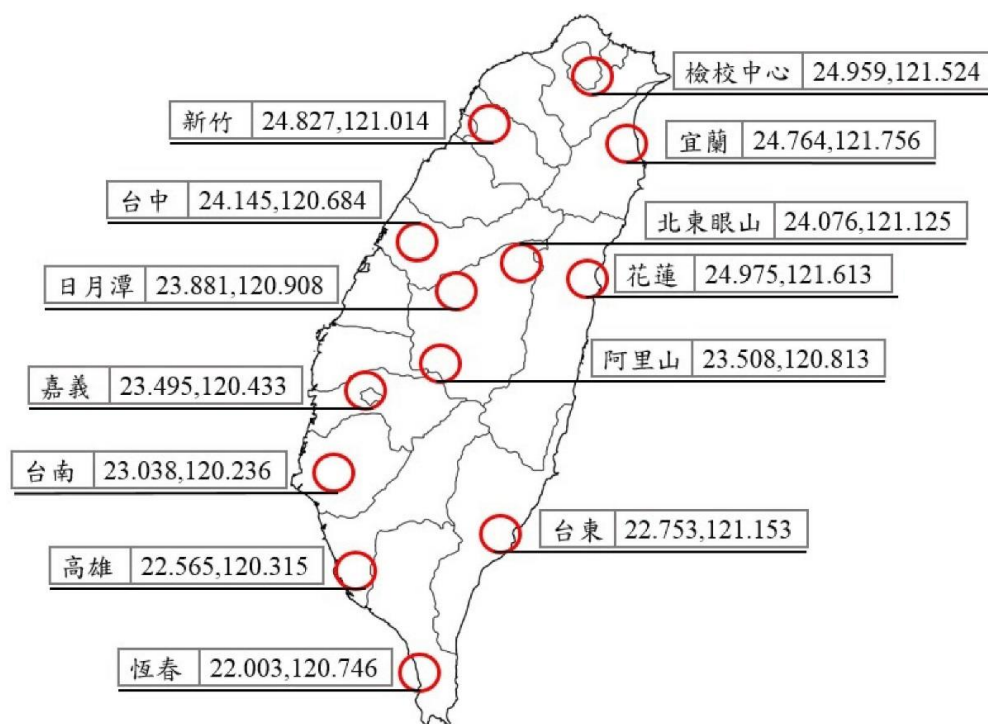


圖 2 本研究埋設之台灣土壤含水率空間分布圖。

料，如表 1 所示。

本研究主要想探討降雨量及不同土層含水率的消長關係，所使用之降雨量及不同土層土壤含水率資料來自氣象觀測站及自設之土壤含水率測站，其中土壤含水率資料採用頻域反射計 FDR (EnviroSMART)觀測，量測地表下 10、30、70、100、150 公分之土壤含水率。部分地點由於架設上困難，測量深度有所差異。儀器觀測資料每一小時輸出平均值儲存於資料記錄器(CR200)。表 2 為本研究埋設之土壤含水率量測位置及深度。進一步挑選觀測站資料庫中 2014 年之降雨事件，進行分析。首先由各觀測站取得降雨事件前後各約一週之觀測資料，其目的在觀察土壤含水率之背景值及其衰退的過程。爾後進行降雨量與土壤含水率的資料篩選，剔除某些因儀器問題所產生不合理的觀測資料，經篩選後擁有較完善資料的測站有台中、日月潭、嘉義、台南、高雄、恆春、台東及北東眼山等測站。台灣氣候潮濕，使得儀器管內常有結露水產生，造成儀器故障，與儀器原廠反應則是建議於管內設置乾燥劑並定期更換，但觀測地點分散在台灣各地更換一次乾燥劑需耗費相當多時間及人力，使觀測網維護不易。

分析方法係採定性與定量分析。定性分析方面探討不同土壤含水率背景值下之含水率衰退曲線差異性，如表 3。定量方面統計各測站在每段降雨中，含水率達到最後一個峰值（最大值）後不同時距內的含水率變化，觀察由最末峰時間起算之第 6、第 12、第 18、第 24、第 36、第 48 小時對應之含水率。在挑選樣本時有以下三點須注意：(a)含水率達到最末峰值後之降雨若影響後續含水率變化則不允列入統計，本次統計中以後續零星降雨之總量不超過 5mm 為原則。(b)相當集

中於最末峰的強降雨為(a)之例外可列入樣本。(c)相反地，雖然後續降雨小但靠近計算點，則視與其他樣本結果之差異予以採納或剔除（吳等，2013）。

(二) GLDAS

GLDAS 是一個非耦合地表模式系統，其驅動多個地表模式，包括 Mosaic、Noah、Community Land Model (CLM)和 Variable Infiltration Capacity (VIC)，在全球高分辨率(0.25°、1°)下執行，集成了以觀測數據為基準的資料同化系統，可產生一系列地表狀態（土壤含水率、表面溫度等）和通量（蒸發、可感熱通量等）的反演(Fang et al., 2009)。本研究 GLDAS 所測估之台灣土壤含水率之時間、空間解析度為 3 小時、0.25°。模擬期程為 2014 年 4~5 月。

(三) HRLDAS

HRLDAS 是一個以 Noah 土壤模式為核心的土壤資料同化系統。使用觀測之降雨及地面的大氣溫度、濕度、風場和輻射通量等，藉由 Noah 土壤模式將地面觀測資訊透由土壤物理過程逐步影響到深層土壤，進而取得和大氣強迫作用平衡的土壤溫度和土壤濕度，Noah 土壤模式將土壤分為四層，分別位於地下 5、25、70 和 150 cm。除了土壤溫度及濕度的物理擴散過程外，Noah 土壤模式還包含植被的模式，可處理植物的蒸散作用、植物葉面攔截水等過程（洪等，2014）。本研究使用 HRLDAS 所測估之台灣土壤含水率之時間、空間解析度為 1 小時、5 公里。模擬期程為 2014 年 4~5 月。

表 1 各觀測站土地利用型態。

觀測站	3公里x3公里模擬範圍內不同土地利用之比例
檢校中心	住宅：28.8%、森林：25.7%、水田：20.6%、水體：5.7%、草地：4.1%、其他：15.1%
新竹	水田：49.6%、住宅：26.2%、森林：6.3%、水體：3.4%、草地：2.1%、其他：12.4%
台中	住宅：63.8%、水田：32.6%、水體：1.1%、草地：0.9%、其他：1.6%
日月潭	森林：91.3%、水田：5.0%、住宅：0.59%、水體：0.3%、旱地：0.3%、其他：2.6%
嘉義	水田：43.4%、住宅：21.1%、旱地：18.3%、蔗田：6.0%、果園：2.2%、水體：1.4%、其他：7.6%
阿里山	森林：88.8%、住宅：0.4%、其他：10.8%
台南	蔗田：29.0%、住宅：23.4%、水田：6.8%、水體：4.9%、旱地：2.6%、池塘：1.7%、其他：31.6%
高雄	蔗田：34.3%、住宅：27.0%、海洋：23.0%、海港：7.0%、草地：2.4%、其他：6.3%
恆春	水田：39.3%、旱地：17.1%、蔗田：10.6%、住宅：10.5%、森林：8.2%、矮林：6.5%、果園：0.7%、水體：0.6%、草地：0.3%、其他：6.1%
宜蘭	水田：89.6%、住宅：8.1%、水體：1.0%、旱地：1.0%、其他：0.3%
花蓮	海洋：30.9%、住宅：25.8%、森林：10.8%、草地：5.5%、海港：5.1%、水體：1.4%、旱地：0.7%、其他：19.8%
臺東	住宅：20.3%、海洋：19.9%、森林：11.0%、旱地：6.8%、水體：2.7%、水田：2.6%、草地：1.5%、其他：35.2%
北東眼山	森林：100%

表 2 本研究埋設之土壤含水率量測位置及深度。

觀測站	位置 (經緯度)	海拔高度 (m)	架設深度 (cm)	資料起用日期
檢校中心	24.959, 121.524	6.1	10、30、70、100、150	2014.03 – 迄今
新竹	24.827, 121.014	26.9	10、20、30、40、50	2015.04 – 迄今
台中	24.145, 120.684	84	10、30、70、100、150	2013.09 – 迄今
日月潭	23.881, 120.908	1014	10、30、50、70、80	2013.06 – 迄今
嘉義	23.495, 120.433	26.9	10、30、70、100、150	2013.12 – 迄今
*阿里山	23.508, 120.813	2414	10、30、50、70、80	-----
台南	23.038, 120.236	8.1	10、30、70、100、150	2013.07 – 迄今
高雄	22.565, 120.315	2.3	10、30、50、70、80	2013.10 – 迄今
恆春	22.003, 120.746	22.3	10、30、70、100、150	2013.10 – 迄今
宜蘭	24.764, 121.756	7.4	10、30、70、100、150	2014.03 – 迄今
花蓮	23.975, 121.613	16.1	10、30、70、100、150	2014.03 – 迄今
臺東	22.753, 121.153	9	10、30、70、100、150	2014.03 – 迄今
北東眼山	24.076, 121.125	2087	10、20、30、50	2013.03 – 迄今

*註：阿里山氣象站由嘉義縣政府指定為縣定古蹟，作業室搬遷，完工時程未定。

表 3 各測站之土壤含水率統計。

觀測站	量測深度 (公分)	土壤含水率(%)變化範圍		土壤質地
		最大值	最小值	
台中	10	37	9	壤土
	30	36	14	壤土
	70	41	4	壤土
	100	41	11	砂質黏壤土
	150	43	10	黏壤土
日月潭	10	33	4	砂質黏壤土
	30	42	5	砂質黏壤土
	50	35	13	砂質黏壤土
	70	37	7	砂質黏壤土
	80	39	9	砂質黏壤土
嘉義	10	43	3	黏壤土
	30	42	28	黏土
	70	44	33	黏壤土
	100	46	38	黏土
	150	44	43	黏土
台南	10	37	2	砂質壤土
	30	33	5	砂質壤土
	70	38	5	壤土
	100	42	4	壤土
	150	37	14	壤土
恆春	10	45	2	壤土
	30	41	5	壤土
	70	38	9	砂質黏壤土
	100	42	12	
	150	43	18	
高雄	10	34	5	砂質黏壤土
	30	40	6	砂質壤土
台東	70	22	6	砂質壤土
	100	15	3	
	150	29	13	壤土
北東眼山	10	43	16	黏土
	20	37	12	黏土
	30	52	4	黏土
	50	50	6	黏土

*註 1：花蓮、宜蘭、台北因數據缺漏嚴重不列入討論。

*註 2：為簡化數據方便查閱比對，以上數據皆由原始數據無條件捨去小數位。

三、結果與討論

本研究考慮各測站之土壤含水率背景值、變化範圍。對土壤含水率衰退行為進行分析。以日月潭（圖 3）與台南（圖 4）測站為例，表層土壤含水率受降雨影響呈現陡升陡降之圖形，在陡處可呈現針狀；深層土壤含水率普遍呈現陡升緩降之特性。採用漸增之時距觀察發現不論淺層或深層土壤含水率，其衰退曲線皆漸趨平緩，含水率的變化速率逐漸減慢。使用第 12 小時之含水率為標的，因 12 小時前含水率難以趨近一小範圍，而 24、36 或 48 小時後的含水率變化範圍之大小與 12 小時後相差無幾，沒有明顯縮小的趨勢，另一原因是統計時間越長，符合之資料越少，因為豪雨及颱風降雨經常是間歇性忽大忽小持續一段時間，少有 2~3 日毫無降雨的紀錄可供統計。

結果顯示表層含水率在 12 小時後之含水率變化範圍普遍在 4% 內，統計結果表列於表 4。淺層含水率在 12 小時後的含水率變化範圍得以限縮到 4% 以內，意即面對多變的降雨條件皆能夠趨近某一定值，足以彰顯其穩定性。以台中測站 7/23 豪雨為例，自 7/10 至 9/8 共約 2 個月的紀錄中，共有三筆達最末峰後 12 小時之含水率可參考，其餘皆因有降雨打斷其含水率衰退歷程而無法採用。統計 12 小時後的表層土壤含水率趨近於 31%，含水率變化參考表 5 及圖 5。由圖 5 中可看出三次主要降雨的分布，其累積降雨量依次是 88、11.16、49.84mm，最高值及最低值相差八倍之多。然在複雜多變的降雨形態下，12 小時後的含水率仍有趨近某定值的趨勢。

又圖 5 中降雨前含水率的背景值呈現穩定波動變化，平均為 11.46%，最低 10.32%。但經過多次降雨累積後，從圖 5 可觀察出表層含水率原先

約略以第一條水平線為底，大量降雨後變化範圍整個平移到第三條水平線之上，最低值為 28.16%。此含水率隨先前降雨量之累積而有所提升的現象普遍存在，此累積效應越強烈，含水率越難以束縮其範圍，此乃淺層與深層含水率變化特性差異的成因。

深層含水率往往在一連續劇烈降雨後其含水率大幅躍升，並能維持一段時間。在之後長時間幾乎無降雨的狀況下，始緩緩衰退至初始值。雖然暴雨後含水率得以下降，但前些時日之降雨量蓄積在土壤中一時難以排除，導致後續降雨的含水率上升。以台中測站為例，各降雨事件對應不同時距之深層含水率集合如表 6。在 8/4 降雨事件中土壤水分受到先前降雨影響，經過 48 小時後才衰退至 27.08%；而在 8/30 降雨事件中，土壤水分在 18 小時後衰退至 26.99%。

台灣降雨特性按月份而有明顯的差異，二月至四月是春雨、五至六月是梅雨、七至九月是雷雨及颱風雨、十月至隔年一月是地形雨。台灣雖然四季有雨，但降雨多半集中於五月至九月，主要由梅雨及颱風所造成。圖 6 為 2014 年各測站表層 10cm 每月份土壤含水率觀測資料。在時間分佈上，表層土壤含水率變化主要是受到季節降雨特性所影響，由圖中可發現 2014 年 1~3 月各測站土壤含水率相對較低，但隨著梅雨與颱風季節所帶來的降雨，使得在 5~9 月各測站土壤含水率上升，而 10~12 月隨著降雨的減少，各測站土壤含水率也隨之下降。在台中、台南、宜蘭、花蓮保持較低的土壤含水率，以及較小的季節性變異；而日月潭與嘉義的季節性變化較為明顯，冬季的土壤含水率普遍較低。

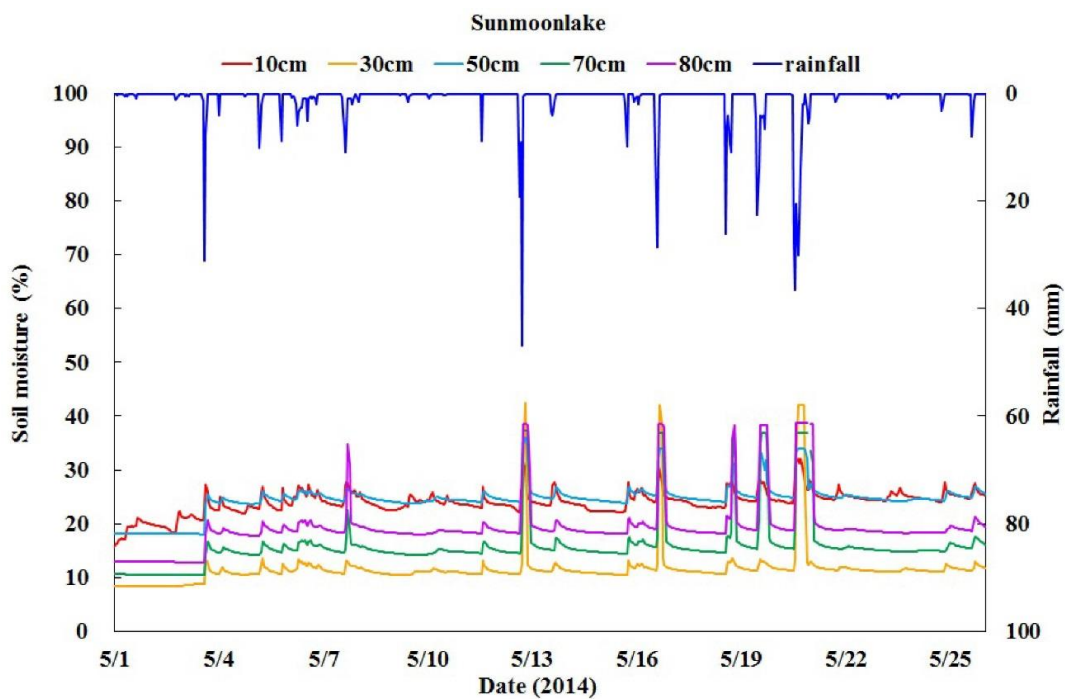


圖 3 日月潭測站各深度土壤含水率隨降雨量變化。

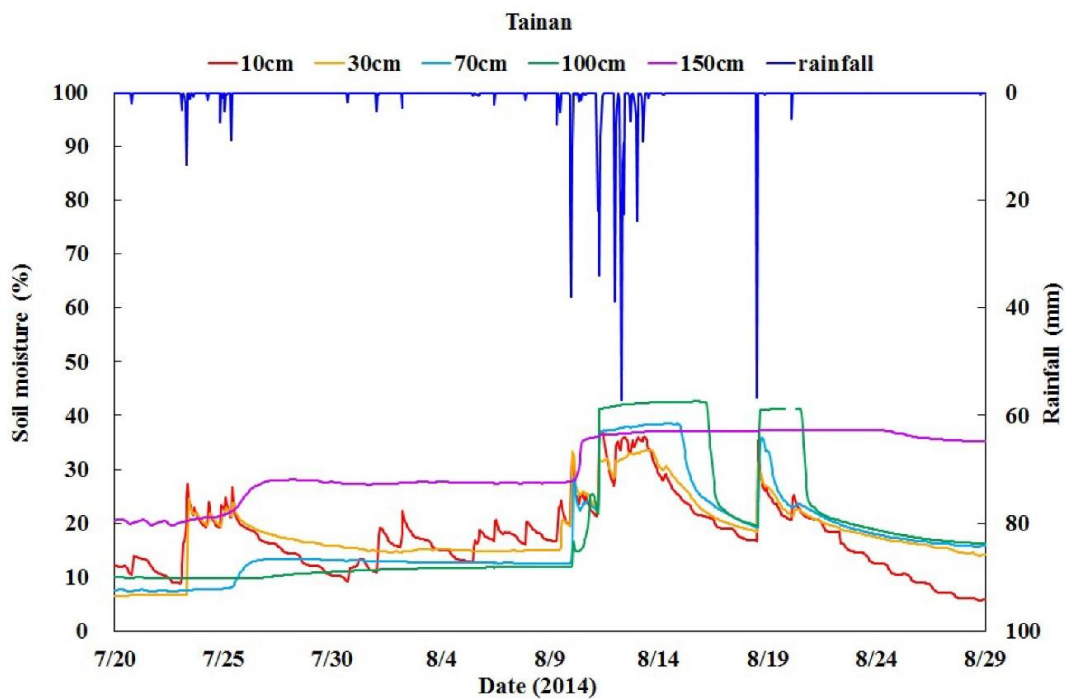


圖 4 台南測站各深度土壤含水率隨降雨量變化。

表 4 各觀測站降雨後不同時距之含水率統計。

觀測站	量測深度 (公分)	土壤含水率(%) 變化範圍	不同時距之土壤含水率(%)變化					
			6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	36 小時	48 小時
台中	10	9~37	30~32	30~31	29~30	29~30	28~29	27~28
	30	14~36	32~34	32~34	32~34	32~33	32~33	32~33
	70	4~41	40	**27~40	**26~40	**26~40	**25~36	25~30
	100	11~41	40	**27~40	27~32	27~28	26~27	26~27
	150	10~43	42~43	42~43	**26~42	**25~42	**24~41	23~27
日月潭	10	4~33	24~26	24~25	23~25	23~25	23~24	22~23
	30	5~42	11~12	11~12	11~12	11~12	10~12	10~12
	50	13~35	25~26	24~25	24~25	24~25	24	24
	70	7~37	15~17	15~16	14~15	14~15	14~15	14
	80	9~39	19~20	18~19	18~19	17~18	17~18	17~18
嘉義	10	3~43	38~41	38~41	38~40	37~40	36~39	36~39
	30	28~42	40~42	40~42	39~42	39~41	39~41	39~41
	70	33~44	43	43~44	43~44	43~44	43~44	43~44
	100	38~46	44~46	44~46	44~46	44~45	44~45	44~45
	150	43~44	43~44	43~44	43~44	43~44	43~44	43~44
台南	10	2~37	*23~33	*21~30	*20~28	*19~29	*19~25	*17~23
	30	5~33	**25~33	*24~32	*22~30	*21~30	*20~27	*19~25
	70	5~38	35~38	33~38	*27~38	**25~38	*23~30	*23~30
	100	4~42	41~42	41~42	41~42	41~42	**29~42	**29~42
	150	14~37	33~37	34~37	34~37	35~37	35~37	35~37
高雄	10	5~34	21~26	20~25	20~24	19~24	20~23	19~23
	30	6~40	26~29	*18~25	17~22	17~21	17~20	16~19
台東	70	6~22	10~14	10~14	9~13	9~13	9~13	9~12
	100	3~15	11~14	11~13	11~13	11~12	11~12	10~12
	150	13~29	22~27	24~27	25~27	25~27	25~27	25~26
北東眼山	10	16~43	32~33	31~32	30~32	30~31	30~31	30
	20	12~37	22~23	21~22	21	20~21	20~21	20
	30	4~52	11~13	11~12	10~11	9~10	9~10	9
	50	6~50	10~13	10~12	10~11	10	9~10	9~10

*註 1：恆春因各降雨事件皆有降雨打斷其含水率衰退歷程而無法採用。

*註 2：*表示範圍超過 5%者，**表示範圍超過 10%者

表 5 台中測站之表層土壤含水率統計資料。

最末峰到達時間	量測深度(公分)	最末峰土壤含水率(%)	12 小時後土壤含水率(%)
2014/7/23 16:00	10	35.10	31.53
2014/8/18 22:00	10	33.41	31.30
2014/8/30 18:00	10	36.34	31.55

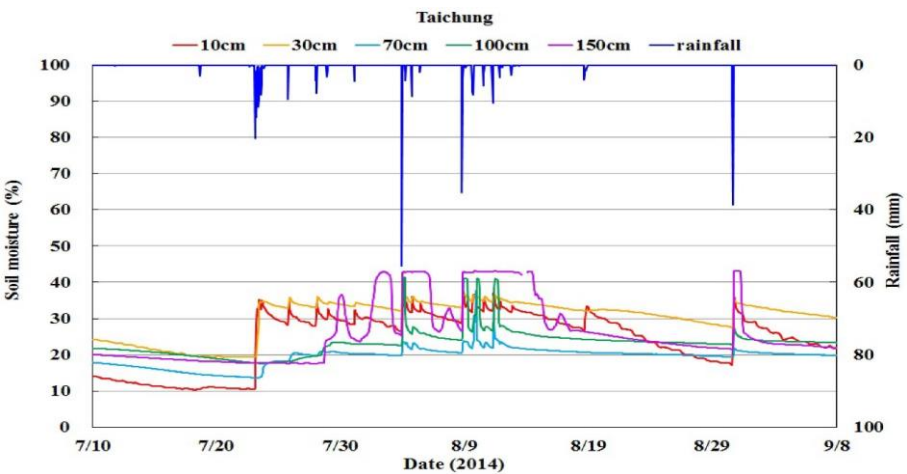


圖 5 台中測站 7/23 豪雨期間土壤含水率衰退曲線。

表 6 台中測站之台中測站之深層土壤含水率統計資料。

最末峰 到達時間	量測深度 (公分)	最末峰 土壤含水率(%)	不同時距之土壤含水率(%)變化					
			6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	36 小時	48 小時
2014/8/4 09:00	150	42.83	42.80	42.88	42.87	42.84	41.92	27.08
2014/8/30 18:00	150	43.12	43.15	42.98	26.99	25.58	24.48	23.78

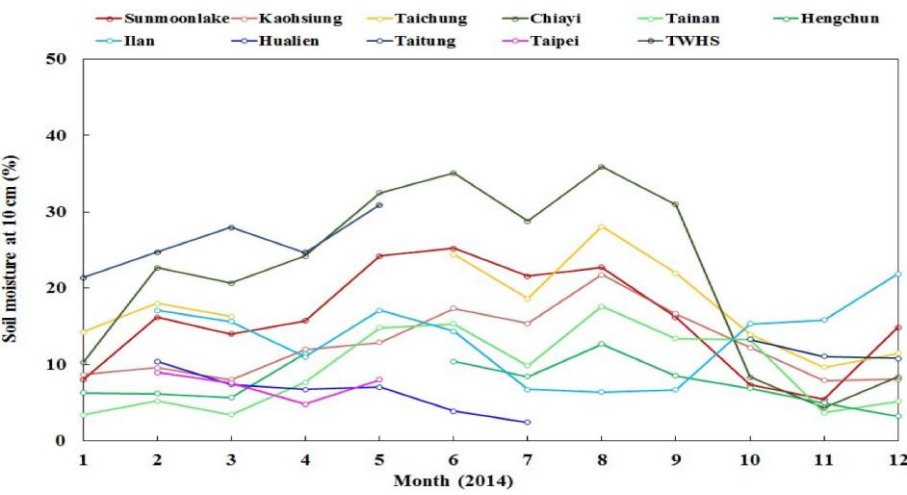


圖 6 2014 年各測站表層 10cm 月平均土壤含水率趨勢圖。

圖 7 及圖 8 分別為 GLDAS 與 HRLDAS 反演 2014 年 4~5 月份不同深度之土壤含水率分佈情形，圖中僅呈現各測站 UTM 座標之數據，部分測站 UTM 座標未有數據，呈現缺值（GLDAS 為宜蘭、花蓮、恆春；HRLDAS 為花蓮、台東、高雄）。HRLDAS 模式在 5、25、70、150cm 之土層，在日月潭與恆春較低，其餘測站各土層的土壤水分變化不大，約在 30% 左右。而 GLDAS 在表層 0~10cm，土壤水分在各測站分佈有所差異，新竹、日月潭最低，約 15% 左右；北東眼山、阿里山、台南、台東土壤水分較高；而深層土層 100~200 cm 各測站土壤水分皆在 20~30% 之間，但在台北、台東、台南、阿里山在各土層土壤水分變化不大。GLDAS 與 HRLDAS 相比，HRLDAS 在各測站每一層土層中土壤水分都比 GLDAS 來的高，HRLDAS 各測站土壤水分多在 25~35% 之間，GLDAS 則因不同地區土壤水分有所不同。

與觀測之土壤含水率（圖 9）相比，由表層的土壤含水率來看，由於淺層土壤與降雨直接接觸，降雨直接反應在淺層土壤中，一般而言山區降雨量高於平地，故山區淺層土壤含水率會大於平地，而淺層土壤以下之土層，由於觀測站位於氣象站之草坪，假設地勢平坦，水分受重力作用往下入滲的過程中，若不考慮地形、坡度之影響，即主要受到不同土壤組成影響，土壤質地的差異決定了水分往下入滲的多寡，而地下水位所產生之虹吸現象也會使得水分回補，但本研究中未取得各測站地下水位深度，此推測仍需經過驗證。而 HRLDAS 與 GLDAS 均為一維模式，土壤水分只考慮了垂直的輸送作用，降雨時水分累積於土壤中，經由每一層土層之物理過程計算後，水分才逐步影響到深層土層中，若模式未能準確計算相關參數（蒸發、蒸散等），就使得結果有所落差。

圖 10 為嘉義、台南測站觀測值與模擬值在淺層及深層土層土壤水分的時間序列圖。模擬值與觀測值相比，在淺層土層嘉義測站 HRLDAS 高估，GLDAS 則是低估情況，台南測站兩種模式都呈現高估情況，時間趨勢上則是 HRLDAS 與觀測值較為接近，但在非降雨期間水分受到蒸發散影響而減少時，HRLDAS 水分損失的速率比觀測值還慢，顯示在嘉義及台南測站模式中蒸發散機制較弱，使水分損失較慢；在深層土層中，嘉義測站模式均呈現低估情況；台南測站則是高估情況，其與觀測值趨勢類似土壤水分變化不大。

四、結 論

採用漸增之時距觀察發現表層土壤含水率，對不同降雨型態表現其高度的穩定性，其衰退曲線皆漸趨平緩，含水率的變化速率逐漸減慢；而深層土壤含水率，會受到先前降雨量之累積影響，此累積效應越強烈，含水率越難以束縮其範圍，各地區差異甚大。對於不同降雨條件，深層土壤水分對當次降雨條件及降雨前土壤水文條件有顯著之相依性，可能因先前之降雨累積量導致後續之趨近值不斷攀升。相反地，表層土壤者，即便面臨極端降雨情形也能即時排除土壤水分，其趨近值維持在固定之小範圍。

在時間分佈上淺層土壤含水率主要是受到季節降雨特性所影響，台灣降雨主要集中在 5~9 月，導致在降雨較多之月份，土壤水分受降雨影響而偏高；而在降雨較少之月份，土壤水分則有明顯偏低之趨勢。而空間分佈上土壤含水率與不同地貌及降雨有關。台灣降雨受空間分佈影響，導致降雨量分布不均，再加上土壤質地不同，影響土壤含水率之分佈情形。整體而言，在淺層土層，由於降雨直接反應在淺層土壤中，使得高降

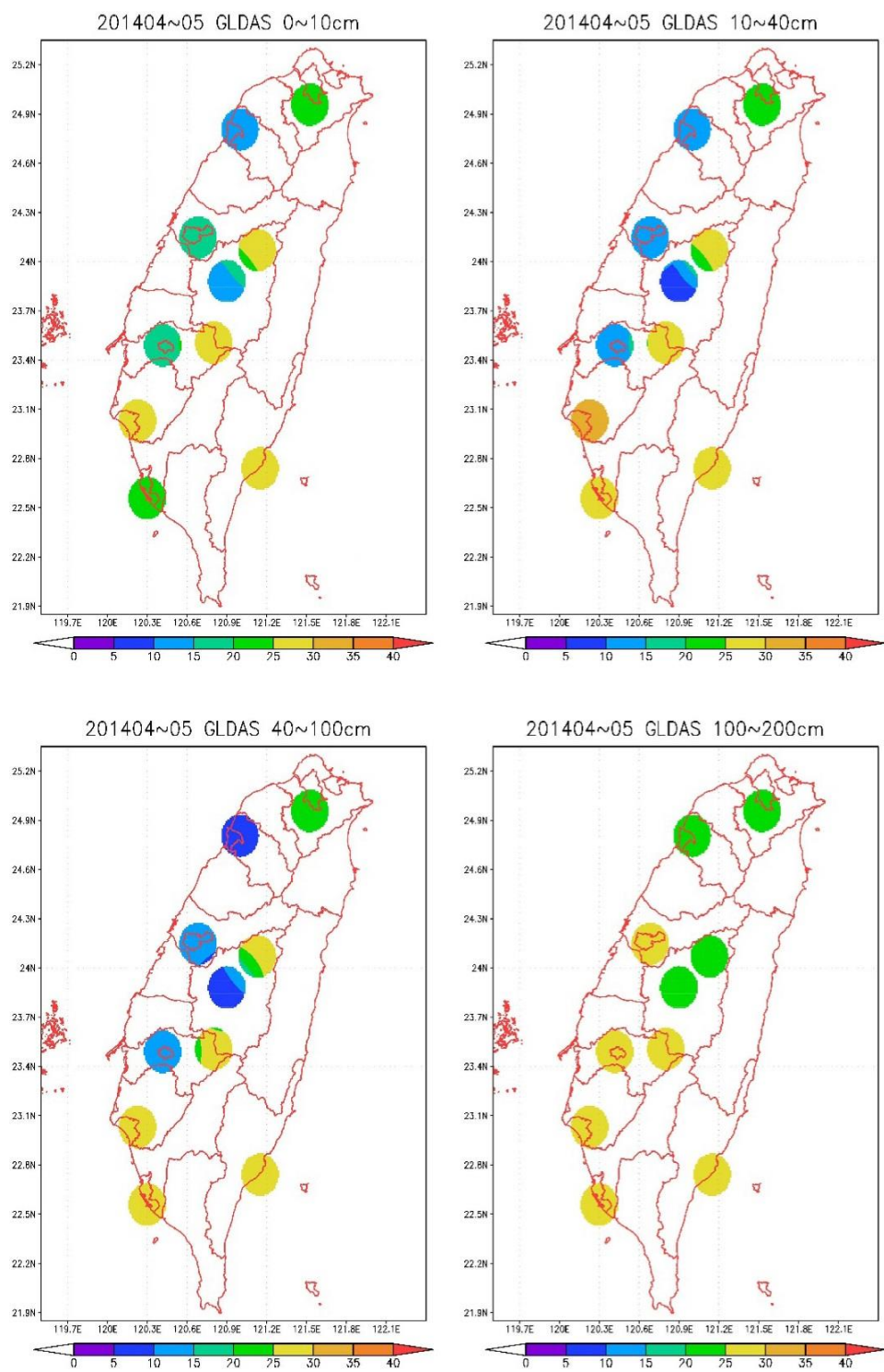


圖 7 GLDAS 2014 年 4、5 月份不同深度之平均土壤含水率分佈情形。

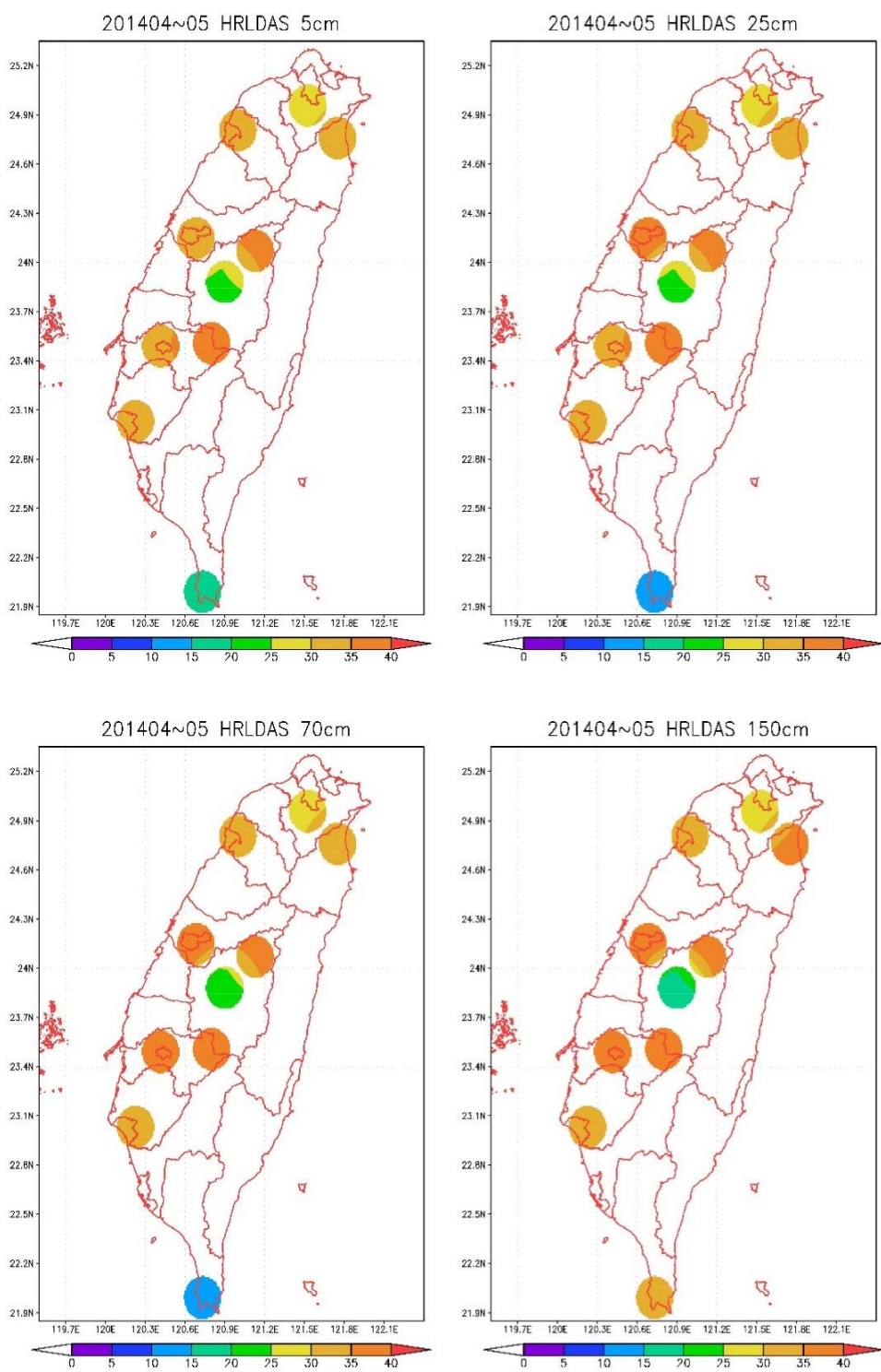


圖 8 HRLDAS 2014 年 4、5 月份不同深度之平均土壤含水率分佈情形。

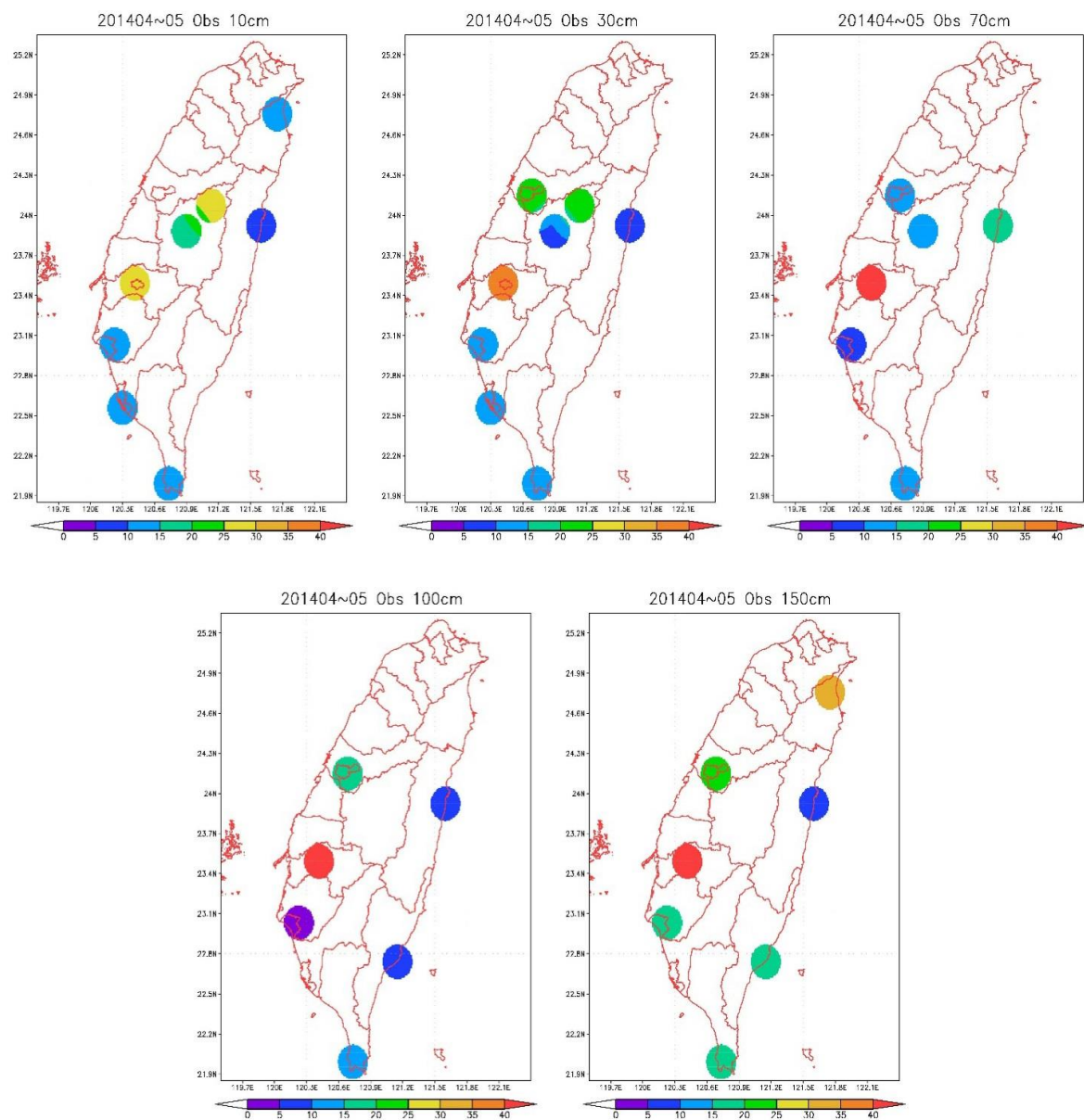


圖 9 2014 年 4、5 月份各測站不同深度之平均土壤含水率分佈情形。

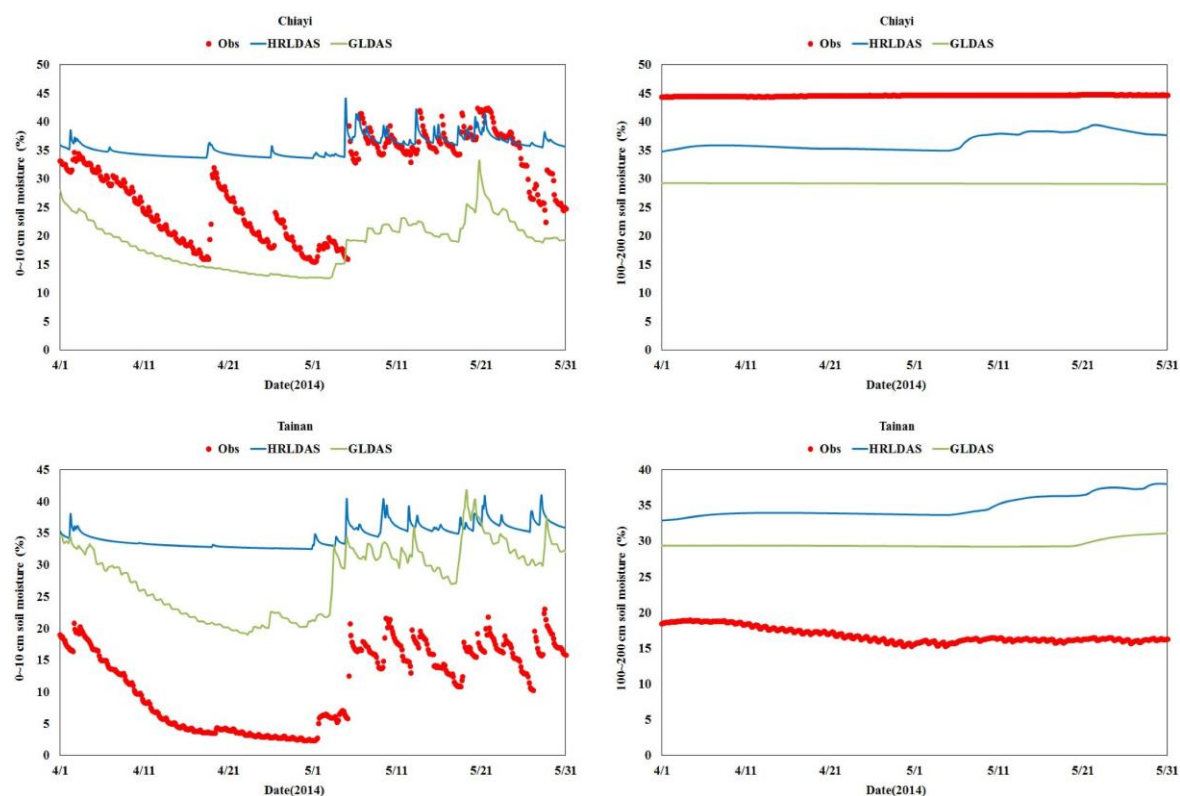


圖 10 2014 年 4、5 月嘉義及台南測站淺層與深層土壤觀測值與 HRLDAS、GLDAS 變化趨勢圖。

兩地區土壤水分較高；低降雨地區土壤水分較低，呈現山區大於平地的情況。而深層土層，由於觀測站位於氣象站之草坪，假設地勢平坦，若不考慮地形、坡度之影響，水分受重力作用往下入滲的過程中，主要受到不同土壤組成影響，土壤質地的差異決定了水分往下入滲的多寡，而地下水位所產生之虹吸現象也會使得水分回補，但本研究中未取得各測站地下水位深度，此推測仍需經過驗證。各地區不同的地質狀況使得深層土壤水分空間分佈與淺層有所差異。

HRLDAS 與 GLDAS 均為一維模式，土壤水分只考慮了垂直的輸送作用，降雨時水分累積於土壤中，經由每一層土層之物理過程計算後，水

分才逐步影響到深層土層中，若模式未能準確計算相關參數(蒸發、蒸散等)，就使得結果有所落差。

致 謝

本研究在「教育部邁向頂尖大學計畫-子計畫:海岸濕地碳收支模式、價值評估與法制管理」和「國家實驗研究院高速網路與計算中心提供之計算資源」及國科會計畫編號 NSC99-2111-M005-002-MY3 與中央氣象局提供觀測場地及各氣象站協助下完成。

參考文獻

- 吳怡瑩, 劉哲欣, 張志新(2013), 降雨量與表層土壤含水率關係之研究, 社團法人中華水土保持學會 102 年度年會。
- 邱奕霖(2005), “地表過程蒸發散之觀測與分析”, 國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
- 洪于珪, 洪景山 & 蔡佳伶(2014)。高解析土壤資料同化系統之效能評估。大氣科學, 42(1), 29-47。
- 陳明杰(2003), 試驗集水區飽和與不飽和土壤水分移動之研究, 國科會專題研究計畫, NSC91-2621-B-002-009。
- 童慶斌、陳主惠、洪念民、翁詩傑, 2001, 「台灣地區合理之蒸發散折算係數與區域蒸發散量估算方法之建立(2/2)」, 經濟部水資源局。
- Al-Yaari, A., Wigneron, J. P., Ducharne, A., Kerr, Y. H., Wagner, W., De Lannoy, G., ... & Mialon, A. (2014). Global-scale comparison of passive (SMOS) and active (ASCAT) satellite based microwave soil moisture retrievals with soil moisture simulations (MERRA-Land). *Remote Sensing of Environment*, 152, 614-626.
- Cho, E., & Choi, M. (2014). Regional scale spatio-temporal variability of soil moisture and its relationship with meteorological factors over the Korean peninsula. *Journal of Hydrology*.
- Fang, H., Beaudoin, H. K., Rodell, M., Teng, W. L., & Ollmer, B. E. (2009). Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Products, Services and Application from NASA Hydrology Data and Information Services Center (HDISC). In ASPRS 2009 Annual Conference.
- Guber, A. K., Gish, T. J., Pachepsky, Y. A., van Genuchten, M. T., Daughtry, C. S. T., Nicholson, T. J., & Cady, R. E. (2008). Temporal stability in soil water content patterns across agricultural fields. *Catena*, 73 (1), 125-133.
- Koster, R. D., Dirmeyer, P. A., Guo, Z., Bonan, G., Chan, Cox, P., ... & Yamada, T. (2004). Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. *Science*, 305 (5687), 1138-1140.
- Legates, D. R., Mahmood, R., Levina, D. F., DeLiberty, T. ., Quiring, S. M., Houser, C., & Nelson, F. E. (2011). Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 35 (1), 65-86.
- Mittelbach, H., & Seneviratne, S. I. (2012). A new perspective on the spatio-temporal variability of soil moisture: temporal dynamics versus time-invariant contributions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16 (7), 2169-2179.
- Robock, A., Vinnikov, K. Y., Srinivasan, G., Entin, J. K., Hollinger, S. E., Speranskaya, N. A., ... & Namkhai, A. (2000). The global soil moisture data bank. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(6), 1281-1299.
- Secretariat, G. C. O. S. (2009). Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC (2010 Update).
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J.

- (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3), 125-161.
- Stacheder, M., Koeniger, F., & Schuhmann, R. (2009). New dielectric sensors and sensing techniques for soil and snow moisture measurements. *Sensors*, 9(4), 2951-2967.
- Teuling, A. J., Hupet, F., Uijlenhoet, R., & Troch, P. A. (2007). Climate variability effects on spatial soil moisture dynamics. *Geophysical research letters*, 34(6).
- Vieira, S. R., Grego, C. R., & Topp, G. C. (2008). Analyzing spatial and temporal variability of soil water content. *Bragantia*, 67 (2), 463-469.
- Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management* (No. d. 2). CAB international.

Establish Soil Moisture Observing Network in Taiwan and Data Analysis

**Chao-Hui Chiang¹ Ckuang-Yu Chien¹ Ben-Jei Tsuang¹ Mei-Ling Tang¹
Yu-Chi Li² Jing-Shan Hong² Pei-Hsuan Kuo¹ Jeng-Lin Tsai³**

¹Department of Environmental Engineering National Chung Hsing University

²Central Weather Bureau

³Environmental Simulation CO.LTD

(manuscript received 24 December 2014 ; in final form 2 June 2015)

ABSTRACT

Soil moisture and soil temperature are the important parameters in the energy interaction of the land surface and the atmosphere. In Taiwan, the temporal and spatial distributions of soil moisture are still lacking. Thus, under the NSC's funding, we have cooperated with Taiwan Central Weather Bureau (TWCWB) and conducted several soil moisture observed experiments in 7 TWCWB's observation stations (Taichung, Kaohsiung, Hengchun, Sun Moon Lake, Chiayi, Alishan, and Tainan stations) and in 1 forest station (Huisun Forest Station). In this year, more experiments are conducted in Taipei, Hsinchu, Ilan, Hualien and Taitung Stations.

The results showed a positive correlation between the rainfall and the soil moisture. Soil moisture increased after rain, and gradually decreased until the next rainfall. The study focused on surface soil moisture over time drop down analysis at the end of a rainfall event. Soil moisture background values were focused by qualitative and quantitative analysis. Furthermore, the soil moisture was about 10% low from January to May, increased to 20% -30% in rain and typhoon season (June to September), and then gradually decreased to 10% in November and December. In addition, two surface models, 'GLDAS' and 'HRLDAS', were also used to retrieve the soil moisture in Apr and May 2014. The soil moisture of GLDAS was high in a south area and low in the middle and north area. HRLDAS showed that soil moisture was higher than 30% at each depth.

Key Words: Soil moisture, Surface Land model, GLDAS, HRLDAS, Rain