

探討提高空間解析度之數值降雨預估產品對河川水位預報的影響-以台東縣太平溪為例

吳明璋¹ 林忠義¹ 王文清² 曾俊傑³ 賴進松¹ 楊尊華¹ 張雅琪¹ 周士傑¹ 胡志銘¹

國家實驗研究院 台灣颱風與洪水研究中心¹

國立台東大學 資訊管理學系²

國立台東大學 防災科技資訊中心³

摘要

為提升台灣東部縣市於颱風時期淹水防災預警能力，國家實驗研究院台灣颱風與洪水研究中心應用已發展的前瞻防減災關鍵技術，包括短期降雨數值預報技術及河川水位預報技術，依據台東縣在地化的防災需求，建置重點縣管河川河道水位預警專家系統。為了能更進一步掌握台東縣在地的未來降雨資訊，亦嘗試將降雨預報技術使用之數值天氣模式WRF (Weather Research and Forecasting)的空間解析度，由現行之5公里提高至3公里。使用不同空間解析度(5公里與3公里)數值天氣模式所獲取之未來降雨預估資訊，後續在水文應用端，以美國工兵團水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, HEC)的集水區逕流推估模式HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)，搭配河道水位演算模式HEC-RAS (River Analysis System)，進行台東縣太平溪的河川水位預報。在本研究中，將透過真實颱風事件，探討提高數值預報模式空間解析度所獲取的降雨預估產品，對於水文應用端在河川水位預報上的影響。

關鍵字：提高空間解析度，降雨預報，水文模擬

一、前言

受到全球暖化與氣候變遷的影響下，近年來極端降雨發生的頻率與強度逐年增加，災害發生的機率也隨之增加。台灣位於西北太平洋颱風路徑的要衝，常受到颱風侵襲，颱風挾帶的大量降雨及強勁風勢，造成嚴重的淹水、土石流及坡地崩塌等災情，形成嚴重災情，進而影響台灣地區的社會經濟以及民眾的生命安全與財產損失。如何降低颱風與豪雨所引起的風、水、土等災害對於社會經濟與人民安全的衝擊程度，長期以來都是政府當局與社會大眾所高度關注的議題。然而，因應極端氣候對於環境的高度衝擊，需要著手針對不同災害類型發展其對應的防減災預警系統，以便在災前時能獲得充裕時間採取對應的災害應變措施，降低災害所帶來衝擊程度，災中也能對已經發生的災害即時提供應變措施減少人民生命財產的損失。

國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心(以下簡稱颱風中心)多年來致力於研發前瞻的颱風防減災關鍵技術，提供多項的研發技術以支援相關單位(包括氣象局、水利署、水保局、公路總局、屏東縣政府、國家災害防救科技中心等)並應用於颱風災害防救工作。本研究以台東縣太平溪為例，為了能更進一步

掌握台東縣在地的未來降雨資訊，亦嘗試將降雨預報技術使用之數值天氣模式WRF (Weather Research and Forecasting)的空間解析度，由現行之5公里提高至3公里，以期增進大氣數值模式對於台灣東部複雜地形下小尺度對流降雨系統的掌握度。使用不同空間解析度(5公里與3公里)數值天氣模式所獲取之未來降雨預估資訊，後續於水文應用端，以美國工兵團水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, HEC)的集水區逕流推估模式HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)，搭配河道水位演算模式HEC-RAS (River Analysis System)，進行台東縣太平溪的河川水位預報。亦即，在本研究中，將透過真實颱風事件，探討提高數值預報模式空間解析度所獲取的降雨預估產品，對於水文應用端在河川水位預報上的影響。

二、資料蒐集

(一) 研究區域

太平溪發源於中央山脈之馬里山(1,547公尺)，其流域介於卑南溪與利嘉溪兩流域之間。太平溪主流沿山谷東流，於初鹿附近轉向南流，經賓朗村於太平橋上游與另一發源於大巴六九山(1,062公尺)之支流大巴六九溪匯合後，略折東南向，進入臺東大平

原區，經南王、卑南、馬蘭，於臺東市豐榮附近注入太平洋，主流長約20.5公里，流域面積約為88平方公里，流域涵蓋臺東縣中部地區最精華之卑南鄉以及臺東市區。

本研究使用太平溪上游集水區域內的2座雨量站，分別為中央氣象局設置的利嘉站(C1S860)以及水土保持局設置的初鹿國中站(81S890)；2座水位站，分別為台東縣政府建置的太平橋站以及日光橋站。太平溪流域高程與各測站之位置如圖1所示。

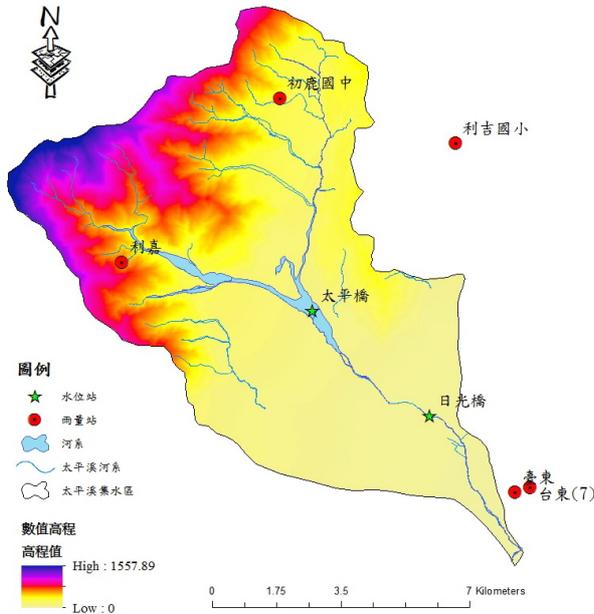


圖 1、臺東太平溪流域雨量站及水位站分布位置圖

(二) 降雨預估資料

本研究中，係使用颶洪中心現有之數值降雨預估技術(Hsiao et al., 2013; Wu et al., 2016; Yang et al., 2016)，對於2016年尼伯特、莫蘭蒂及梅姬颱風事件的降雨預估資料。此數值降雨預報技術係使用國際上通用之數值天氣模式WRF，並配合不同物理參數化方法(包括模式以cold start啟動、搭配3DVAR資料同化技術的方式讀入NCEP的GFS初始資料、並使用KF積雲參數化法、Goddard雲微物理參數化法、以及YSU邊界層同化技術等等)，以6小時的更新頻率進行為未來天氣模擬與預報。

而且，為了探討提高空間解析度之數值降雨預估產品對河川水位預報的影響，本研究嘗試將數值天氣模式WRF的空間解析度，由現行之5公里(名為MEM06)提高至3公里(名為MEM28)，其餘的模式設定則均維持一致。

三、研究方法

本研究探討利用不同空間解析度(5公里與3公里)數值天氣模式所獲取之未來降雨預估資訊，後續在

水文應用端，以美國工兵團水文工程中心的集水區逕流推估模式HEC-HMS，搭配河道水位演算模式HEC-RAS，進行台東縣太平溪的河川水位預報的影響。整體研究流程如圖2所示。研究中使用之WRF、HEC-HMS、HEC-RAS模式，分別簡介如下：

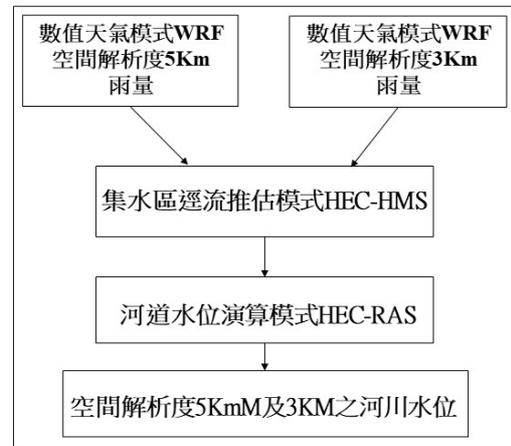


圖 2、研究方法流程圖

(一) 數值天氣模式WRF

WRF為常見之新一代中尺度數值天氣預報模式，係為美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)與美國環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)等科研機構所共同合作發展，是近年國際上許多國家氣象作業單位進行主要天氣預報工作時常採用之天氣數值模式。

(二) 集水區逕流推估模式HEC-HMS

HEC-HMS是美國工兵團水文工程中心以HEC-1為基礎，並結合地理資訊系統及圖形使用介面所衍生的新一代模式，除了既有的水文分析、資料儲存以及管理能力外，還具備圖形使用介面與物件導向化系統，不但簡化了建立模型與資料輸入工作，更加強後續分析與管理工作。

HEC-HMS主要可分為降雨-逕流模擬與參數優選兩部分，在降雨-逕流模擬上包括流域模組(basin model)、氣象模組(meteorologic model)、控制設定(control specification)等三元件。流域模組主要構成水文系統中各個水文單元，項目包括子集水區、支流、匯流點、分流點、堰、源流與沉流等。氣象模組主要在指定流域內水文過程演算所需之雨量資訊，及選擇面積雨量之估算方法，雨量資訊給定方式包括雨量組體圖及各雨量站之權重。該模組可容許就歷史事件或以頻率分析為基礎之設計暴雨分別進行演算。控制設定主要在設定模式模擬的起始、結束時間及模擬過程之時間間距等，時間間距自1分鐘至1天不等，可依需求來選擇時間間距。

(三) 河道水位演算模式HEC-RAS

HEC-RAS是美國工兵團水文工程中心所發展之河川分析系統，可執行一維定量流及變量流之演算之完整系統軟體。HEC-RAS模式於計算中除了可以考量河川斷面外，同時亦可考慮橋樑與箱涵、多孔橋梁或箱涵、主流堰堤及閘門控制溢洪道、側流堰及閘門控制溢洪道、蓄水池等個別或組合之水供結構物對水流的影響。於流量資料部分，除輸入基本流量資料，並提供多種邊界條件的輸入方式，包括已知水位高程、臨界水深、正常水深及率定曲線等方式，供使用者依實際水流流況進行應用。當所有計算程序完成後，此模式亦提供圖像化與文字式之資料展示方式，資料圖像化可以讓使用者更為瞭解資料之變化，文字式之資料則可讓使用者自行進行後續其它相關分析工作。

四、結果分析與討論

(一) HEC-HMS模式建立

在HEC-HMS模式中，先採用地理資訊系統(Arc-GIS)中40x40公尺之數值高程資料，配合數值高程模式，同時參考1/25,000地形圖，將太平溪集水區分成數個子集水區，並利用GeoHMS將數質地文因子資料匯出，建立HEC-HMS的基礎地形模式。其中太平溪內水位站(太平橋站)為集水區的匯流點，則作為模式之控制點，並利用附近雨量站先進行徐昇式法，給予各子集水區之雨量站的權重分配，結果如圖3所示。

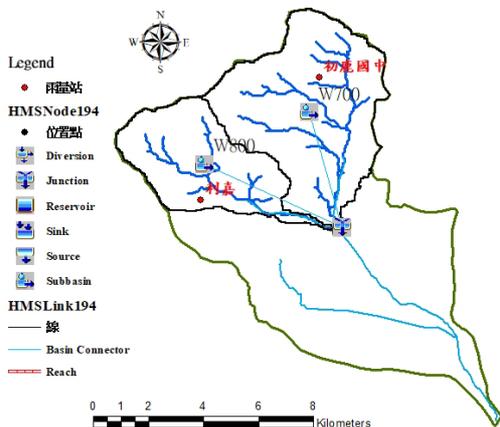


圖 3、HEC-HMS集水區建置分布圖

接著，分別利用2012年天秤颱風、2013年天兔颱風以及2014年鳳凰颱風的實際降雨資料，進行流量的模擬。值得一提的是，由於太平溪無流量站數據與模擬數值進行檢定驗證，故HEC-HMS的部分無法進行驗證，後續則透過將模擬的流量利用HEC-RAS水理模式，進行日光橋站水位檢定驗證。

(二) HEC-RAS模式之驗證

在HEC-HMS模式中(Chu et al., 1979; Yang et al., 2006)，係利用2015年地形測量結果，搭配水利署斷面樁位置建立斷面資料。此外，模式內地文參數參考2009年經濟部水利署「易淹水地區水患治理計畫」臺東縣管河川太平溪水系規劃報告，斷面建置範圍為上游太平橋到下游河口位置，如圖4所示。



圖 4、HEC-RAS斷面佈置圖

圖4為2015年地形測量結果所建立之HEC-RAS斷面資料，此外，於本研究中進行HEC-RAS水位模擬時，其上游邊界資料為入流量資料，係介接HEC-HMS模式模擬資料，下游邊界採用正常水深，並利用日光橋站之觀測水位資料與模式結果進行比對，用以驗證HEC-RAS一維河道之準確性。

3場颱風事件(2012年天秤颱風、2013年天兔颱風以及2014年鳳凰颱風)的驗證結果顯示，模擬之尖峰水位平均最大誤差約為0.70m，而平均洪峰到達時間誤差小於2小時。由上述結果可以知道，本研究對於台東太平溪所建置之河川河道水位預警專家系統(以HEC-HMS介接HEC-RAS)對於日光橋洪水水位模擬之準確性與適用性。

(三) 雨量資料、流量及水位模擬結果

待HEC-HMS與HEC-RAS建置完成後則進行實際案例的測試。在2016年之尼伯特颱風、莫蘭蒂颱風與梅姬颱風事件中，均使用4個不同起始預報時間之3公里(MEM28)與5公里(MEM06)空間解析度所得之未來降雨預估資料(如表1所示)。這些不同空間解析度設定下所產出之雨量預估資料後續在水文應用端，則以集水區逕流推估模式HEC-HMS，推估出流量，並搭配河道水位演算模式HEC-RAS，進行河川水位預報。3場颱風事件之結果分別如圖5(尼伯特)、

圖6(莫蘭蒂)與圖7(梅姬)所示，每張圖中均包含3公里與5公里的預報雨量、以及使用這些不同解析度雨量所產出之太平橋預報流量與日光橋預報水位結果。

表 1、3場颱風事件所使用之降雨預估資料

颱風事件	使用資料時間 (UTC)
尼伯特	2016/07/06 18Z、2016/07/07 00Z、 2016/07/07 06Z、2016/07/07 12Z
莫蘭蒂	2016/09/13 06Z、2016/09/13 12Z、 2016/09/13 18Z、2016/09/14 00Z
梅姬	2016/09/27 12Z、2016/09/27 18Z、 2016/09/28 00Z、2016/09/28 06Z

此處以尼伯特颱風結果為例作一分析探討。圖6中結果顯示，使用較高空間解析度之天氣數值模式(MEM28)，整體而言有較高的機會產出較大的小時雨量預估資料(即圖6(a)中的紅色柱狀圖)，因此可推論，使用較高空間解析度之天氣數值模式可加強大氣數值模式中因地形作用而導致之小尺度對流降雨的效應，進而可產出較強的降雨預估結果。也因此，這樣的降雨在後續的水文應用端，就會有較高的機會產出較大的小時流量與水位預估資料。在尼伯特颱風中，若以2016/07/07 06Z的結果為例，把5公里解析度之模式結果作為基礎，當改使用3公里解析度後，面積總雨量將增加115.4mm(約61%)，尖峰流量將增加253.4cms(約173.3%)，尖峰水位則增加1.12m(約4.08%)。

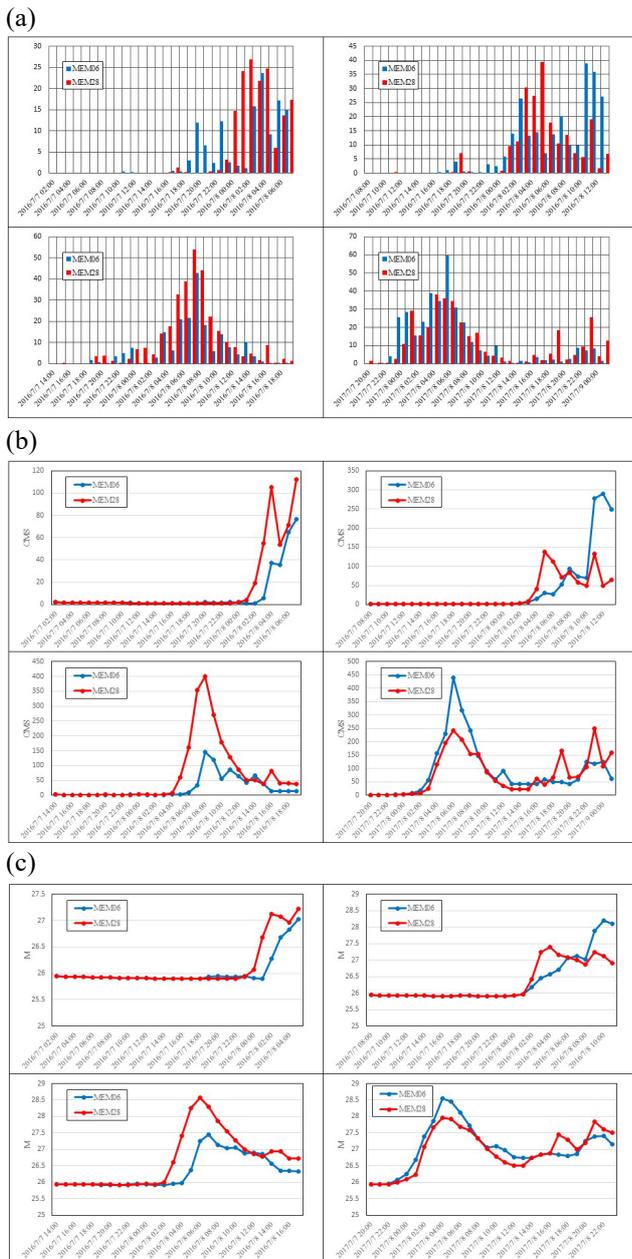


圖5、尼伯特颱風(a)預報雨量、(b)預報流量及(c)預報水位

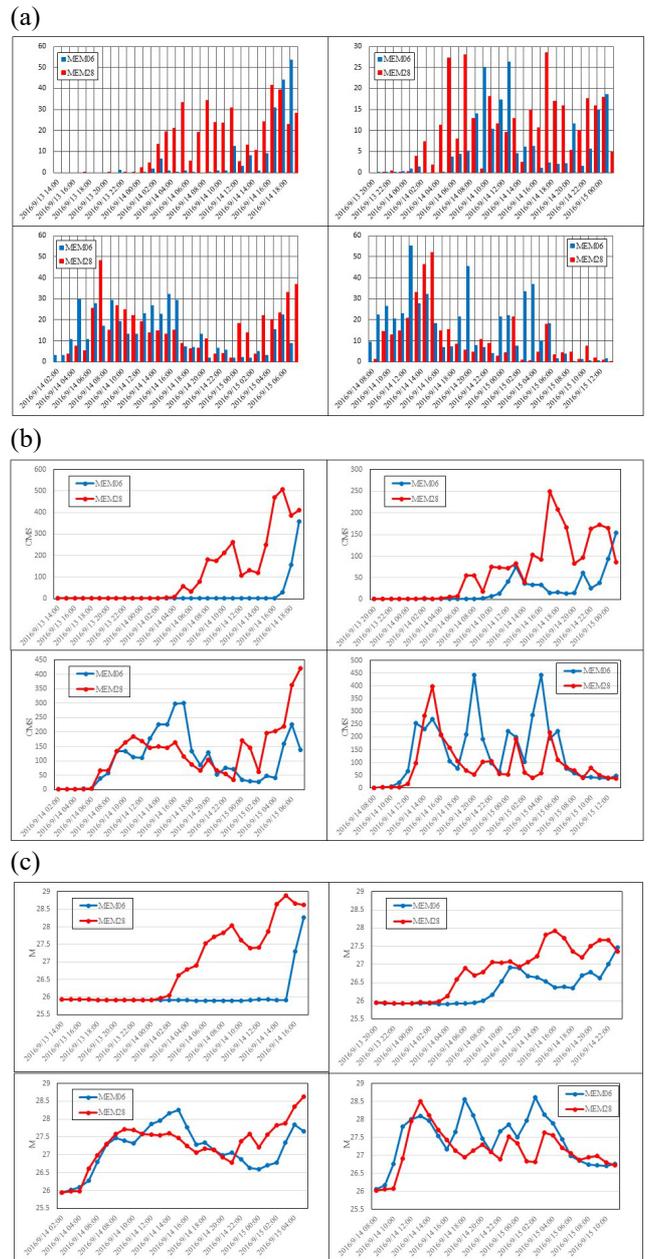


圖6、莫蘭蒂颱風(a)預報雨量、(b)預報流量及(c)預報水位

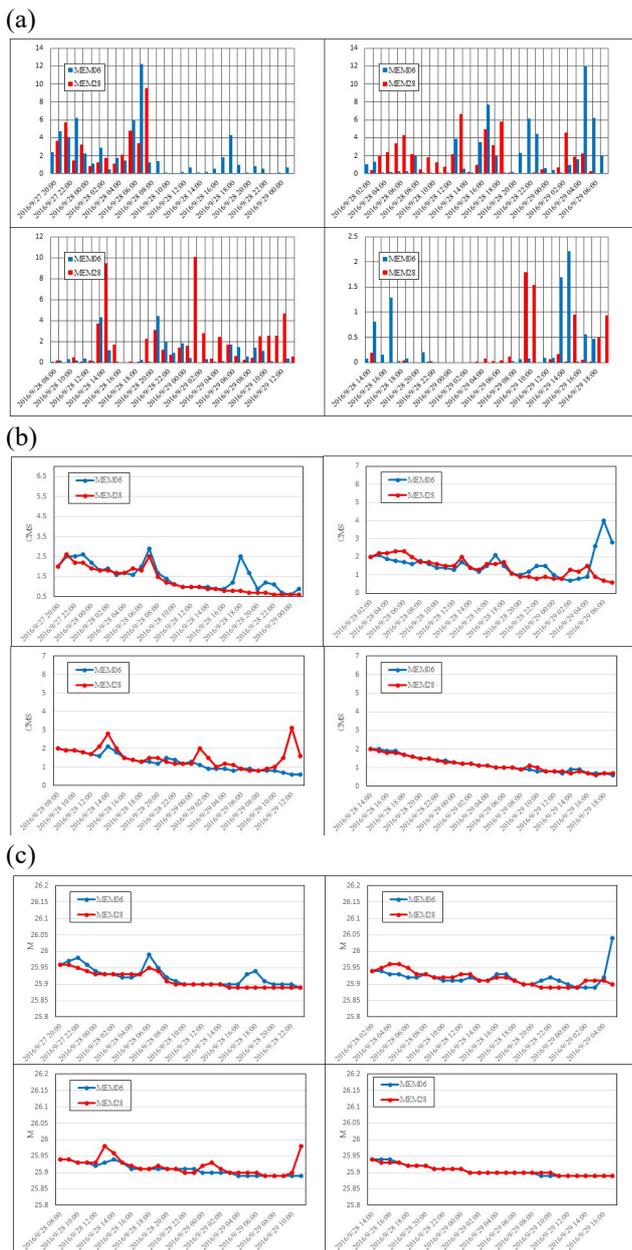


圖 7、梅姬颱風(a)預報雨量、(b)預報流量及(c)預報水位

圖5~圖7的結果顯示，3場颱風中以梅姬颱風的預報雨量量值最小，雖使用3公里(MEM28)與5公里(MEM06)所產出之預報雨量仍有差異，但因降雨量值均小，因此對於後續於太平溪之流量與水位變化與差異皆不顯著。故此處以尼伯特及莫蘭蒂颱風的結果為主要討論事件。

尼伯特颱風事件中，相較於使用5公里的MEM06，使用3公里的MEM28多可產出較高的預估總降雨量，因此，在後續的水文應用端亦將有較高的預估尖峰流量與預估尖峰水位，整體比較結果如表2所示。在莫蘭蒂颱風事件亦有相似的结果，亦即使用較高空間解析度之天氣預報模式可產出較高的預估總降雨量，也導致在後續的水文應用端亦有較

高的預估尖峰流量與預估尖峰水位，整體比較結果如表3所示。

表 2、尼伯特颱風事件結果比較表

	MEM06	MEN28
20170706 18Z		
總雨量(mm)	122.31	154.00
尖峰雨量(mm)	23.60	26.86
尖峰流量(cms)	76.40	112.40
尖峰水位(m)	27.03	27.22
20170707 00Z		
總雨量(mm)	246.60	206.97
尖峰雨量(mm)	38.85	39.21
尖峰流量(cms)	289.10	137.60
尖峰水位(m)	28.20	27.40
20160707 06Z		
總雨量(mm)	189.78	305.20
尖峰雨量(mm)	42.70	53.91
尖峰流量(cms)	146.60	400.06
尖峰水位(m)	27.45	28.57
20170707 12Z		
總雨量(mm)	353.22	344.86
尖峰雨量(mm)	59.52	38.03
尖峰流量(cms)	438.80	248.50
尖峰水位(m)	28.55	27.96

表 3、莫蘭蒂颱風事件結果比較表

	MEM06	MEN28
20170913 06Z		
總雨量(mm)	174.61	416.42
尖峰雨量(mm)	53.56	41.41
尖峰流量(cms)	360.30	506.70
尖峰水位(m)	28.26	28.89
20170913 12Z		
總雨量(mm)	185.24	315.45
尖峰雨量(mm)	26.28	28.56
尖峰流量(cms)	154.30	249.00
尖峰水位(m)	27.46	27.92
20170913 18Z		
總雨量(mm)	412.40	467.85
尖峰雨量(mm)	32.26	48.12
尖峰流量(cms)	301.70	420.60
尖峰水位(m)	28.26	28.62
20170914 00Z		
總雨量(mm)	492.69	339.41
尖峰雨量(mm)	55.27	52.11
尖峰流量(cms)	442.90	398.90
尖峰水位(m)	28.61	28.50

綜上結果可知，使用較高空間解析度數值天氣模式多可獲取較高之未來總降雨量預估資訊(增幅約13%~138%)，這些雨量預估資訊後續在水文應用端亦將導致高的預估尖峰流量(增幅約40%~173%)與預估尖峰水位(增幅約1%~4%)。因此，若以防災/預警之應用而言，使用較高空間解析度數值天氣模式可獲取較為保守的預估結果，但後續仍須進一步比對實際發生情況，以評析使用較高空間解析度數值天氣模式的降雨預報表現。

五、結論

為提升台灣東部縣市於颱風時期淹水防災預警能力，颱風中心應用已發展的降雨數值預報技術及河川水位預報技術，建置重點縣管河川河道水位預警專家系統。在本研究中，則探討提高數值預報模式(WRF)之空間解析度所獲取的降雨預估產品，後續於水文應用端介集水區逕流推估模式(HEC-HMS)與河道水位演算模式(HEC-RAS)，進行台東縣太平溪之日光橋河川水位預報上的影響。

透過2016年之3場真實颱風事件的測試結果顯示，使用較高空間解析度數值天氣模式多可獲取較高之未來總降雨量/尖峰雨量預估資訊。而較高的雨量預估資訊後續在水文應用端亦將導致高的預估尖峰流量與預估尖峰水位。但亦可發現，雖較高空間解析度數值天氣模式可獲取較高之未來總降雨量/尖峰雨量，但對於越後端水文量(河川水位)的影響則將會慢慢遞減。以莫蘭蒂颱風於2017/19/13 06Z的結果為例，使用較高空間解析度之天氣數值模式，總雨量預估值有138%的增幅，而對應的太平橋尖峰流量有41%的增幅，至於最後的日光橋水位則增加63公分(約僅有2.23%的增幅)。

因此，依據本研究之測試結果可知，若以防災/預警應用而言，使用較高空間解析度數值天氣模式可獲取較為保守的河川水位預估結果，但後續仍須進一步比對實際發生情況，以評析使用較高空間解析度數值天氣模式的降雨預報表現，並確保可提供較為準確之河川水位預報資訊。

六、參考文獻

1. 經濟部水利署, 2009: “易淹水地區水患治理計畫臺東縣管河川太平溪水系規畫報告”。
2. Chu, H. L and M. G. Mostafa., 1979: “Symposium on Unsteady Flow in Open channels”.
3. Hsiao, L.F., Yang, M.J., Lee, C.S., Kuo, H.C., Shih, D.S., Tsai, C.C., Wang, C.J., Chang, L.Y., Chen, D.Y.C., Feng, L., Hong, J.S., Fong, C.T., Chen, D.S., Yeh, T.C., Huang,

- C.Y., Guo, W.D., Lin, G.F., 2013. Ensemble forecasting of typhoon rainfall and floods over a mountainous watershed in Taiwan. *Journal of Hydrology*, 506, 55-68.
4. Wu, M.C., Lin, G.F., Hwang, L.R., Chen, D.Y.C., Chiang, C.C., Wang, Y.C., 2016: “Optimal integration of the ensemble forecasts from an ensemble quantitative precipitation forecast experiment”, *Procedia Engineering*, 154, 1291-1297.
5. Yang, T.H., Hwang, G.D., Tsai, C.C., Ho, J.Y., 2016: “Using rainfall thresholds and ensemble precipitation forecasts to issue and improve urban inundation alerts”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 4731-4745, doi:10.5194/hess-20-4731-2016.
6. Yang, J., Townsend, R. D. and Daneshfar, B., 2006: “Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(1), 19-28