

# 淡水河洪水預報模式

李天浩

國立台灣大學土木系

## 摘要

本文介紹目前作業中之「淡水河流域整體洪水預報系統模式」，以及水利署水利防災中心「水文氣象與資訊與水文水理系統模式整合之研發」計畫開發中的降雨和水文模式，以及決策支援模式的使用者介面。以及前項模式在納莉颱風期間預報得到之淹水訊息，和洪災應變過程。最後，提出台灣未來洪水預報的定量降雨觀測和預報需求和期許。

## 一、前言

汐止在最近數年中，經歷了民國八十七年十月的瑞伯颱風和芭比絲颱風兩次淹水，民國八十九年十一月一日的象神颱風淹水，和民國九十年的納莉颱風淹水。水利署第十河川局作業中的「淡水河流域整體洪水預報系統模式」（簡稱「作業模式」），在納莉颱風期間成功預測基隆河流域將會溢堤淹水，通知中央災害應變中心提前發出洪水警報，並且強制疏散低窪地區民眾，達到降低生命財產損失的目標。

水利署水利防災中心目前委託台大水所辦理「水文氣象與資訊與水文水理系統模式整合之研發」計畫（簡稱「研發模式」），應用中央氣象局引進之QPESUMS系統的降雨產品，作為水文模式的時空分布式降雨輸入資料；並新開發地貌型逕流模式，以及利用水利署與荷蘭WLDelft Hydraulics合作之Sobek河川模組進行洪水演算。未來檢討比較作業模式和研發模式各水文模式之模擬估計效果後，將擇善逐步推廣至台灣其他流域，建立各河川之洪災早期預警作業系統。

## 模式概述

### 1. 降雨觀測和預報模式

「作業模式」中，面積降雨是採用雨量站的小時雨量觀測，以地質統計法(Geostatistics Technique；又稱克利金法Kriging Technique，以紀念其理論開發者Krige)進行空間內插，求取面積降雨歷線。「研發模式」擬應用QPESUMS中，整合雷達和地面雨量站觀測、

每 10 分鐘或每小時的面積降雨量分布產品，輸入洪水預報模式，計算逕流、河川水位和流量。

在定量降雨預報方面，由於定量降雨預報準確度影響後續之逕流計算、水庫操作及河川演算等，因此在防洪減災與避災作業中佔有相當重要的地位。其中，基隆河流域的集水面積小，定量降雨預報的時空準確性益形重要。

於中央氣象局尚未提供作業化定量降雨預報的狀況下，不論是作業模式或研發模式，目前暫行的 0-6 小時颱風定量降雨預報，均是採用王時鼎(1983)發展的氣候法颱風定量降雨預報模式或其變異模式[張志琳, 1998；蔡孝忠, 2000]。輔以雷達觀測或是歷史颱風降雨歷線，由預報員判斷氣候模式預報結果的準確性，再透過使用者介面輸入降雨主觀預報，再進入洪水預報後續之逕流、水庫和河川模擬流程。

氣候法颱風定量降雨預報變異模式預報單站降雨歷線的方法[張志琳, 1998；蔡孝忠, 2000]，是以東經 117 到 129 度、北緯 19 到 28 度範圍內所有歷史颱風路徑的小時中心位置之經度和緯度為兩個自變數，單站小時雨量歷線經 5 小時移動平均後為應變數（平均值法）；或是以單站小時雨量歷線經 5 小時移動平均後，再除以當時颱風中心最大風速的比值為應變數（比值法），分別擬合一個雙傅利葉函數，保留統計顯著測試的傅立葉級數項。以歷史颱風為測試平均值法和比值法預

報效果的資料庫，選擇一個颱風中心最大風速作為門檻值，當預報颱風的中心最大風速小於門檻時，採用平均值法；預報颱風的中心最大風速大於門檻值時，採用比值法。根據定量降雨預報誤差變異數最小的原則，得到最佳的門檻值為 20m/s。此氣候法颱風定量降雨預報變異模式，簡稱為「單站模式」。

氣候法颱風定量降雨預報變異模式預報區域降雨歷線的方法〔蔡孝忠，2000〕，是採取預報颱風中心位置為圓心，半徑為 0.3 經、緯度的圓為範圍，先讀取歷史颱風路徑小時中心位置落在此圓內的時間紀錄，再搜尋流域內所有雨量站在這些時間紀錄對應的小時降雨量（經 5 小時移動平均處理），根據所有這些降雨量紀錄和雨量站的空間位置，採用地質統計法進行空間內插，求取面積降雨量預報。此氣候法颱風定量降雨預報變異模式，簡稱為「區域模式」。

主觀的颱風定量降雨預報輔助介面示意圖如圖 1，圖的左上角為與左下角颱風中心位置，以及右上角選擇流域降雨分布對應的時間，可以選擇時間範圍觀察颱風中心位置和流域降雨量同步的動畫；右下角的虛線指標則同步在時間軸上移動，並且提示該時間觀測的和預報的流域平均降雨量。此介面展示過去 24 小時的颱風中心路徑，觀測雨量，和氣候法根據氣象局發布的颱風預報路徑和強度，得到的流域面積平均降雨歷線預報。

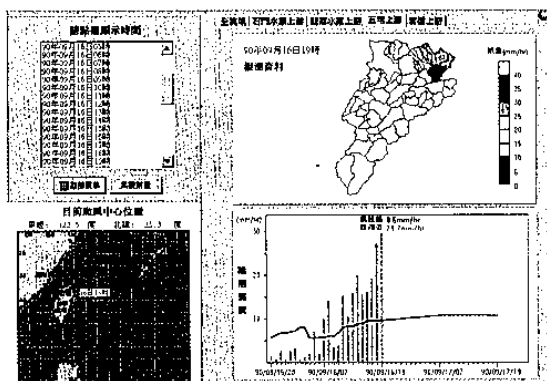


圖 1 主觀降雨決策輔助介面，顯示時間為納莉颱風 2001 年 9 月 16 日 19 時 (CST)

圖 2 為主觀的颱風定量降雨預報實際輸入的圖形使用者介面。圖中，點與連線代表氣候法颱風「區域模式」預報的降雨歷線；不

連續點代表主觀降雨預報歷線。將某特定流域的 0-6 小時定量降雨修正輸入後，選擇「修改完畢」，可以再修改或是「進行逕流預報」。圖 3 和圖 4 分別為按照氣候法預報降雨，和輸入主觀降雨預報後，得到的兩組逕流歷線；此兩圖均為納莉颱風 2001 年 9 月 16 日 19 時(CST)，基隆河五堵水位站的 6 小時逕流量預報。

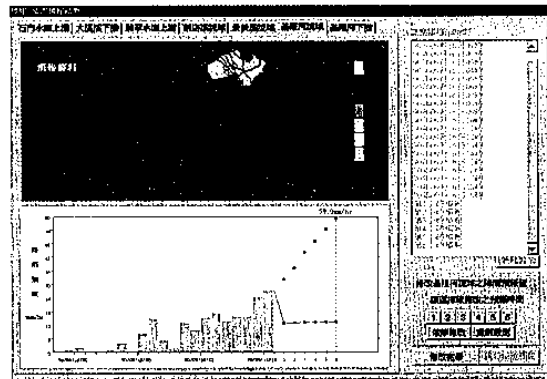


圖 2 主觀降雨決策輔助介面，顯示時間為納莉颱風 2001 年 9 月 16 日 19 時 (CST)

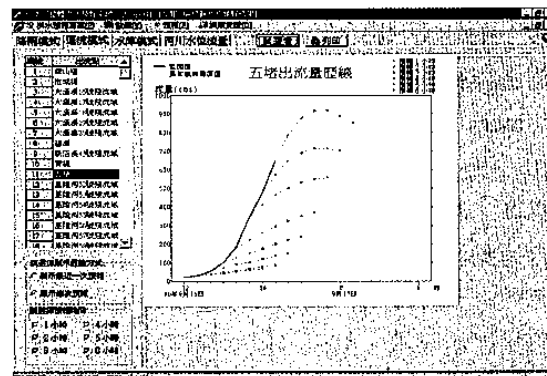


圖 3 納莉颱風 2001 年 9 月 16 日 19 時 (CST) 根據氣候法颱風「區域模式」預報五堵以上基隆河流域降雨計算之逕流歷線

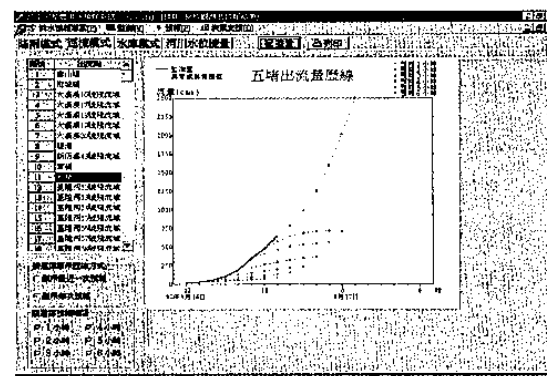


圖 4 納莉颱風 2001 年 9 月 16 日 19 時 (CST) 根據圖 3 主觀預報五堵以上基隆河流域降雨計算之逕流歷線

「研發模式」在颱風定量降雨預報方面，並未提出客觀模式的改進，只是增加協助主觀降雨預報的參考資料。程式自動搜尋路徑類似的歷史颱風，透過使用者介面提供：各歷史颱風的基本資料，各雨量站的降雨歷線或是流域的降雨歷線，以及展示每個預報颱風中心位置對應歷史紀錄 90% 累積機率的小時降雨量。透過上述資料參考比對，應有機會得到更好的颱風定量降雨預報效果。

## 2. 逕流模式

「作業模式」因為於民國 85 到 87 年之間開發，當時地理資訊系統和集水區水文模式之整合工具尚不普遍，因此，基於線性假設，建立「半分布式並聯逕流預報模式」和「串聯模式」兩種逕流模式〔謝龍生，1999〕。

「研發模式」採用DEM數值地形資料，結合ArcView，以及配合美國工兵團水文工程中心、德州大學奧斯汀分校和ESRI合作開發的HEC-GeoHMS工具，首先利用DEM決定流徑後，劃分集水區，以及視需要再調整集水區的邊界範圍，使每個「水文單元集水區」

(hydrologic unit catchment) 的面積不超過 10 平方公里，再透過ArcView擷取「單元集水區」的DEM資料。其次，以有限元素法結合運動波(kinematic wave)模式，計算不同有效降雨強度在「單元集水區」分別造成的直接逕流歷線。第三，以水筒模式模擬入滲轉換為中間流與基流歷線之機制〔洪國展和李天浩，2002〕。最後，採用水利署與荷蘭WL|Delft Hydraulics合作開發的河川模組，演算山區河川洪水歷線，串接多個「單元集水區」的出流歷線，計算上游集水區的逕流歷線。圖 5 為基隆河流域數值地形模型、計算逕流歷線單元集水區和河川網絡之示意圖。

「研發模式」中的地貌型逕流模式，不使用單位歷線的線性假設，可以改進單位歷線等黑盒模式，和合成單位歷線無法描述實際水流運動機制的缺點；以及因為不需要進行基流分離，降低因為分離基流所造成的不確定性。預先計算完成每個單元集水區，在不同有效降雨強度下之直接逕流歷線，在可以減少預報計算時間。

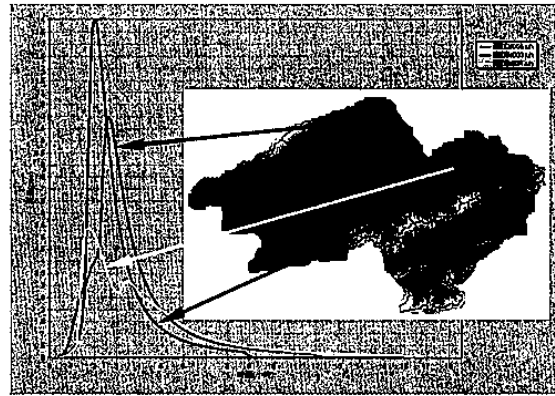


圖 5 基隆河流域單元集水區、河川位置和逕流歷線示意圖

## 3. 河川演算模式

淡水河洪水預報「作業模式」為台大水工所自行研發之洪水演算模式，好處是可以自行修改，適合應用目標之需求。

水利署與荷蘭WL|Delft Hydraulics合作開發的Sobek模組，為一套整合了河川、都市排水系統與流域管理的套裝程式；依應用區域分為River、Urban、Rural三套模式，共包含了降雨逕流、渠道演算(Channel flow)、污水下水道、漫地流演算(Overland flow)、水質模式、輸砂計算、鹽分入侵、地下水及即時控制等九種模組。「研發模式」採用是基於Sobek模組具備以下優點：

- 完全的de Saint Venant方程式，可模擬明渠流、管流、漸變流和迴水效應。
- 可處理超臨界流、亞臨界流、移動式水躍；演算河段可彈性設定。
- 透過GIS導向的使用者介面進行模擬水系的建構、輸入資料；並且模組均採用相同的介面元件。
- 模擬結果可以地圖、圖、表、動畫等方式呈現，模式使用者與決策者皆可以清楚的掌握狀況。

因為Sobek河川模組可以模擬陡坡河川和緩坡河川的洪水演算，並且有效處理陡坡河川與緩坡河川銜接的移動式水躍。所以，在淡水河「研發模式」中，無論是上游集水區陡坡河川，還是下游平原地區緩坡河川，都使用Sobek河川模組；河川模式的上邊界為兩個單元集水區的匯流點，不需要是水位—流量站；同時，絕大部分水流貢獻面積為河川側入流量的輸入。

圖 6 顯示Sobek河川模組GIS展示河川網絡的畫面功能；圖中，河川模組在基隆河最上游起點，是兩個單元集水區的匯流口。圖 7 為基隆河從介壽橋到淡水河口口的河川縱剖面面和動態展示河川水位的畫面；圖中箭頭為側入流河川的輸入位置；水面上的方塊為水位觀測值。圖 8 為Sobek河川模組根據單元集水區的輸出歷線，計算在納莉颱風期間介壽橋、五堵、社后橋、南湖大橋和大直橋的水位歷線，流量自上游往下游逐漸增加，歷線正確反映兩個尖峰降雨時段。

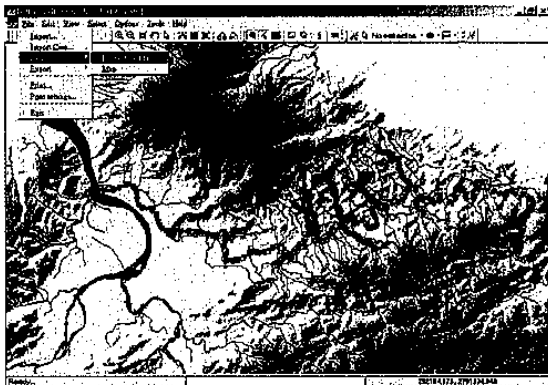


圖 6 Sobek河川模組GIS展示河川網絡的畫面

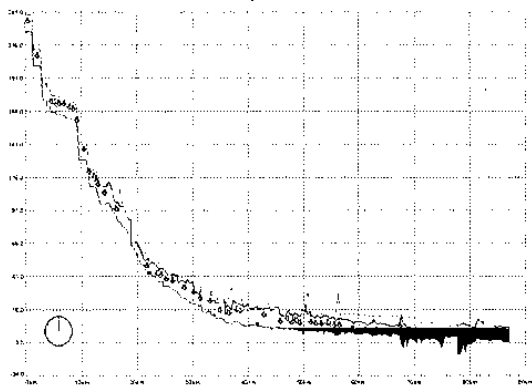


圖 7 Sobek河川模組動態展示縱剖面水位功能畫面

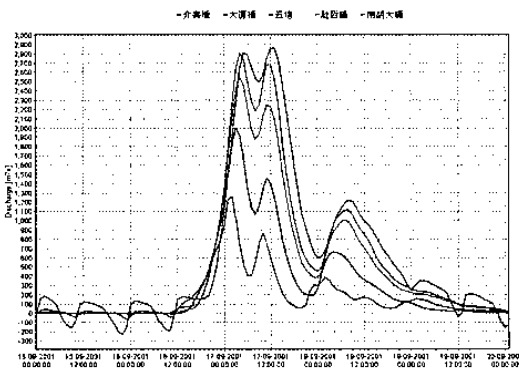


圖 8 Sobek河川模組展示縱剖面水位動畫功能，側入流歷線輸入點（箭頭處）和水位量側數值（方塊）

#### 4. 水庫洩洪決策支援模式

淡水河流域上游分別有蓄水量為台灣第二大的翡翠水庫，和第三大的石門水庫。兩水庫的聯合防洪操作，為流域內利用洪水預報進行減洪、降低洪水災害風險的最有效應變手段。發展「水庫洩洪決策支援系統」和圖形使用者介面的目的，就是利用水文模式，在預估未來數小時降雨、流量狀況下，評估各種洩洪方案對於下游河川水位和水庫安全（水庫水位是否可能越過壩高）的影響。

「作業模式」所採用的水庫洩洪決策支援運算邏輯，首先利用水文模式計算到水庫進水量，水庫出水量按照颱風時期兩水庫操作規則（規線）運算，得到水庫出水量後，再進行下游河川演算。除了上述水庫操作規線規則外，尚有加上水庫人員主觀判斷的計畫洩洪量，以及河川局主觀判斷的計畫洩洪量等三種類別，唯後者可有多種評估方案。

計畫洩洪量	規線洩洪量	修正洩洪量	計畫洩洪量	規線洩洪量	修正洩洪量
941.2	240.00	941.8	243.30	941.8	243.30
83.0	241.00	2509.2	241.04	2510.0	240.95
83.0	243.15	2509.9	241.24	2476.1	241.06
89.0	244.10	2732.4	241.22	2830.3	241.09
83.0	245.12	2559.6	241.10	2801.3	241.11
83.0	248.13	2524.8	242.13	2474.3	242.18
83.0	249.10	2621.4	242.10	2423.2	241.00

計畫洩洪量	計畫洩洪量	規線洩洪量	規線洩洪量	修正洩洪量	修正洩洪量
77.8	160.00	77.8	160.00	77.8	160.00
77.8	161.10	77.8	161.10	77.8	161.10
77.8	162.22	77.8	162.22	77.8	162.22
77.8	163.34	77.8	163.34	451.7	343.18
77.8	164.41	930.9	164.03	546.3	281.92
77.8	165.44	1302.3	164.25	1273.3	404.47
77.8	166.44	1601.1	164.04	2544.0	364.80

圖 9 水庫洩洪決策支援之「計畫洩洪量」與「規線洩洪量」展示，以及「修正洩洪量」輸入介面

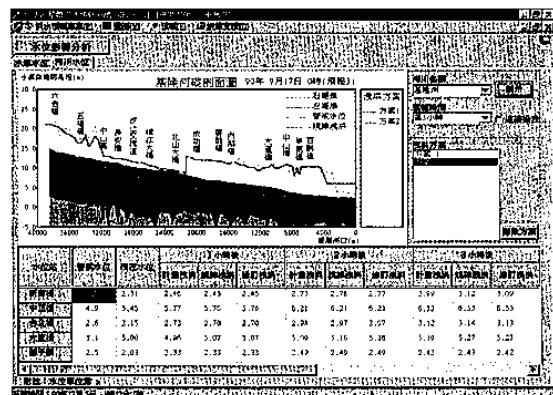


圖 10 不同洩洪方案對於下游河川水位影響文字展示與圖形展示介面

不同洩洪方案除了洩洪量差異外，其他水文條件都相同。根據水庫洩洪決策支援模式的評估結果，可得到對下游衝擊小、不妨礙水庫安全的方案，做出水庫洩洪決策方案。

### 三、模式應用

2001年9月16日晚間在台灣東北角登陸的納莉颱風，淡水河洪水預報是採用水利署第十河川局的「作業模式」。

圖1顯示時間為納莉颱風2001年9月16日19時(CST)，根據颱風路徑、強度和氣候模式預報得到的五堵以上基隆河流域的定量降雨預報時間序列，和該時間以前24小時的降雨觀測時間序列。由圖可知在16日19時之前的8、9小時起，客觀模式的預報值的預報值開始低於觀測值，觀測降雨逐漸遞升，但是客觀氣候模式預報的定量降雨時間序列卻持平；而該時間乃颱風在台灣東北角登陸的前數小時。以圖1所示的降雨預報時間序列，作為五堵以上基隆河流域逕流計算的輸入條件，得到在五堵站的預報未來6小時五堵站的流歷線如圖3。圖中可以看出16日19時和之前數小時，根據客觀氣候模式定量降雨預報所做的五堵站6小時逕流量預報，結果都比實際觀測流量低，顯示降雨有持續低估的問題。圖2為透過主觀定量降雨預報輸入介面，按照基隆河五堵上游觀測降雨時間序列變化的趨勢，以及納莉颱風正由台灣東北方海面逼近淡水河流域的事實，將客觀模式輸出面積平均每小時僅15mm定量降雨預報，主觀修正為第1小時預報約為33mm，到第6小時預報的59mm。根據圖2的主觀定量降雨預報時間序列，進行基隆河五堵以上流域的逕流計算，得到五堵站16日20時到17日凌晨1時預報的流量歷線如圖4。

上述五堵上游流量預報結果，所得的基隆河縱剖面水位圖，圖11a、11b、11c分別為16日19時基隆河五堵到基隆河河口的觀測與模擬水位剖面，16日19時預報16日22時基隆河五堵到河口的預報水位剖面，以及16日19時預報17日1時基隆河五堵到河口的預報水位剖面。圖中除了水位以外，還顯示兩岸的堤線，警戒水位和河川底床高度剖

面。由圖11c可以看出，根據圖2的定量降雨預報和圖4的逕流預報，在17日1時會溢過堤防造成嚴重淹水。

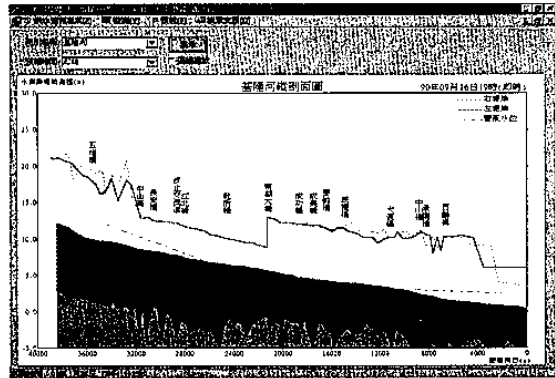


圖 11a 2001 年 9 月 16 日 19 時基隆河五堵到基隆河河口的觀測與模擬水位剖面

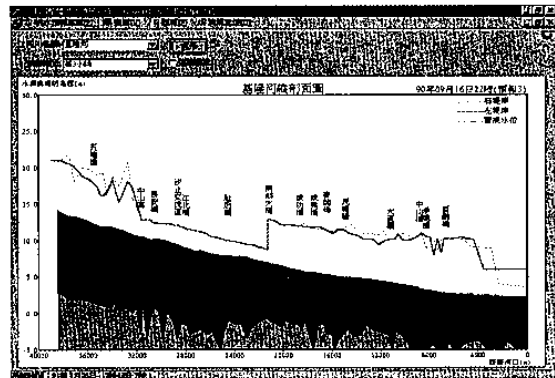


圖 11b 2001 年 9 月 16 日 19 時預報 16 日 22 時基隆河五堵到河口的預報水位剖面

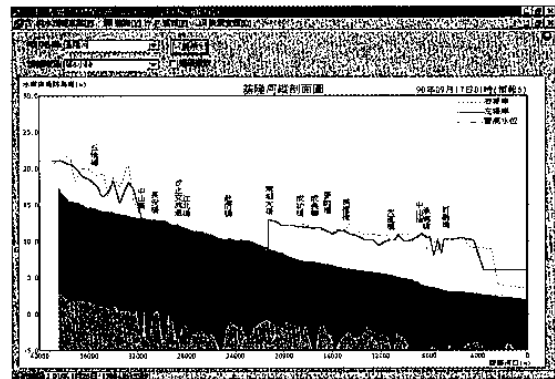


圖 11c 2001 年 9 月 16 日 19 時預報 17 日 1 時基隆河五堵到河口的預報水位剖面

在得到上述預報結果後，迅速向同樣位於第十河川局內的防洪指揮官報告，基於審慎的原則，以及根據法規淡水河防洪指揮中心主要將預報結果提供給相關防洪作業單位，並不對一般民眾發布的作業員則，乃將資訊提供給派員在現場的台北縣、基隆市、交通部、內政部、北水局等防洪應變作業單位，

和電話通知中央災應變中心的防洪組成員。其中，基隆市於收到通知後立即通知易淹地區水民眾撤離。基於審慎原則，一方面研擬洪水警報文內容，一方面等到下一次預報 16 日 20 時，看到颱風降雨量和流量繼續遞增，和預報趨勢符合時，淡水河防洪指揮中心乃於 20 時 30 分正式發出「納莉颱風淡水河洪水警報第 1 報」。警報文除了提示降雨和河川水位現況與預報外，提示民眾防救災應變之文字內容如下：

■警戒區域：基隆河沿岸基隆、暖暖、七堵、汐止、南港、東湖、內湖及社子島等地區；景美溪沿岸木柵、景美與新店等地區。

■水情狀況：

- 基隆河社后橋、五堵與大直水位站之河川水位均已超過警戒水位，並且快速上漲中。
- 景美溪寶橋水位站水位已經接近警戒水位，並且快速上漲中。
- 納莉颱風最大降雨尖峰正逐漸逼近以上兩流域及翡翠水庫上游集水區，可能於午夜到十七日清晨間達到最大降雨。

■警戒事項：

- 基隆河社后橋附近可能於 16 日 22 時到 24 時之間水位會達到堤頂，開始溢堤淹水。
- 實踐橋一帶可能於 16 日 22 時到 17 日 1 時之間水位可能開始淹至路面。
- 景美溪寶橋下游低窪地區請注意河川水位變化，必要時疏散民眾。低窪地區可能因為排水不良，造成局部區域積水。大樓地下室民眾、物品、車輛等均應該撤出，並準備沙包圍堵，減少地下室進水。
- 做好停電停水準備，大樓用戶應儲備用水、準備手電筒、蠟燭。山坡地區住戶與民眾應特別注意防範山崩與土石流。

■其他事項：基隆市政府已通知低窪地區民眾應該往安全高處疏散。中央災害應變中心納莉颱風 16 日 20 時 30 分接到板橋「淡水河防洪指揮中心」的洪水警報文後，向台北市、台北縣和基隆市發出強制疏散基隆河兩岸易淹水地區之民眾，統計撤出約兩萬民

眾，達到洪水預報提供早期預警和應變的功效。基隆河汐止段約在 9 月 16 日晚間 10:30~10:50 開始溢堤淹水；景美溪洪痕顯示最高水位距離堤頂約僅 20 公分。

#### 四、結語和展望

淡水河洪水預報模式為台灣第一個作業化之洪水預報模式，未來會逐步推廣至其他流域。因為台灣山區坡陡流急，和大陸型河川比較，對於短延時定量降雨預報的誤差容忍度低，目前模式最大的不確定性來源是定量降雨預報，在沒有可靠客觀定量降雨預報之前（需長期研發、逐步改進），河川局又缺乏具備氣象專業背景，可以主觀判斷未來數小時颱風定量降雨走勢的人員，主觀定量降雨預報輸入的方法未必有效。

未來水利署需要氣象局逐步建立與精進極短時（0-6 小時或 0-12 小時）的定量降雨預報。另外，在水利署逐步建立台灣各主要河川流域洪水預報系統時，需要氣象專業人員之協助，聯合進行洪水預報作業，方可有效提昇洪水預報之準確性。

#### 五、參考文獻

- 王時鼎，1983，「台灣颱風降雨特性及其預報研究(一)」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 72-13 號張志琳，1998，「淡水河流域颱風面積定量降雨氣候預報模式之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。蔡孝忠，2000，「颱風定量降雨氣候預報模式改進之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 謝龍生，1999，「類神經網絡颱風降雨預報模式與半分布並聯型線性水庫概念逕流預報模式之研究及其整合應用」，國立台灣大學農業工程學研究所博士論文。洪國展、李天浩，2002，「利用 DEM 計算單元集水區的降雨-逕流模擬」，第 13 屆水利工程研討會論文集，雲林科技大學。