

衛星影像於台灣地區淹水範圍判釋應用之可行性評估

江介倫¹ 劉俊志²

¹國立屏東科技大學水土保持系
91201 屏東縣內埔鄉學府路 1 號

²國家災害防救科技中心資訊組
23143 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

摘要

台灣地區，水的問題日益嚴重，尤其在颱風季節，洪澇災害等淹水問題更是常見，國外已有很多研究成功的應用衛星遙測技術即時或近即時監測淹水範圍。惟台灣河川大多坡陡流急，以致洪水之停滯時間短，淹水常於一日內，甚或數小時即消退，故要於淹水時段取得衛星影像不易，再者台灣地狹人稠土地利用複雜，亦造成由衛星影像判釋淹水區域之困難，唯衛星影像可監控大範圍地表狀況，且主動式影像受天候影像較小的優點，在此類應用仍頗具發展潛力。因此本研究透過衛星影像廣景攬要的優點，蒐集納莉、安珀等歷史颱風事件前後之衛星影像資料，以獲取當時地面資訊，並加以分析。藉由影像分類與不同時期影像之變遷偵測等方式分析由衛星影像紀錄到的歷史淹水事件之淹水區域與範圍，期能提供淹水時之地表資訊，以提供如防救災或保險理賠等相關單位參考，甚或提供淹水模式之驗證資料等後續應用。

關鍵詞：衛星遙測，淹水，颱風，分類

The Feasibility of Flood Boundary Delineation Using Remote Sensing Images in Taiwan

JIE-LUN CHIANG¹ and JUN-JIH LIU²

¹ *Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology
No.1 Shaufu Rd., Napu, Pingtung 91201, Taiwan, R.O.C.*

² *Information Division, National Science and Technology Center for Disaster Reduction
9F., No.200, Sec. 3, Beisin Rd., Sindian District, New Taipei City 23143, Taiwan, R.O.C.*

ABSTRACT

In Taiwan, water is a serious concern. During typhoon season, water-related natural disasters, such as landslides and floods, also occur. Although other countries have successfully employed remote sensing to monitor flooding in real-time, flood monitoring is substantially more difficult in Taiwan. This is primarily because of the country's steep landforms and the limited flood water stagnation period; flood waters typically recede within a day or even several hours. Therefore, obtaining satellite images during the flood period is difficult. Furthermore, Taiwan's limited land area, high population density, and multiple land uses hinder differentiation between the flood areas in

satellite images. However, satellite imagery has the advantage of enabling large-scale monitoring of land surfaces and is less influenced by weather conditions (active images), which is essential for this field. Records of flood areas are not easy to obtain. Additionally, physically investigating large-scale areas during flooding or after flooding is dangerous and costly. This study obtains and analyzes satellite images of previous typhoons, such as Nari and Amber, and of flooded areas taken during previous floods. The results of this study can enhance flood information and provide a useful reference for rescue and insurance organizations. The results can also provide data for verifying flood models and related studies.

Key Words: satellite remote sensing, flood, typhoon, classification

一、前言

台灣位處西太平洋海域之中間位置，經常遭受颱風之侵襲。以 2010 年為例發生於西太平洋的十四個颱風，即有五個侵襲台灣地區，而 2004 年發生於西太平洋的颱風更多達二十九個，其中有九個侵襲台灣地區，2001 年發生於西太平洋的颱風亦多達二十六個，其中也有九個侵襲台灣，且造成嚴重之生命、財產損失。此外，近年來之颱風往往出現超越以往記錄之降雨強度。例如 2001 年之納莉颱風即在台北大直地區於 24 小時內降下超過 700 公厘之雨量。大眾捷運系統因而損毀達近三個月之久，造成農作物之損壞及民眾財產巨大損失，及 2009 年八月的莫拉克颱風，重創台灣南部，造成小林村被土石淹沒等嚴重災害，危害民眾生命財產安全甚鉅。針對此狀況，以下議題遂被研究與政府部門所關注：

1. 是否可應用衛星遙測技術於淹水地區偵測與水災防救之規劃？
2. 災後可否利用衛星遙測技術快速評估災害損失？

對第一個議題而言，雖然衛星雷達影像已被應用於泰國、印度、中國大陸與美國地區之洪水即時監測 (real-time monitoring)，但其在台灣地區之應用則有其先天之困難。台灣地區因集水區之上游地形陡峭，洪水波傳輸時間甚短 (僅數小時)，且洪峰過後洪水消退極快，淹水常於一日內，甚或數小的時間內即消退。繞極軌道衛星 (polar-orbit satellites) 通常需數天之後方能再次掃瞄同一地區，則顯然無法被應用於即時監測動態且為期甚短之淹水過程。即便衛星碰巧掃瞄到研究地區某時刻之淹水狀況，此亦僅能代表該瞬間之淹水範圍，而無法確知最大淹水範圍，或該時刻前後之淹水狀況。故要於淹水時段取得衛星影像即有其不易之處，可見衛星雷達影像並不適用於台灣地區之洪水即時監測。再者台灣地狹人稠土地利用複雜，在都市區建物林立，即使淹水亦不易由衛星影像發現，而國外應用成功實例多為大面積的淹

水，故要將遙測技術應用於台灣地區之淹水範圍判釋仍屬嘗試階段。而第二項議題，在洪災的災損分析方面，國內已有多項研究針對經濟面與社會面，分析洪水發生淹水後，對不同區位 (如商業區、住宅區、工業區、農業區) 造成之損失，而利用衛星影像快速判斷出淹水之範圍與區位，將可提供災害損失評估極有利之參考。

二、文獻回顧

近年來遙測技術應用於環境監測等領域日益成熟，自 1994 年 Petrie 嘗試將遙測技術應用於洪水之監測與管理，有了初步的結果 [8]。近年來結合遙測 (remote sensing, RS) 及地理資訊系統 (geographic information systems, GIS) 等科技，已經成為監測洪水的有效工具 [10]。1997 年 Profeti 與 Macintosh 兩位學者利用 Landsat TM 影像的 band 5/band 7 監測上層土壤中的含水量。更進一步估計在大於 20 km² 的範圍時，以合成孔徑雷達 (synthetic aperture radar, SAR) 影像監測分析地表較現地調查的模式所耗的成本低。並指出以 SAR 影像判斷淹水時，若遇濃密的高樹或強風吹皺水面時，由於回波特性和類似的容易造成誤判 [9]。

1998 年中國大陸東北方發生了二十世紀最大的洪水，Liu 等人由 Landsat 衛星所製成的地表覆蓋圖配合加拿大 RADARSAT 衛星之雷達影像透過自動化的淹水邊界追跡，可以達成動態的監測洪水的工作 [7]。2000 年 Zhou 等人以多時期的氣象衛星 NOAA 的 AVHRR 影像與加拿大的 RADARSAT 衛星雷達影像監測洪水，也以 1998 年夏天松花江的洪水為例 [14]，此研究發現應用多種不同的衛星影像可以提供足夠訊息進行洪水的即時監測。此外 Yan 等人 [13] 以機載的 L-SAR 影像來分析 1998 長江鄱陽湖的淹水狀況，並與乾季 Landsat Tm 所獲之正常水位比較，用以監測洪水，並可評估因洪水造成的損失情況與程度。

國外亦有許多應用衛星遙測監測淹水事件的實例，如 1999 年韓國 Kim [6] 應用日本的 JERS-1 衛星於淹水模擬，此衛星影像為 L 波段、HH 偏極，其地面解析度為 18 m × 18 m，在此研究裡應用融合技術和變遷偵測方法來分析影像。並以最大概似法分類後再結合各類別的常態化植生指標 (normalization difference vegetation index, NDVI) 與數值地形模型 (digital terrain model, DTM) 等資料分析發現 97.83% 的洪水危險區高程在 100 m 之下，並利用 SAR 影像分析地表粗糙度以及土壤濕度以利淹水判釋等應用。

Takeuchi 等人 [11] 應用 TM 影像求 NDVI 之變化，並用 NDVI 的差值來判斷是否淹水，研究中並比較 SAR 影像判為淹水且 TM 影像判為淹水 (true production rate, TPR)，以及 TM 判為未淹水而 SAR 判為淹水 (false production rate, FPR) 之狀況。而以 TPR-FPR 此相對的差值來表示判別的精確度，此雖無法正確解釋判別的正確性，但卻可以提供一個相對的參考。2001 年 Horritt 等人 [4] 以 ERS1 SAR 影像採用 active contour models (snakes) 法畫出淹水範圍的邊緣線，他以當時航照圖為真值，求得正確率為 75%；其中主要誤差原因係因未淹水之植生回波與水體類似。

其他如，2002 年 Islam [5] 繪製了淹水災害圖跟土地開發圖應用於孟加拉的洪水風險管理。Bates [1] 以衛星遙測獲取淹水模式的參數，以提升淹水模擬的精度。2005 年 Tralli 等人 [12] 闡述了衛星遙測在多項自然災害包括洪水、地震、崩塌、火山爆發、海水倒灌等的監測應用。Glasser 等人於 2005 年以多時段的多光譜 Landsat 衛星影像偵測德國易北河附近區域 2002 年 8 月極端事件的淹水 [3]。雖然在台灣地區要做到即時監測實屬不易，但將衛星資料應用於淹水範圍判釋著，實具有其應用價值，故加以研究探討。

三、材料方法

由於台灣有前述原因，造成衛星遙測應用於淹水判釋不易，為能有效整合主動、被動式衛星影像及地形訊息，本研究搜集淹水、前、中、後等三時期 ERS2 影像，並由 SPOT 多光譜影像分析地表覆蓋，再輔以數值地形資料，以有效判釋地表淹水狀況。

(一) 定位與校正

本研究採用多時期的 ERS2 影像及 SPOT 影像並結合數值地形模型。要將不同來源、不同性質、不同拍攝日期的多幅影像資料結合，故更需要精確的地理定位以使各資料能整

合無誤，因此各影像資料的幾何校正與定位在本研究中更顯重要。所以在定位與幾何校正需求上，本研究選擇在控制點可以無誤差，且整體定位精度高的克利金法進行影像之定位工作 [2]，以利後續之應用。採用克利金法進行定位，首先以 1/5000 相片基本圖選取地面控制點，為使定位精度達到需求。應用克利金法進行影像定位與幾何校正之步驟包括：

(二) 不同地表覆蓋雷達回波頻度 (Histogram) 分析

利用 SPOT 光學衛星影像之多譜態各波段影像，可以將地表覆蓋分類為基本的三大類，包含 (1) 水體、(2) 植生、(3) 建物，之後再將不同類別之像元 (pixel) 其對應各時期之 SAR 影像回波分析其頻度特性，可以知道在不同時期，同樣類別的地表覆蓋之 SAR 影像回波將會有不同特性，故可知若不增加額外訊息，則即使取的淹水當時之雷達影像，其效用仍會大幅受局限。

(三) 淹水區域判釋

以衛星判釋淹水範圍之要點在於能夠取得淹水當時之衛星影像，如此便能藉由衛星影像記錄當時地表狀況，推估是否淹水。早期淹水判釋的研究多以變遷偵測方法為之。變遷偵測系利用兩幅以上，前後不同時期之影像，比較不同時期之差異；以淹水事件為例，以淹水當時之影像與淹水前之影像相比較，即可得到，可能淹水之區域，最簡單的方法即用兩幅影像灰階值差 (式 (1)) 或比值 (式 (2)) 是否超過門檻值，來判定是否為變遷，當然以此最簡單之變遷偵測模式判斷，勢必會有相當的誤差，而以往此門檻值之決定並無一定標準，大多由多次嘗試後斟酌決定，較不客觀，且無法得到滿意的結果。

$$Sf - Sb > Tc_1 \quad (1)$$

$$Sf / Sb > Tc_2 \quad (2)$$

式 (1) 與式 (2) 中 Sf、Sb 分別為洪水當時與洪水發生前之影像灰階值，Tc₁ 與 Tc₂ 則為設定之門檻值。

為了增加遙測技術在台灣淹水區域的可靠度，本研究除了淹水、前、中、後等三時期 ERS2 影像，並由 SPOT 多光譜影像分析地表覆蓋，再輔以數值地形資料，以有效判釋地表淹水狀況。要整合眾多訊息，可以用上述諸資料為分類特

徵 (feature) 進行分類。

分類之問題主要在於如何切割特徵空間成為幾個類別即於特徵空間中合理有效的將各類分離,也就是說如何劃分特徵空間,而在傳統的應用上最大概似法 (maximum likelihood),是較常用的分類方法,並且有不錯的分類正確率,其假設各類別在特徵空間中之分佈為多變量常態分佈,再由訓練樣本計算每一類的共變異矩陣 (covariance matrix)、平均值向量 (mean vector),再以式 (3) 計算第 i 類中 X 出現之機率,如圖 1(a) 與 (b) 分別說明在一維及二維特徵空間時,在某點 X_1 或 X_2 的機率可被計算出,機率最大的類別即為該點所屬之類別。

$$p(X | C_i) = (2\pi)^{-\frac{d}{2}} |\Sigma_i|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i)\right] \quad (3)$$

d 為特徵數。

Σ_i 為第 i 類的共變異數矩陣。

Σ_i^{-1} 為 Σ_i 的反矩陣。

$|\Sigma_i|$ 為 Σ_i 的行列式值。

μ_i 為第 i 類的平均值向量。

$(x - \mu_i)^T$ 為 $(x - \mu_i)$ 的轉置矩陣。

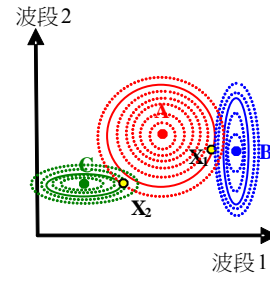
X 為某樣本以特徵表示,為 d 維矩陣。

$P(X | C_i)$ 為某 X 由第 i 類而來的機率。

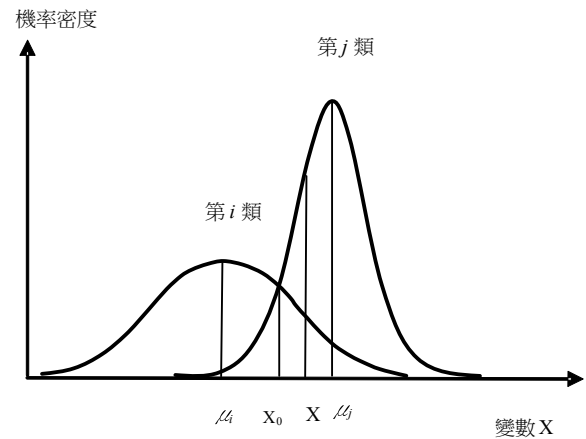
S_{ij} 第 i 類與第 j 類的共變異數。

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_d \end{bmatrix} \quad \mu_i = \begin{bmatrix} \mu_{1i} \\ \mu_{2i} \\ \vdots \\ \mu_{di} \end{bmatrix} \quad \Sigma_i = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1d} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2d} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{d1} & S_{d2} & S_{d3} & \cdots & S_{dd} \end{bmatrix}$$

在分類時,比較出某樣本 X 在那一類類別中的機率密度函數值最大,即可判別該樣本為那一類,最大概似法分類之決策如式 (4) 所示。圖 1(b) 為最大概似法判別說明,其中以一個一維兩個類別之例子說明判別 X 該屬於第 i 類抑或第 j 類的規則。若 $X > X_0$ 時, $p(X | C_j) > p(X | C_i)$, 則將 X 分類成第 j 類。而若 $X < X_0$ 時, $p(X | C_i) > p(X | C_j)$, 則將 X 分類成第 i 類。而如果 $X = X_0$ 時, $p(X | C_i) = p(X | C_j)$, 則將 X 分類成第 i 類及第 j 類的機率相等。藉由求未知像元屬於各類別之概似度 (likelihood), 並將之判為具有最大概似度之類別,



(a)



(b)

圖 1. 最大概似法判別示意

$$X \in C_m, \quad m \in \{1, 2, \dots, k\}$$

$$\text{If } P[X | C_m] = \max\{P[X | C_j], j = 1, 2, \dots, k\} \quad (4)$$

本研究以最大概似法進行分類。在分析淹水範圍時,先以 SPOT 影像進行初步地表覆蓋分類,再結合多時期 ERS2 影像變遷分析之及數值地形模型等,以增加判斷淹水區域之訊息,由這些有用資訊所構成的特徵空間中,找出淹水區域的共同特性。

故本研究淹水區域的分類共計採用了淹水前、中、後 ERS2 雷達影像、數值地形計算之網格坡度及地表覆蓋類別變數等五個分類特徵,以求得安珀颱風時,台北地區淹水圖。

四、實例研究

(一) 研究區域與資料

由於淡水河流域貫穿大台北精華區,且於夏季颱風時期經常泛濫成災,造成民眾生命與財產之嚴重損失,故本研究選定淡水河流域靠近台北市地區為研究範圍;採用之衛星影

像包含光學影像 SPOT 及雷達影像 ERS2，其中 ERS2 衛星雷達影像，為合成孔徑雷達影像，其為 C-band，波長 5.6 cm，垂直偏極 (VV)，空間解析度 25 m，由於是主動式影像，於天候不佳時仍可觀測，且於安珀颱風 (1997 年 8 月 30 日) 時及前後，皆可獲得 ERS2 台北附近影像可供分析。

其中最接近安珀颱風洪水洪峰時刻之影像為 1997 年 8 月 30 日 10 點 (洪峰時刻約為 1997 年 8 月 29 日 20 點~21 點間) 約為洪峰後之 14 小時，並以其前 (1997 年 7 月 26 日) 後 (1997 年 11 月 8 日) 之影像參考比對，本研究採用各時期 ERS2 影像及 SPOT 假色影像分別如圖 2(a)~(d)，採用之 SPOT 衛星影像各波段之基本特性如表 1 所示，各波段主要多介於可見光範圍。

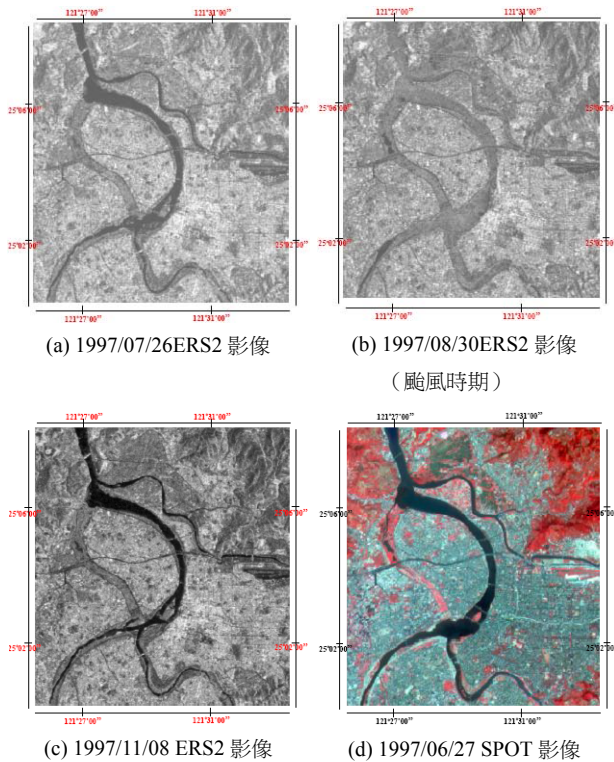


圖 2 本研究採用之影像

表 1. SPOT 衛星影像特性表

光譜波段	波長範圍 (μm)	解析度 (m)
綠光段 (green)	0.50-0.59	20
紅光段 (red)	0.61-0.68	20
近紅外光段 (infrared)	0.79-0.89	20
可見光段 (panchromatic)	0.51-0.73	10

(二) 頻度分析

為了在處理資料前更了解資料之型態與特性，特別針對各類地表覆蓋不同時期的衛星雷達影像資料求得其頻度圖。經由 SPOT 影像進行地表覆蓋分類後，可於各時期 ERS2 影像之相對應位置選取河川、植生、建物等三類樣本之像元，繪出其頻度圖 (如圖 3~圖 5) 可以比較各類於不同時期之差異，頻度圖之橫座標為影像中像元之數值，縱軸則為發生頻度以像元發生次數計算。由河川、植生、建物等三類的頻度圖可知，河川水體與植生呈中低色調，而建物則為較明亮之色階，河川部分偶有較明亮之色階可能因為颱風洪水時期水體波動較大，不為鏡面反射體，加上有大量漂浮垃圾與異物漂浮於河面所造成。

由圖 3 可以發現水體在淹水前後差異不大，且本身回波數值變異範圍亦小，但在颱風淹水當時，頻度圖顯示回波數值變大，且數值之變異範圍大增。造成易與植生或建物之回波特性混淆，判釋困難。

由圖 4、圖 5 分別顯示植生與建物之回波頻度圖，可以看出非颱風時期水體、植生、建物皆不易混淆。而淹水時影像與非淹水時影像比較，回波變化則以水體最大，植生之回波變化次之，建物之回波變化最小。

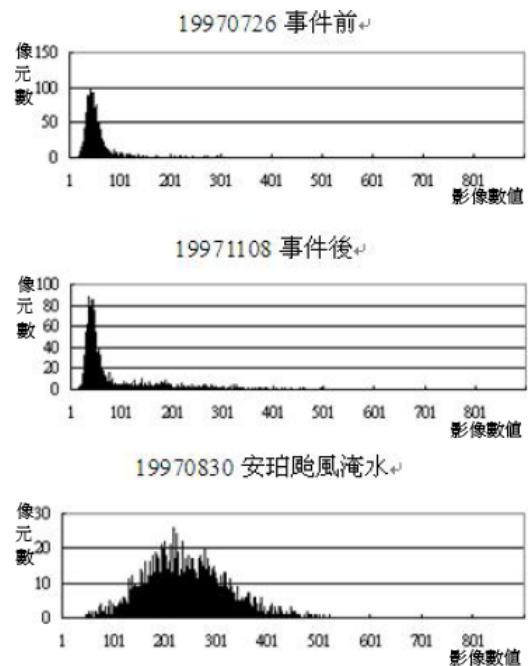


圖 3. 不同時期 ERS2 影像河川水體類別之頻度圖

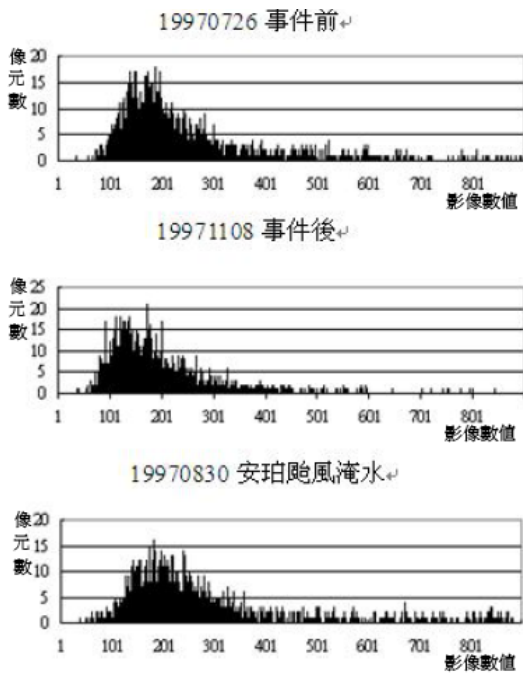


圖 4. 不同時期 ERS2 影像植生類別頻度比較

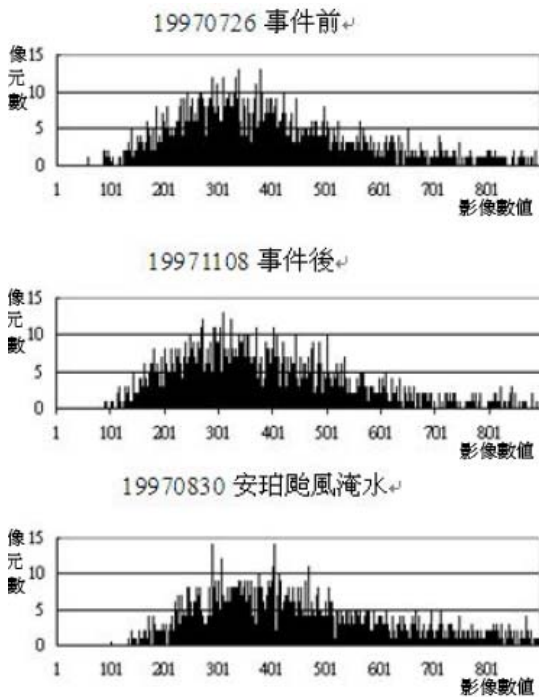


圖 5. 不同時期 ERS2 影像建物類別頻度比較

且此時水體回波數值與植生的回波數值極為相似，回波數值重疊之情況很多，故不易分辨，易產生誤判。此外觀察市區建物淹水區域回波特性發現各期影像皆很相近，因此僅憑回波變化很難判斷此類區域之淹水與否，其原因應是因都

市建築稠密區之雷達回波主要來自於建築物之角反射，除非淹水深度高於建物，否則以目前影像之解析度不易判斷都市建築稠密區是否淹水。

(三) 結果分析

由洪水前後之影像頻度比對分析，可看出不同時期影像水體範圍之差異。由於雷達影像之解析度及其影像特性使不同地物因組織構造或粗糙度類似，可能有相似之回波，且易有斑駁雜訊，故分類極易混淆，不易有明顯淹水邊界。此外在都市建築稠密區，由於回波主要來自於建築物之角反射，因此以目前影像之解析度不易判斷都市建築稠密區是否淹水，除非水體深度淹沒地表建物，此時接受到之回波才不是受角反射現象主導。

因此依前節方法由淹水前、中、後的雷達影像輔以其他相關訊息，包括地表覆蓋類別及坡度訊息等共五特徵作為分類依據，以此五特徵將地表分為淹水與非淹水二類，可以得到結果如圖 6 所示，其中藍色(黑白文件之灰色)區塊表示，當時表面為水體的區域，此較單由雷達影像分析淹水範圍有更佳之結果，並可以減少雷達影像斑駁雜訊之影響。

五、結論

台灣地區颱風季節時淹水問題嚴重，國外已有很多研究成功的應用衛星遙測技術，監測淹水範圍。唯台灣情況特殊

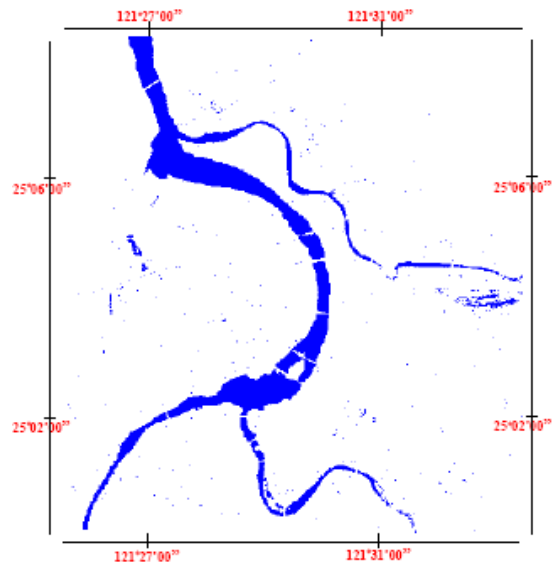


圖 6. 以 ERS2 影像、地表覆蓋類別、地形坡度等特徵所得之淹水與否二元分類結果藍色(黑白文件之灰色)表示表面為水體

要應用遙測技術在淹水範圍之監測較國外困難，因台灣地形陡峻以致淹水時間較短，淹水常於一日內，甚或數小時內淹水即消退，故要於淹水時段取得即時衛星影像有其不易之處，再者台灣地狹人稠土地利用複雜，都市區建物林立，使淹水亦不易由衛星影像發現，國外應用成功實例多為大面積的淹水，故直接模仿國外成功案例之模式不見得可行，本研究嘗試多來源及多時期影像訊息整合，期使衛星影像用於判釋淹水範圍在台灣地區更為可行。

其中衛星雷達影像是目前技術下較可能在颱風時期取得之影像訊息，因此其重要性不容忽視，要增加淹水範圍判釋之正確性與可靠度，除了淹水時雷達影像外，可以增加其他地面訊息，如本研究結合多時期雷達影像與地表覆蓋類別及地形坡度訊息三者，可增加地表淹水判斷之正確性。此台北地區淹水圖可供相關單位洪災管理或災害保險理賠等參考，及供淹水模擬之驗證資料等後續應用。

參考文獻

- Bates, P. D. (2004) Remote sensing and flood inundation modeling. *Hydrological Processes*, 18(13), 2593-2597.
- Cheng, K. S., H. C. Yeh and C. H. Tsai (2000) An anisotropic spatial modeling approach for remote sensing image rectification. *Remote Sensing of Environment*, 73(1), 46-54.
- Glasser, C. and P. Reinartz (2005) Multitemporal and multispectral remote sensing approach for flood detection in the Elbe-Mulde region 2002. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 33(5), 395-403.
- Horritt, M. S., D. C. Mason and A. J. Luckman (2001) Flood boundary delineation from synthetic aperture radar imagery using a statistical active contour model. *International Journal of Remote Sensing*, 22(13), 2489-2507.
- Islam, M. M. and K. Sado (2002) Development priority map remote sensing data with for flood countermeasures by geographic information system. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(5), 346-355.
- Kim, C. (1999) Flood damage mapping in North Korea using JERS-1 Data. Proceeding of 1999 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg, Germany.
- Liu, Z., F. Huang, L. Li and E. Wan (2002) Dynamic monitoring and damage evaluation of flood in north-west Jilin with remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 23(18), 3669-3679.
- Petrie, G. M., G. E. Wukelic, C. S. Kimball, K. L. Steinmaus and D. E. Beaver (1994) Responsiveness of satellite remote sensing and image processing technologies for monitoring and evaluating 1993 Mississippi River flood developments using ERS-1 SAR, landsat and SPOT digital data. *ACSM/ASPRS*, 94(2), 176-182.
- Profeti, G. and H. Macintosh (1997) Flood management through Landsat TM and ERS SAR data: A case study. *Hydrological Processes*, 11(10), 1397-1408.
- Sanyal, J. and X. X. Lu (2004) Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: A review. *Natural Hazards*, 33(2), 283-301.
- Takeuchi, S., K. Tomohisa and S. Yuzo (1999) Comparative study for flood detection using JERS-1 SAR and Landsat TM Data. Proceeding of 1999 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg, Germany.
- Tralli, D. M., R. G. Blom, V. Zlotnicki, A. Donnellan and D. L. Evans (2005) Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(4), 185-198.
- Yan, S., C. Wei and S. A. Wang (1999) Multi-technique integrated flood monitoring system and its applications in China. Proceedings of the International Symposium on Digital Earth Science Press, Beijing, China.
- Zhou, G., J. Luo, C. Yang, B. Li and S. Wang (2000) Flood monitoring using multi-temporal AVHRR and radarsat imagery. *PE & RS*, 66(5), 633-638.

收件：100.06.21 修正：100.08.01 接受：100.10.28