

儀器科技研究中心 103 年期末成果報告

災害預警儀器與系統技術發展

計畫主持人：廖泰杉

報告日期：中華民國 103 年 12 月 31 日

目錄

一、	計畫目的.....	3
二、	工作項目.....	3
三、	具體成果.....	3
3.1	大尺度河川水面影像觀測技術研究與水文分析儀器本土化.....	3
3.2	水位、流速與雨量多變項之河川推估相互關係.....	9
3.3	微波移動器與流速間相互關係.....	14
四、	結語.....	20

一、 計畫目的

台灣颱風災害大多因持續性豪雨所致，故颱風災害預警應變作業效能提升是相當重要的。因此，儀科中心配合颱風洪水中心等中心研發能量，共同針對洪水災害議題進行災害預警儀器與系統技術發展，預期整體計畫可形成一跨領域模式整合預報與災害預警應變管理平台，將有利於未來颱風洪水災害之預警與防範，並與學界合作水位或流速相關之水文分析儀器或模組本土化技術可行性研發評估。

二、 工作項目

災害預警儀器與系統技術發展計畫中儀科中心於103年工作項目主要為2項，其分別如下：

- (1) 大尺度河川水面影像觀測技術研究與建立水位、流速與雨量多變項之河川推估相互關係
- (2) 與學界合作水位或流速相關之水文分析儀器或模組本土化技術可行性研發評估

三、 具體成果

將分別針對各項成果簡介如下：

3.1 大尺度河川水面影像觀測技術研究與水文分析儀器本土化

在水文觀測上，河川流量為重要水文資訊。目前河川流量量測多半皆使用非接觸式量測方法，主因為非接觸式方法在河川大流量量測時，能夠保障施測人員安全，且有防止儀器因接觸流體而損壞，而流速為主要測量目標，一旦量測到河川流速數據後，就可利用數值模型，計算河川流量。因此本計畫於102開始便透

過大尺度質點影像測速法(Particle image velocimetry, PIV)作為河川水面流速影像觀測技術。

由於 PIV 方法需取得良好之影像資訊，包含：影像清晰度高、影像取樣頻率高、及水面有良好的偵測質點等，故 102 年度使用專業高影像品質之攝影機作為影像擷取源，並藉由該影像進行 PIV 演算法之開發。因演算法開發趨於成熟，故 103 年度計畫主要開發方向即為移植 PIV 演算法應用於嵌入式影像表面流速分析系統，透過該系統結合軟體與硬體，進而實現即時分析。

一般 PIV 演算法皆基於等時距 30 fps 影像，因此本計畫針對目前常見嵌入式系統進行評估後，針對所需之影像解析度、攝影機媒體介面與硬體加速等功能，選擇具有五百萬畫素相機模組之樹莓派(Raspberry Pi)嵌入式系統。雖然 Raspberry Pi 之硬體加速功能能達成 30fps 預覽，但仍然無法使流速公式能同時順暢運作。因此本計畫提出解決方式為先錄製一段即時影像並將該影像進行暫存，隨後再透過流速公式計算表面流速。該計算結果可儲存至系統中且重複上述動作，便可使得此系統形成一近似即時之影像流速系統，圖 1 則為此影像流速系統之操作流程與時序。

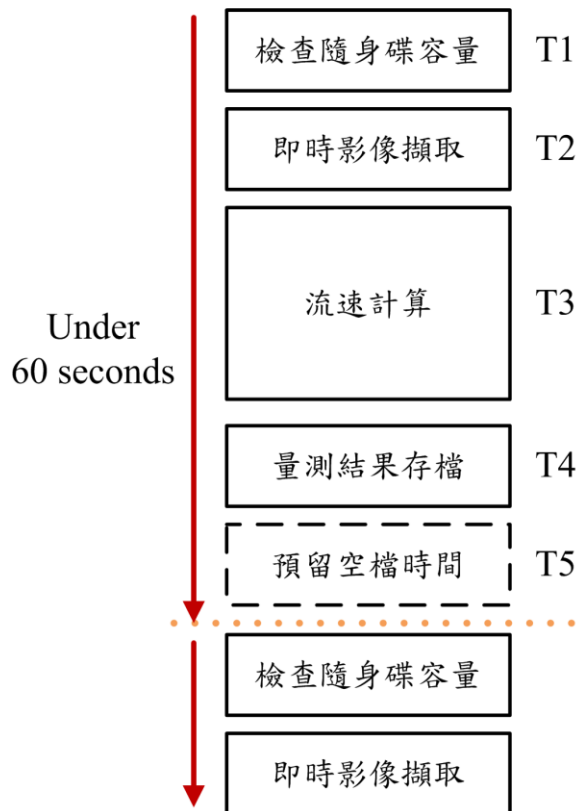


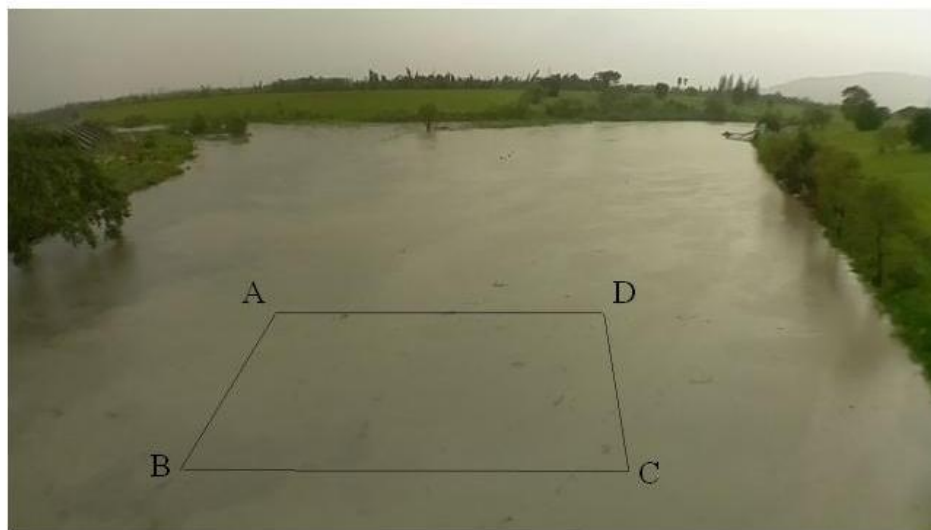
圖 1、影像流速系統操作時序

此外，由於影像流速系統多半安裝場合屬於戶外環境，因此必須選用工業等級之網路路由器，下圖 2 是此嵌入式系統所使用的路由器，路由器含有兩個射頻連接器，分別外接 3G 天線及 WIFI 天線，再搭配可提供固定 IP 之 3G SIM 卡就可構成流速系統之網路模組。



圖 2、3G 路由器

表面流速計算程式主要需處理兩個部分，首先為提高程式計算穩定度與可靠度，每一次執行結束後皆會終止程式，釋放佔用之系統資源，以降低程式佔用記憶體導致系統不穩定之不確定因素。再者為座標點設定，為了使座標點與距離設定能降低程式重新編譯之情形，此流速計算程式將把設定參數儲存於外部設定檔。因此，每次調整流速計位置或其他方向時，若需要重新取得座標與距離資料，將可直接由外部檔案進行變更。下圖 3 為 2014 年麥德姆颱風期間於宜蘭河流域所拍攝之現場實際流域圖，其中四點參考點屬於人為標示，因此在颱風來臨前，必須先前往現地進行安裝與取景，找到合適取景角度後，再標示此四點人為參考點。



(例)座標資料

A: (366, 417) / B: (237, 631)
C: (850, 631) / D: (819, 415)

(例)距離資料

A: (0, 0) / B: (0, 2000)
C: (2500, 2000) / D: (2500, 0)

圖 3、參考點設定示意圖

取得流速量測結果與標定參考點後，最重要的便是如何判讀量測結果。但 PIV 演算法中因含有大量矩陣運算，容易使得運算過程造成溢位，進而導致向量紊亂使得判讀量測結果更加不易，如下圖 4 所示。

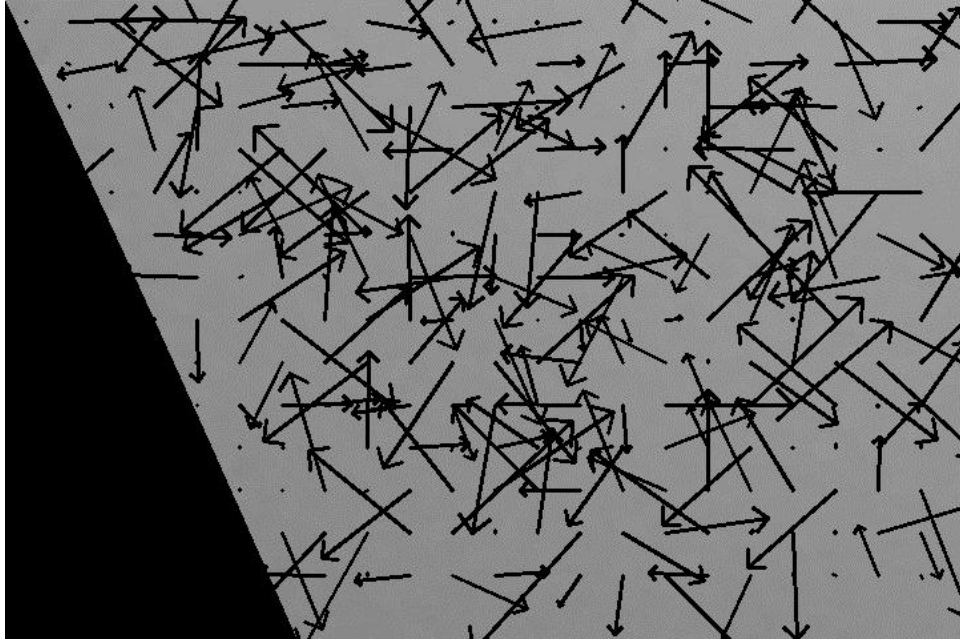


圖 4、向量紊亂圖

由圖 4 得知該流速向量圖與河流實際流動狀況並不符合，因此需針對量測地點設定相對應之距離資料，將可得到較為合理之流速向量圖如圖 5 所示，由此可知若不當設定參考點數值將易造成流速計算錯誤與過大之誤差值。

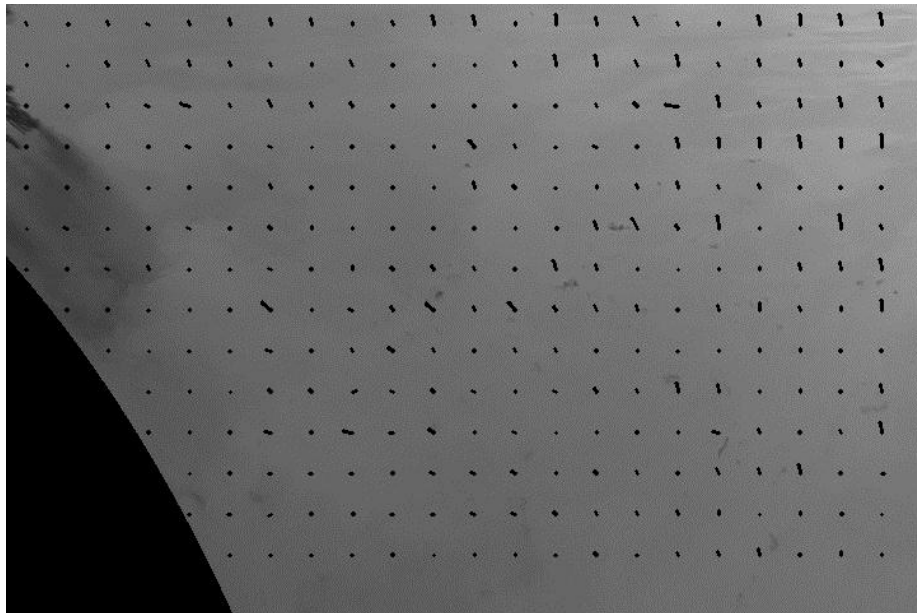


圖 5、合理流速向量圖

透過上述反覆確認參考點設定後，所計算出之流速結果如下圖 6 所示，由此圖得知根據 PIV 演算法計算之流速向量圖與河流實際流動方向是相符的。

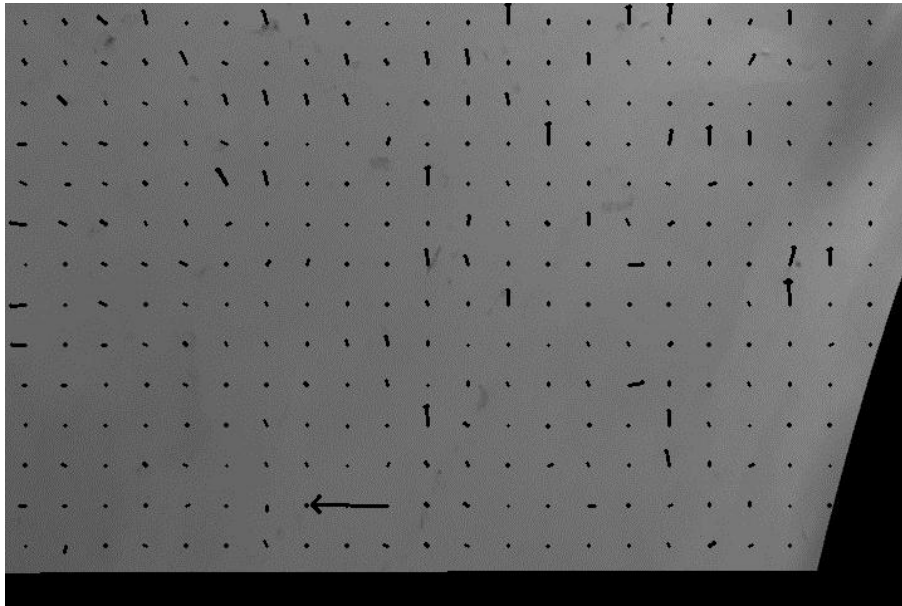


圖 6、表面流速向量圖

由於此影像流速系統最終應用範圍多半屬於戶外應用，因此參考常見戶外設備之機構，將此嵌入式影像流速系統透過防水機構予以組裝，內部機構組裝如下圖 7 所示。



圖 7、機構內部圖

最終完成之機構圖則如下圖 8 所示。



圖 8、流速計最終機構圖

透過此嵌入式影像流速系統將可建立一即時流速分析系統，未來仍須精進與持續驗證，以期日後能更廣泛應用於各式水文分析與現場量測，並建立水文儀器本土化之開端。

3.2 水位、流速與雨量多變項之河川推估相互關係

本計畫於 102 年選定宜蘭河流域之中山橋進行流速與水位相關分析評估，並取得水位與流速間具有一顯見之相關性，故 103 年進一步針對水位、流速與雨量進行多變量分析評估，希望取得多項水文數據之關連性，以期能增加流量推估之準確性。下圖 9 為根據颱風洪水中心架設之水文監測站所提供資料，分別為雨量、累積雨量、水位與表面流速。

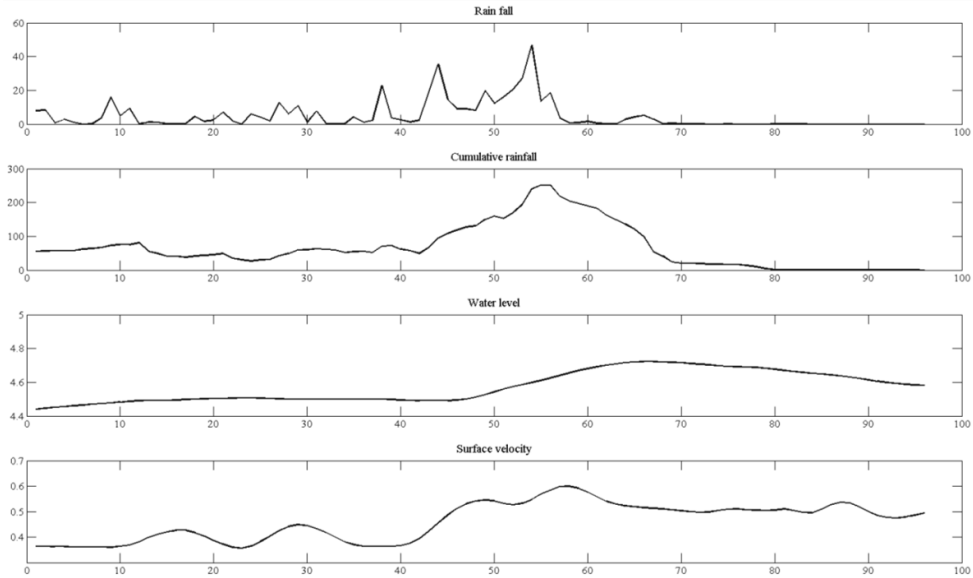


圖 9、水文資料由上至下分別為雨量、累積雨量、水位與表面流速

從上圖原始資料中不易察覺雨量與表面流速之相互關係，儘管雨量增加造成表面流速有些微變化，然而兩者間存在相當微弱的相關性。因此，為更深入了解其相關性，將藉由短時間累積雨量建立雨量、流量與流速之間的共變性分析探討三者間之相關性，希望能進一步了解該區域之水文狀態以利後續研究。

在觀察雨量、水位與表面流速三者的複雜關之前，可藉由任兩個訊號間交越相關分析結果，除可發現兩者間相位差，更可以推估最大相關發生時間。由圖 10 可以發現，6 小時的累計雨量與表面流速具有一致的變化，然而在 60 小時的資料會有明顯的落差。而 53 小時的累積雨量與表面流速有較高的相似度，但卻少了靈敏度。可能發生原因在於雨量快速減少後，上游河水快速匯集，導致整體流量快速上升，進而造成複合交互影響，以致於與推論模型不精確。因此後續研究可針對多變量相關性分析進行探討，進一步了解雨量、流速與流量間的複雜關係。

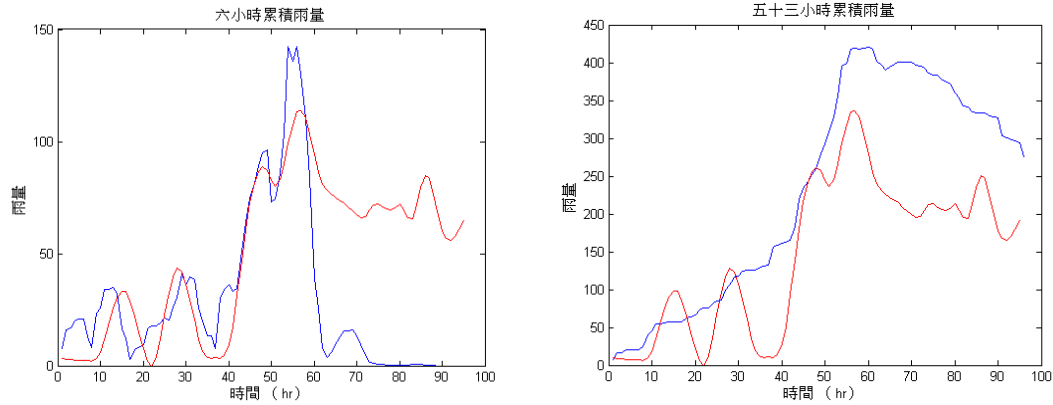


圖 10、(a) 六小時累積雨量與表面流速訊號、(b) 五十三小時累積雨量與表面流速訊號

河流之表面流速與流量之間具有一相關性存在，但流量增加與雨量關係卻非直接關係，因為兩者間存在一定程度的遲滯。遲滯原因可能是來自於上游雨水匯集，會對於該量測點水量造成積分效果。因此，較精確作法是利用該流域的累積雨量建立兩者間關係，但此法卻會造成實際資料取得與估算的困難度。下圖 11 為水位、流速、雨量與累積雨量四者間的相關關係散佈圖。由圖 11 觀察而知，雨量對水位與雨量對流速的相對關係不是直接而是間接的，所以不容易從兩者間散佈圖看出其線性關係，但從累積雨量對水位和累積雨量對表面流速圖中，可以看到累積雨量增減過程中，會有不同的相依關係產生。因此將採用時頻分析方法來觀察多個訊號間的頻譜變化。下圖 12 與圖 13 分別為短時距傅立葉轉換頻譜與小波轉換。透過小波相關性分析結果可以發現，兩訊號都在 50 小時左右發生不同程度強能量變化，但兩者相位變化時間卻有所出入，分別發生於 40 與 50 小時左右。換句話說，雨量較表面流速早發生相位變化，並在 50-55 小時間發生最強能量。而表面流速產生相位變化在 52 小時，在 37-63 小時持續處於高能量狀態。由此結果可以發現，兩者具有一致的能量變化，可能存有非線性之相依性。

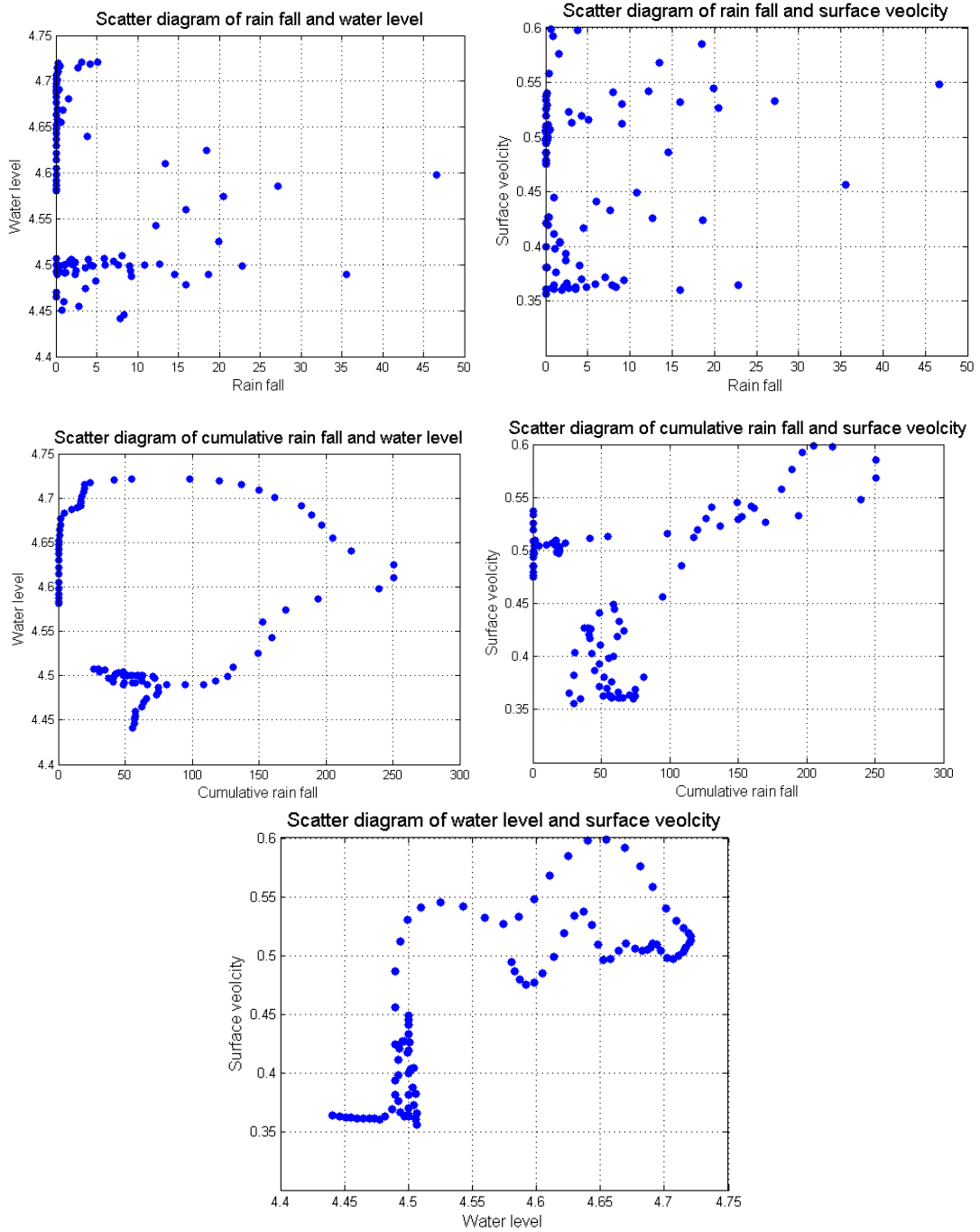


圖 11、(a) 時雨量對水位、(b) 時雨量對表面流速、(c) 累積雨量對水位、(d) 累積雨量對表面流速、(e) 水位對表面流速之交越相關曲線

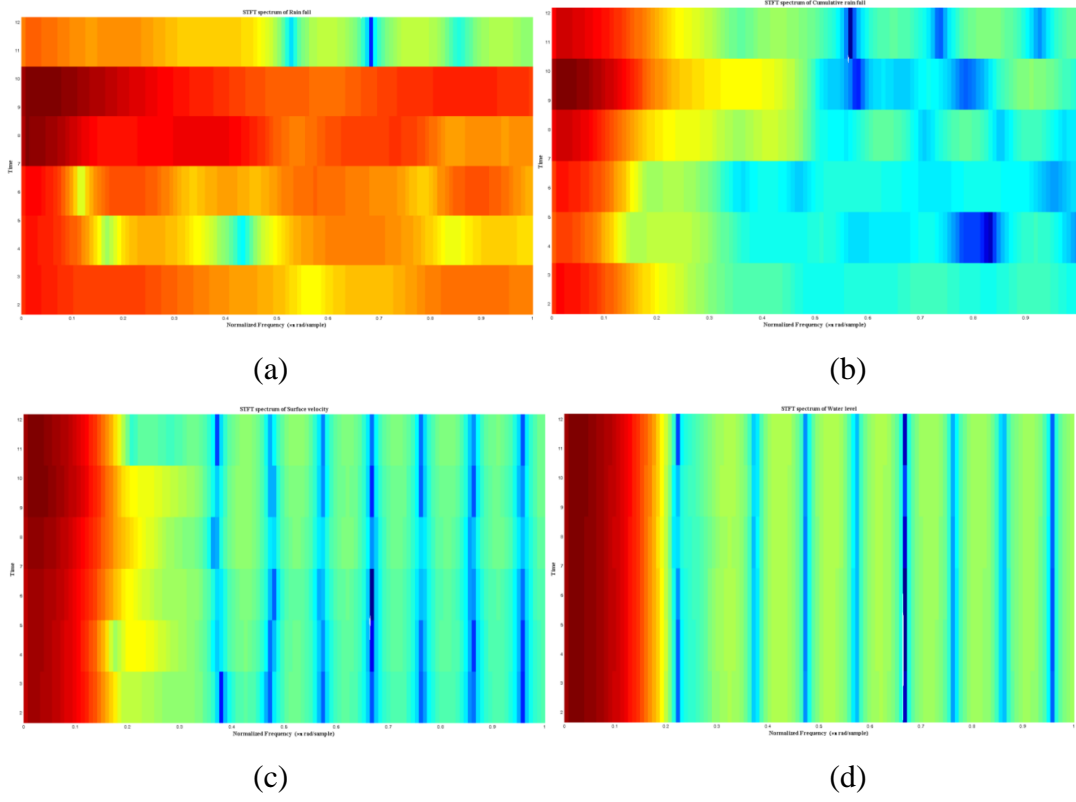
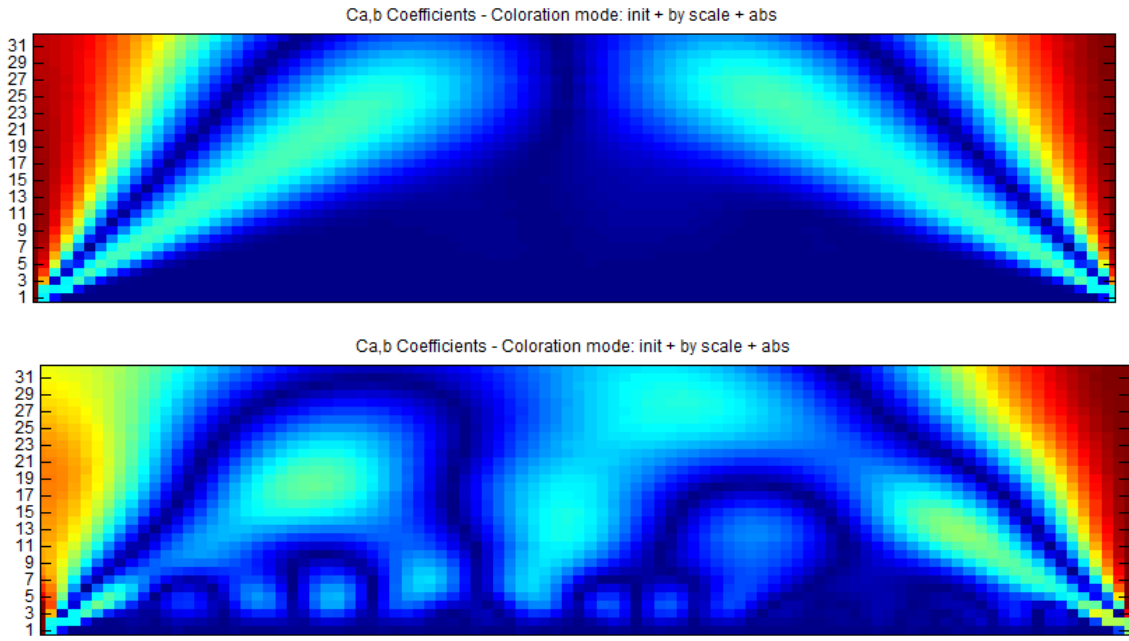


圖 12、(a) 雨量、(b)累積雨量、(c) 水位、(d)表面流速短時距傅立葉轉換結果



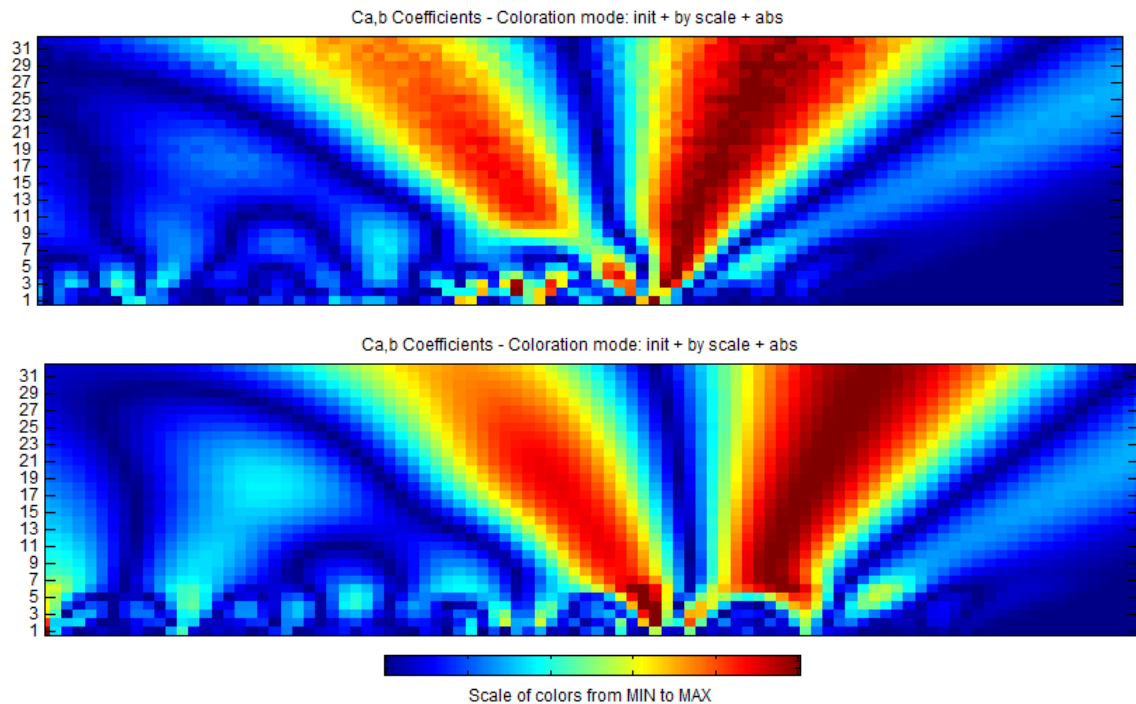


圖 13、(a) 水位、(b) 表面流速、(c) 雨量 (d) 累積雨量訊號之連續小波係數

水位、雨量與表面流速是三種常用於日常水文狀態反映的觀察因子，若能進一步了解三者間深度關係將可更有效進行災害防治之預警。從結果發現累積雨量結果對水位與表面流速之間有較明顯且有意義之相關性，彼此間存在一長時間遲滯效應，可能與該流域之水流匯集有關，未來將需要更全面資料與進一步分析。時頻分析方法上，透過短時距傅立葉頻譜與小波轉換結果都可以發現，雨量變化與表面流速變化有不同響應行為，不易觀察兩者間共同關係，將需要更為直接訊號資訊以輔助水文模態之建立。

3.3 微波移動器與流速間相互關係

儀科中心致力於本土水文儀器開發為方向，102 年已針對雷達波水文儀器天線進行研製，103 年則針對其都卜勒探頭(微波移動器)與流速間相互關係進行評估，透過構造簡單的介質諧振器形成微波移動器穩定振盪源，此架構可有效縮小電路板尺寸，並藉由振盪器放大電路、槽孔天線、低通濾波器與金屬製螺絲，驗

證該探頭之可行性及水面流速間相互關係，預期將可提供未來國內製作雷達波流速計參考。

雷達波都卜勒探頭模組上感測理論是以都普勒效應(Doppler effect)為基礎，都普勒效應是當波源與水流方向之間有相對運動時，則雷達波都卜勒探頭模組接收到波的頻率與波源發出的頻率並不相同的現象。當水面流速方向與雷達波都卜勒探頭模組上波源的方向順向移動時，接收到的頻率會上升；反之，若水面流速方向朝著雷達波都卜勒探頭模組上波源反方向移動時，則都普勒頻率頻率會下降。雷達波都卜勒探頭模組所接收到的頻率與波源所發出頻率的頻率差即為都普勒頻率(Doppler frequency)，也稱作都普勒偏移(Doppler shift)。因此，若能得知都普勒頻率，將可透過公式推算出水面流速之速度。圖 14 為雷達波都卜勒探頭模組架構，振盪器使用平行回授式介質諧振器來產生穩定振盪源。平行回授型介質諧振器是利用傳輸係數(Transmission Coefficient)大於 1 的概念，在此設計下，介質諧振器為一帶通濾波器(Band-Pass Filter)，利用兩條微帶線連接到放大器的輸出及輸入端，並將訊號耦合至介質諧振器，而放大器的增益需大於介質諧振器的注入損耗(Insertion Loss)，且整個迴路之相位為 2π 的整數倍，其等效電路示意圖如圖 15 所示。

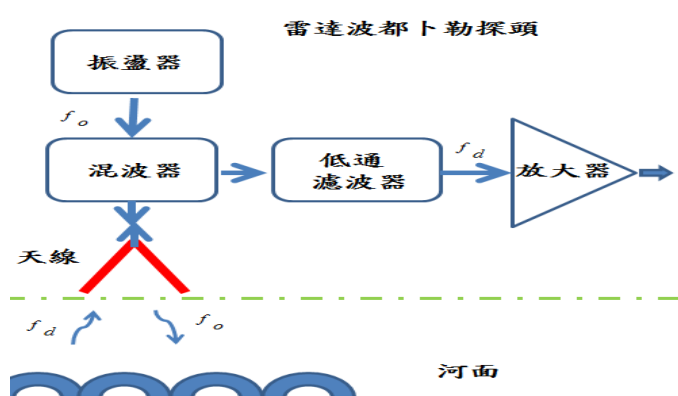


圖 14、雷達波都卜勒探頭模組(微波移動器)架構

先利用高頻電路模擬軟體(Agilent ADS)找出放大器在偏壓點時的相位，接著再找出介質諧振器與回授電路的相位，調整微帶線的長度使回授電路的相位達

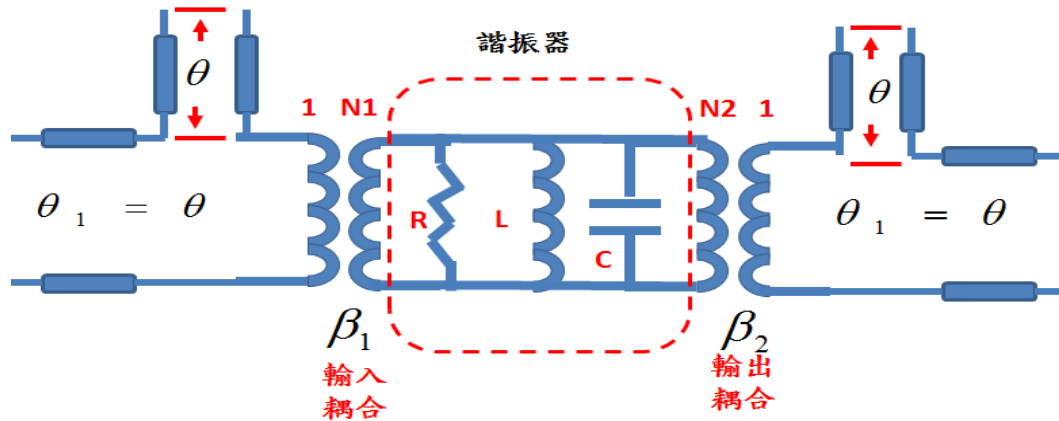


圖 15、平行回授式介質諧振器架構電路等效電路

最佳化，用此回授電路配合放大器電路使整體電路總相位為 2π 的整數倍，如此可使諧振電路正常工作在諧振頻率上。當介質諧振器(DR)與兩條微帶線較近，也就是耦合量較大時，介質諧振器頻率(DRO)可調的範圍較大，但相位雜訊(Phase Noise)較差且效率亦較差。振盪器以使用 NEC 公司的 2SC5508 雙極性電晶體作為偏壓電路主動元件，其優點為具有低 $1/f$ 雜訊特性，而 2SC5508 的電流增益截止頻率 25GHz，遠高於本機希望 10GHz 工作頻率。在電晶體偏壓方面，考慮到增益增加故選擇電晶體偏壓方式。經過模擬後可得在 10.53GHz 狀況下之增益與相位分別為 4.318dB \angle -81.23。板材考慮到損耗問題，故選用 ISOLA 公司生產的 IS680-338，其介電係數 $\epsilon_r = 3.38$ ，厚度 $H=0.508\text{mm}$ ，損耗正切角 $\text{Loss Tangent}=0.0035$ 。圖 16 為微波移動器介質諧振器與微帶線模擬圖。

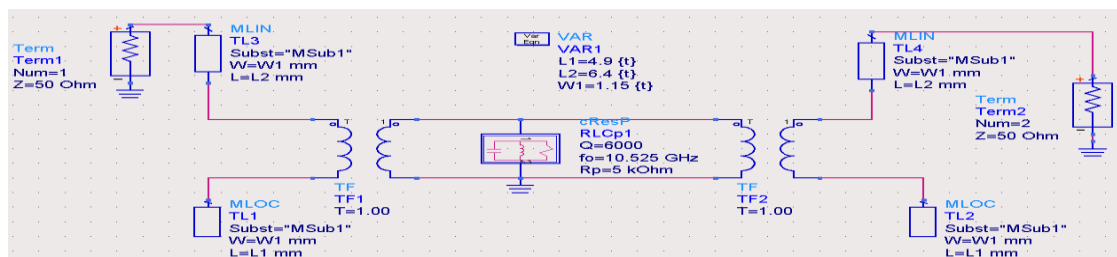


圖 16、微波移動器介質諧振器與微帶線模擬圖

水面流速計之雷達波都卜勒探頭是使用 HFSS (High Frequency Structure Simulator) 電磁模擬軟體設計槽孔天線，天線設計目標為於需求頻帶內天線將可達到-10dB 以下。並用在微帶天線的金屬微片表面植入槽孔或裂隙，以干擾微帶天線金屬微片的表面電流分佈的架構進行天線模擬。圖 17 為槽孔天線模擬圖，綠色部分為 ISOLA 公司的 IS680-338 板材，橘色部分為饋入線放置在 TOP 層，T 字形槽孔天線放置在 Bottom 層。

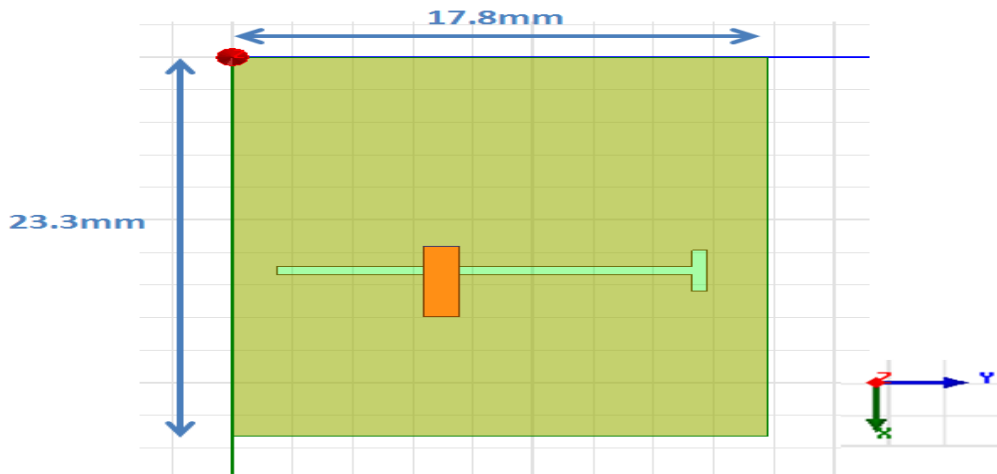


圖 17、槽孔天線模擬與尺寸圖

槽孔天線模擬結果其中心頻率為 10.5625GHz，反射損耗為-14.18dB，頻寬範圍約 9.3GHz 至 12GHz 共 2.7GHz，包含了雷達波都卜勒探頭模組的工作頻率 10.525GHz。圖 18 為此天線的 3D 輻射場型圖，輻射場強最大值在 z 軸方向上，最高達 3.12dB。原始槽孔天線輻射場型類似典型的雙極天線場型，但模組機殼裝置上去之後，背板金屬將會使得 z 軸方向有較強的輻射。因此在應用上是以 z 軸方向為雷達模組電波發射方向，亦即槽孔天線之天線面去面對待測物體。

圖 19 為雷達波都卜勒探頭模組實體，電路板尺寸為 23.3mm X 17.8mm，板厚為 0.508mm。左半邊區塊為介質諧振器振盪電路與偏壓電路，右半邊區塊為混頻器

與低通濾波器。由於介質諧振振盪器需要加蓋金屬殼來形成穩定振盪，經過測量後發現當金屬板距離介質諧振器的高度為 7mm 時會有最好的響應點。

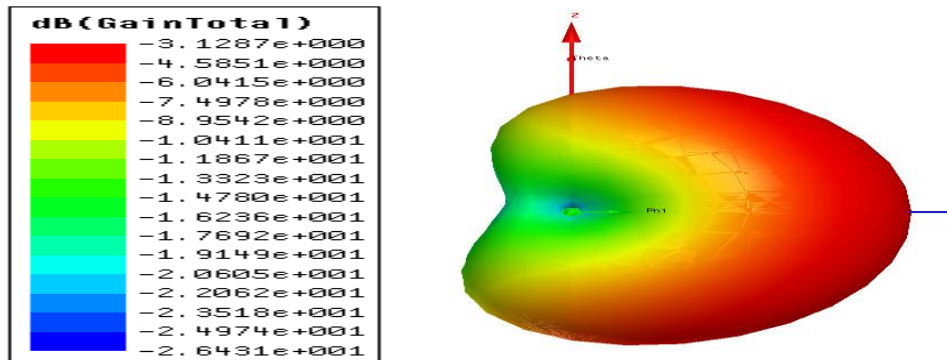


圖 18、3D 輻射場型圖

圖 20 為高度 7mm 的金屬殼與感測模組結合圖，可利用上方螺絲來調整中心頻率，右排接腳分別為電壓輸入、接地與中頻輸出端。雷達波都卜勒探頭金屬模組的振盪器使用介質諧振器架構完成穩定振盪源，振盪頻率為 10.5GHz，介質諧振器與回授電路使用平行回授式架構，能有效減小電路板面積與減少變數的產生，混頻器使用二極體完成混頻的動作，成本較低且結構簡單，天線採用槽孔天線設計，可有效利用接地面積且尺寸較小，經過測試後模組輸出功率為-3.2dBm，振盪頻率為 10.5GHz，與設計的目標頻率相同，有效測距距離為 5 公尺以上。

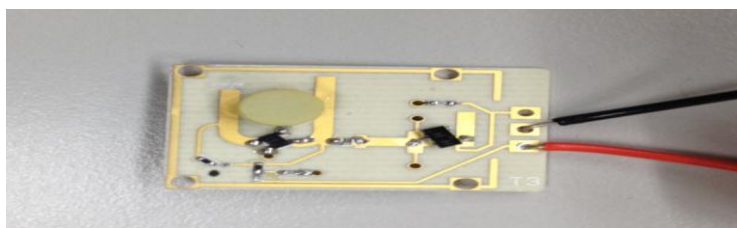


圖 19、雷達波都卜勒探頭模組實體

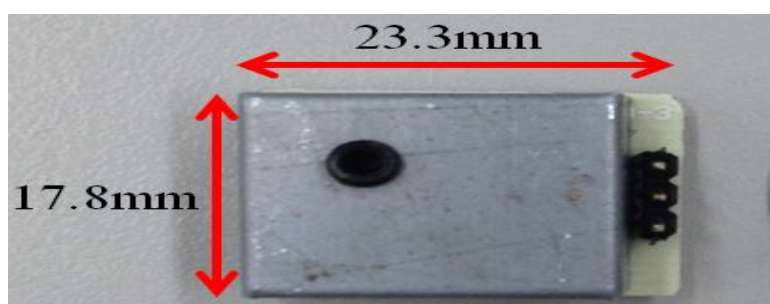


圖 20、雷達波都卜勒探頭金屬模組實體

雷達波都卜勒探頭模組的振盪器使用介質諧振器架構完成穩定振盪源，振盪頻率 10.5GHz，介質諧振器與回授電路使用平行回授式架構，能有效減小電路板面積與減少變數的產生，混頻器使用二極體完成混頻的動作，成本較低且結構簡單，天線採用槽孔天線的設計，可有效利用接地面積且有效降低尺寸。

雷達波都卜勒探頭於台大水工所環形水槽進行模擬水流速初步實驗，其關係式如圖 21 所示，僅為一實驗參考，隨著水流速增加，都卜勒頻率會增加，雖然環形水槽可以模擬水流速至 20 M/SEC，因受限於量測製具因素，目前僅能測試相當水流速 0.25M/SEC 至 1.2M/SEC，雷達波都卜勒探頭產生相對應都卜勒頻率(平均值)如圖 21

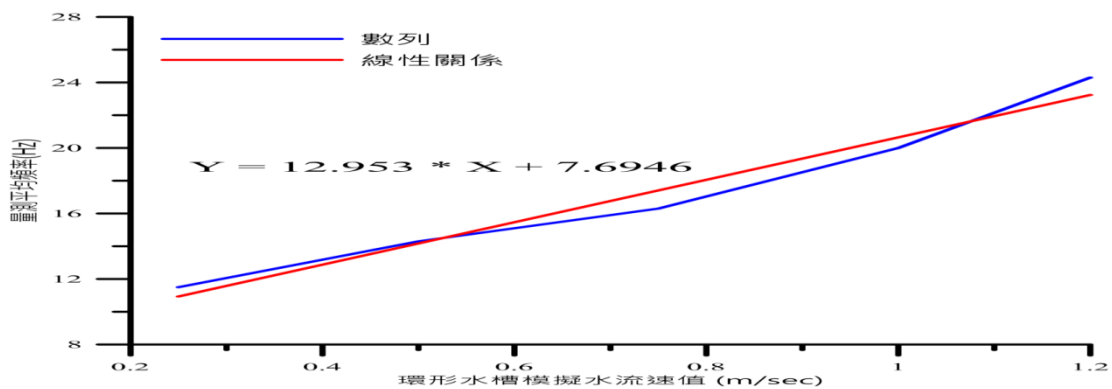


圖 21 環形水槽可以模擬水流速與雷達波都卜勒探頭產生相對應都卜勒頻率(平均值)關係

雷達波流速器儀器中雷達波都卜勒探頭是一項關鍵組件，未來探頭需參數精確調整與功率放大器整合，往實測距離 15 米以上之雷達波都卜勒探頭研製，另外需改進量測製具，最後未來需要發展一套訊號處理演算法，處理雜訊與信號關係。

四、 結語

藉由 103 年儀科中心三項主要成果，希望未來能夠再透過相關計畫持續成果精進與改良，發展更完善之本土化防災儀器與相關實際應用產品，以提昇台灣在防災與儀器產業之優勢。