

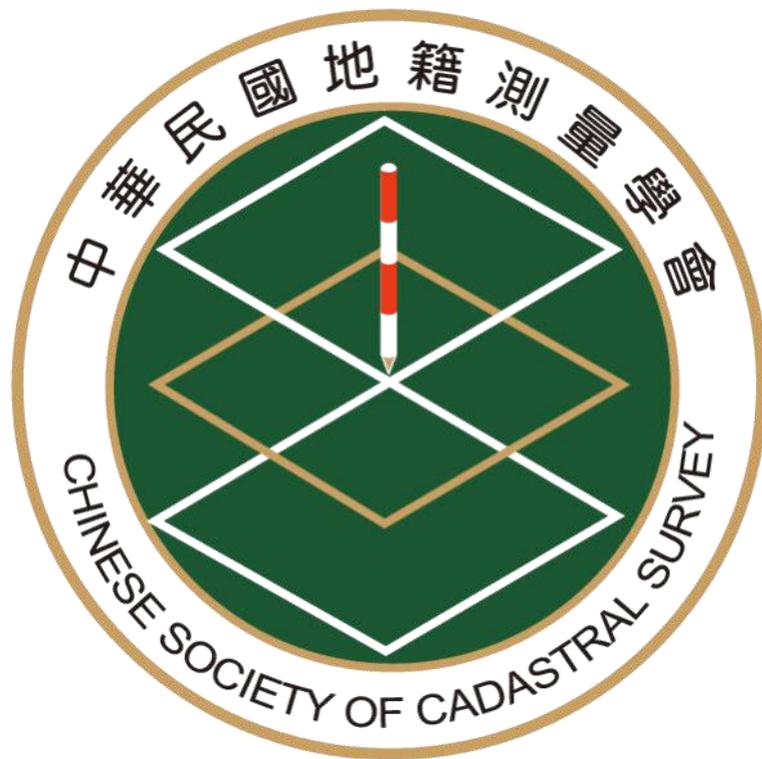
中華民國地籍測量學會期刊

# 國土測繪與空間資訊

Taiwan Journal of Geoinformatics

第七卷 第二期

中華民國一〇八年七月



VOLUME 7, NO. 2

July 2019

Published by Chinese Society of Cadastral Survey &  
National Land Surveying and Mapping Center



內政部國土測繪中心共同發行

# 中華民國地籍測量學會第19屆組織表

## 一、理監事會：

理事長：黃榮峰  
副理事長：謝福來  
常務理事：蕭輔導、高書屏、黃進雄  
理事：洪本善、崔國強、吳宗寶、江渾欽、楊...名、周天穎、吳相忠、王定平、王啟鋒、  
蕭萬禧、梁崇智、紀聰吉、謝福勝、張元旭、邱仲銘、陳惠玲  
常務監事：蘇惠璋  
監事：史天元、蕭正宏、容承明、白敏思  
秘書長：鄭彩堂(兼任)  
副秘書長：李文聖(兼任)  
秘書：黃錦桂(兼任)、陳鶴欽(兼任)  
幹事：何美娟、楊雅茜

## 二、各種委員會：

### (一)服務委員會：

主任委員：崔國強  
委員：王定平、黃仰澤、賴澄標、鄭宏達、蘇昱彰、朱上岸、黃建華、吳啟賢  
總幹事：梁崇智  
幹事：劉彥秀、吳震緯、蕭爵增

### (二)編輯委員會：

主任委員：楊...名  
委員：史天元、林老生、洪本善、洪榮宏、陳繼藩、黃倬英、詹士樑、楊明德、  
趙鍵哲、饒瑞鈞  
總編輯：陳國華  
編...輯：陳鶴欽  
幹...事：黃郁恩

### (三)研究發展委員會：

主任委員：洪本善  
委員：王宏仁、林志清、林登建、吳宗寶、吳聲鴻、黃文華、賴偉君、駱旭琛、  
蕭萬禧、謝福勝  
總幹事：陳世崇  
幹...事：謝東發、董荔偉

### (四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導  
委員：洪本善、張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來  
幹...事：由本會秘書處兼任

### (五)教育訓練委員會：

主任委員：劉正倫  
委員：崔國強、李文聖、葉文凱  
總幹事：蕭泰中  
幹...事：謝正亮

### (六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎  
委員：李文聖、葉美伶、曾耀賢、盧鄂生、羅正方  
總幹事：邱明全  
幹...事：李佩珊、湯美華

### (七)界址鑑定及諮詢委員會：

主任委員：盧鄂生  
委員：邱仲銘、江渾欽、洪本善、崔國強、謝福勝、王年水、駱旭琛、吳宗寶、  
吳相忠、曾耀賢、蕭萬禧、王啟鋒

## UAV 正射影像應用於未辦地籍整理地區

### 現況測量之研究

陳俊達<sup>1</sup>、方惠民<sup>2\*</sup>、蕭松山<sup>3</sup>、康秋桂<sup>4</sup>

論文收件日期：108.02.19

論文修改日期：108.04.12

論文接受日期：108.04.15

#### 摘 要

目前臺灣各地政機關在比例尺 1/1200 未辦地籍整理地區土地複丈測量作業時，常遭遇地形地物遮蔽而無法通視觀測，或因地形限制致人員無法到達施測等問題。本研究規劃於新北三峽橫溪地區已辦地籍整理之佳興段與未辦地籍整理區域為航拍作業區域，應用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 搭載高解析度相機，結合使用內政部國土測繪中心建置之e-GNSS即時動態定位系統，透過航拍製作正射影像解決此一問題。研究結果顯示，以UAV航拍製作正射影像，經驗證符合未辦地籍整理地區測量精度 36cm之要求，並比較研究案例範圍測量作業時間，以UAV航拍正射影像執行現況測量需時約 5 至 7 天，相較於傳統以地面儀器執行現況測量作業方式則需時約 12 至 41 天，更具效率。未來各地政機關在未辦地籍整理地區土地複丈測量作業時，應可利用UAV航拍製作正射影像技術來解決未辦地籍整理地區傳統現況測量問題。

**關鍵詞：**正射影像、地籍測量、即時動態定位、無人飛行載具

---

<sup>1</sup> 科長，新北市地政局。

<sup>2</sup> 助理教授，國立臺灣海洋大學河海工程學系。

<sup>3</sup> 教授，國立臺灣海洋大學河海工程學系。

<sup>4</sup> 局長，新北市地政局。

\* 通訊作者，TEL: (02)24622192 轉 6112，E-mail: [hmfang@email.ntou.edu.tw](mailto:hmfang@email.ntou.edu.tw)。

# The application of UAV orthophoto on cadastral surveying of unregistered cadastral area

Chun-Ta Chen<sup>1</sup>, Hui-Ming Fang<sup>2\*</sup>, Sung-Shan Hsiao<sup>3</sup>, Ciou-Guei Kang<sup>4</sup>

## Abstract

During land resurveying performed in the unregistered cadastral area, it is often encountered obscured situation in observation, or hard to reach the survey area due to terrain limitation. In this study, an unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with a high-resolution camera and the e-GNSS real-time dynamic positioning system built by the Ministry of the Interior's National Land Surveying and Mapping Center to produce orthophotos for land resurveying at Chia-Hsin section in New Taipei City. The results show that the geometric accuracy for the orthophoto results had been validated better than 36 cm according to mapping requirement in the unregistered area. Moreover, the working time for the land resurveying based on orthophoto products can be reduced effectively to five to seven days, but it needs 12 to 41 days worked in the same area by using traditional terrestrial surveying methods. Therefore, the UAV aerial surveying method can be conducted to improve performance on the land resurveying in the unregistered cadastral area.

**Keywords:** Cadastral surveying, e-GNSS, Orthophoto, Unmanned aerial vehicle (UAV)

---

<sup>1</sup> Chief of Land Administration Department, New Taipei City Government.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University.

<sup>3</sup> Professor, Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University.

<sup>4</sup> Director of Land Administration Department, New Taipei City Government.

\* Corresponding Author, Tel: +886-2-24622192#6112, E-mail: [hmfang@email.ntou.edu.tw](mailto:hmfang@email.ntou.edu.tw).

## 一、前言

臺灣各宗土地權屬及範圍係以各地政事務所管有之地籍圖為準據，在辦理地籍測量時，即依據該地籍圖辦理相關作業。目前地政事務所原管有的地籍圖係依據日據時期測繪的地籍原圖轉繪得副圖，為紙本圖籍。當初測繪圖籍的圖根點因年代久遠或遺失已不復存在，故實務上辦理地籍測量測定土地界址時，需先行施測一定範圍的現況地形地物，再與地籍圖套疊分析以確認二圖籍資料相對位置後，方能實地測設土地界址。早期測量方式受限於儀器設備，採用平板儀搭配測斜照準儀、皮捲尺等方向及距離量測工具施測，測量精度相對較低，套圖方式採紙圖資料套疊。隨著科技發展，測量儀器大都改採經緯儀、電子測距儀或全測站經緯儀等辦理測量，測量精度大幅提升，且套圖方式也搭配地籍圖數值化成果，套圖誤差已獲改善。惟不論早期係以平板測量或今採用全測站經緯儀施測，現況測量作業受限於案件辦理時效，施測範圍較小，且易受地面障礙物阻隔或地形限制無法到達等因素，部份可靠地形經界物施測受到限制，與地籍圖套疊分析之現況地形資料不足，恐導致成果品質降低甚或發生錯誤。截至 106 年底為止，全國尚有 2 百多萬筆屬於此類未辦地籍整理的土地亟待辦理比例尺 1/1200 地籍整理。圖解法作業於現況測量時所遭遇的問題如何改善，以提升測量成果品質，避免錯誤或較大誤差產生，是地籍測量人員亟需努力克服的課題。

近年來無人飛行載具發展的功能性及經濟性均優，以 UAV 攝影測量技術於實務量測作業的應用研究方面，諸如施錦揮等(2010)應用旋翼型 UAV 拍攝國道 3 號高速公路七堵路段崩塌走山影像產製數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)及 3D 立體模型，並與崩塌前期之數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)資料做比對，快速量測崩塌範圍、坡度坡向分析及計算坍方土石量，有效提供救災資訊。黃美甄(2014)以定翼型與旋翼型 UAV 於航高 130 m 與不同控制點分佈條件，航拍花蓮光復鄉 172 公頃範圍，應用航測軟體 Pix4Dmapper 建製數值表面模型(DSM)地面解析度 5.55 cm 圖資。邱式鴻等(2014)以 UAV 航拍影像透過自率光束法空中三角測量(簡稱空三)平差，解決近景攝影測量率定所得相機參數不適用問題，再透過立體模型有效立製測製範圍，實證以旋翼型 UAV 影像局部重測都市區千分之一地形圖的可行性。林耀宗等(2015)利用旋翼機 UAV 航拍新北市鶯歌區及樹林區交界處長寬為 2.3 公里 0.6 公里的大漢溪河床，搭配立體製圖方式製作 1/1000 地形圖。蕭震洋等(2015)以定翼型 UAV 航拍臺東新崙溪建製數值地形模型(DTM)，並與歷年由 Lidar 掃測建製的數值地形模型(DTM)比較，分析莫拉克颱風前後的河川型態演變及致災特性。陳靜茹等(2016)於綠島以無人機於航高 40m 及前後左右重疊率 85% 的航拍條件，經空中三角計算與軟體影像處理，產製解析度 2.75cm/pixel 數值表面模型(DSM)點雲模型及正射影像。楊一中等(2018)探討 UAV 攝影測量技術在沙灘地形測量的可行性，透過航空攝影測量技術與空中三角測量方法，配合虛擬基準站之網路化即時動態定位(Virtual Base Station RTK, VBS-RTK)對地面控制點(Ground Control Point, GCP)測量座標進行實際座標修正獲取實際土沙灘地形點位，並比較影像匹配點雲與直接

測量成果地形差異，結果顯示於航高 70m 之地面解析度(GSD)為 3.26cm、高程平均誤差為 3.20cm、高程均方根誤差(RMSE)為 0.169m，符合經濟部水利署驗收相關法規 $\pm 25$  cm 之高程差驗合標準。Crommelinck 等人(2017)通過無人機正射影像與自動圖像分析相結合的應用，使地籍測繪更具效率及經濟性。Sim and Song(2018)利用無人機攝影開發地籍測繪技術，解決沿海地區地籍界限的不確定性，並透過正射影像與地籍圖進行地籍差異性比較，以評估沿海地區地籍邊界的現狀。Lin 等人(2018)提出了一種使用無人機衍生圖像的三維地籍圖製作和更新技術，利用三維可視化技術將地籍圖與真正的正射影像重疊，改變了傳統地籍圖的視覺檢測方式。

緣此，本研究乃探討如何利用無人機系統 UAS (Unmanned Aircraft System)具有靈活機動、快速高效、成本較低且不易受雲層遮蔽、受天氣和空域管制的影響小等特性，搭配整合全球定位定位系統 (Global Position System, GPS)及慣性量測系統 (Inertial Measurement System, IMU)的定位定向(Position and Orientation System, POS)系統，透過影像處理軟體進行影像匹配與空中三角測量技術，快速取得高解析度且具空間資訊的正射影像，再從正射影像上量取現地特徵點點位座標，並使用內政部國土測繪中心虛擬基準站即時動態定位技術 (Virtual-Base-Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK)建置的電子化全球衛星即時動態定位系統(e-GNSS)，藉由佈設地面控制點 (Ground Control Point, GCP)量測地面特徵點之現地座標，進一步分析於正射影像上量取與地面直接測量座標成果的平面位置差異，獲得符合法令精度規範的正射影像成果，輔助解決傳統地面測量遭遇地形限制無法施測及效率較低的問題，俾期完備現況套疊圖資，以達提升測量效率及成果品質之目的。

## 二、量測儀器與影像處理軟體

目前未辦地籍整理地區的現地測量方式，大多採用全測站經緯儀辦理現況測量，測量作業需耗費大量人力、設備及時間。由於無人機航拍設備技術的進步日新月異，加以電腦設備及影像處理軟體能力提升，航拍所獲得的影像解析度更由原公分等級大大提升至公分等級。航拍正射影像作為測繪地籍所需之現況地形資料，可突破以往受限於地形障礙，克服難以取得地形圖資的問題。針對以 UAV 航拍方式製作正射影像，以及現場地面測量儀器與軟體詳述說明如后各節。

### (一) 全站式經緯儀與衛星定位儀

本研究使用的全站式經緯儀規格如表 1 所示之 SOKKIA SET350RX 型全站式經緯儀。以光線法測量地面點位坐標，另使用可接收 GPS 與 GLONASS 雙星系資料之 SOKKIA GRX2 衛星定位儀，接收信號為 L1、CA、L1/L2、P 碼及 L2C，GLONASS 接收信號包括 L1/L2、CA、L1/L2、P 碼，RTK 水平定位精度為 10mm+1ppm，高程定位精度為 15mm+1ppm，及運用內政部國土測繪中心建置之 e-GNSS 系統，以 VBS-RTK 方式測定航測標及因檢測作業需要所佈設之控制點位座標。

表 1 SOKKIA SET350RX 全測站經緯儀規格

	測 角	精 度	2 秒
	測距精度	有光學稜鏡	$\pm(2+2\text{ppm}\times D)$ mm
		無光學稜鏡 (400m 以內)	$\pm(10+10\text{ppm}\times D)$ mm
	測距範圍	小型稜鏡	1.3~5,000m
		無光學稜鏡	0.3 ~400m
標準單稜鏡		1.3~5,000m	
自動對點精度(1000m 以內)		$\pm 1$ mm	
測角最小顯示	0.1 秒	測距最小顯示	0.1mm

註：表中 D 為水平距

## (二) UAV 無人飛行載具

採用導航定位能力、酬載力、抗風力、酬載相機雲台水平穩定能力、航拍效率及搭配之相機解析度等規格性能較高之 UAV，搭配高解析度數全像幅數位相機，利用 UAV 航拍獲得之正射影像成果以使影像成果能符合需求，可解決傳統地籍現況測量受限於地形障礙問題。本研究為印證使用不同類型的 UAV 執行測量航拍作業，當其航拍相機鏡頭規格性能如具備一定條件以上，其航拍影像經一定程序處理得到的正射影像成果，可符合精度要求作為未辦地籍整理地區現況套疊圖資使用。本研究分別以定翼及旋翼型 UAV 搭載不同類型定焦相機執行航拍作業，UAV 機型性能及航拍定焦相機規格分如表 2 及表 3 所示。本實驗研究使用三款 UAV 都皆自有航拍規劃軟體，先行利用 Microsoft Map、MapBox Map、Google Map 等衛星圖資設定航拍航線、航高、航拍影像解析度 GSD(單位為公分/pixel)、航拍範圍、影像重疊率等條件規劃航拍計畫，並上傳至 UAV，UAV 於起飛後，只需按鍵啟動航拍計畫，即會依計畫執行航拍工作，可免除人為操作不穩定而產生之誤差。

表 2 本研究使用的 UAV 規格表

項目			
名稱	eBee Plus	Falcon 8	AI-RIDER AI-1100-QC
抗風能力(m/sec)	12	12	12
續航力	40 min	20 min	20 min
雲台	固定式	3 軸雲台	3 軸雲台
量測元件	GPS、IMU(1 個)	GPS、IMU(3 個)	GPS、IMU(1 個)

表 3 本研究 UAV 搭配相機規格表

UAV	EBe Plus	Falcon 8	AI-RIDER AI-1100-QC
機型			
	SENSEFLY S.O.D.A	SONY ILCE-7R	PHASEONE
焦距(mm)	28	35	55
影像尺寸 (寬 x 高)	5,472 x 3,648 像素	7,360 x 4,912 像素	8,280 x 6,208 像素

### (三) 影像處理軟體

航拍影像處理乃利用 Pix4Dmapper 影像軟體，該軟體具有自動空中三角測量功能，採自率光束法平差方式。內方位鏡頭畸變校正，Pix4Dmapper 內建各鏡頭初始校正參數，可在選單中選擇拍攝相機種類，透過自率光束法平差自動修正其內方位參數，也可選擇以自行輸入內方位參數方式。

## 三、航拍實驗設計及規劃

為符合本實驗研究以 UAV 航拍方式所產製之正射影像可否運用於未辦地籍整理地區之目的，實驗開始的範圍選定、控制點佈設、航拍規劃，到資料處理解算，以及後續成果分析等，整體步驟流程予以設計規劃，如圖 1 所示。

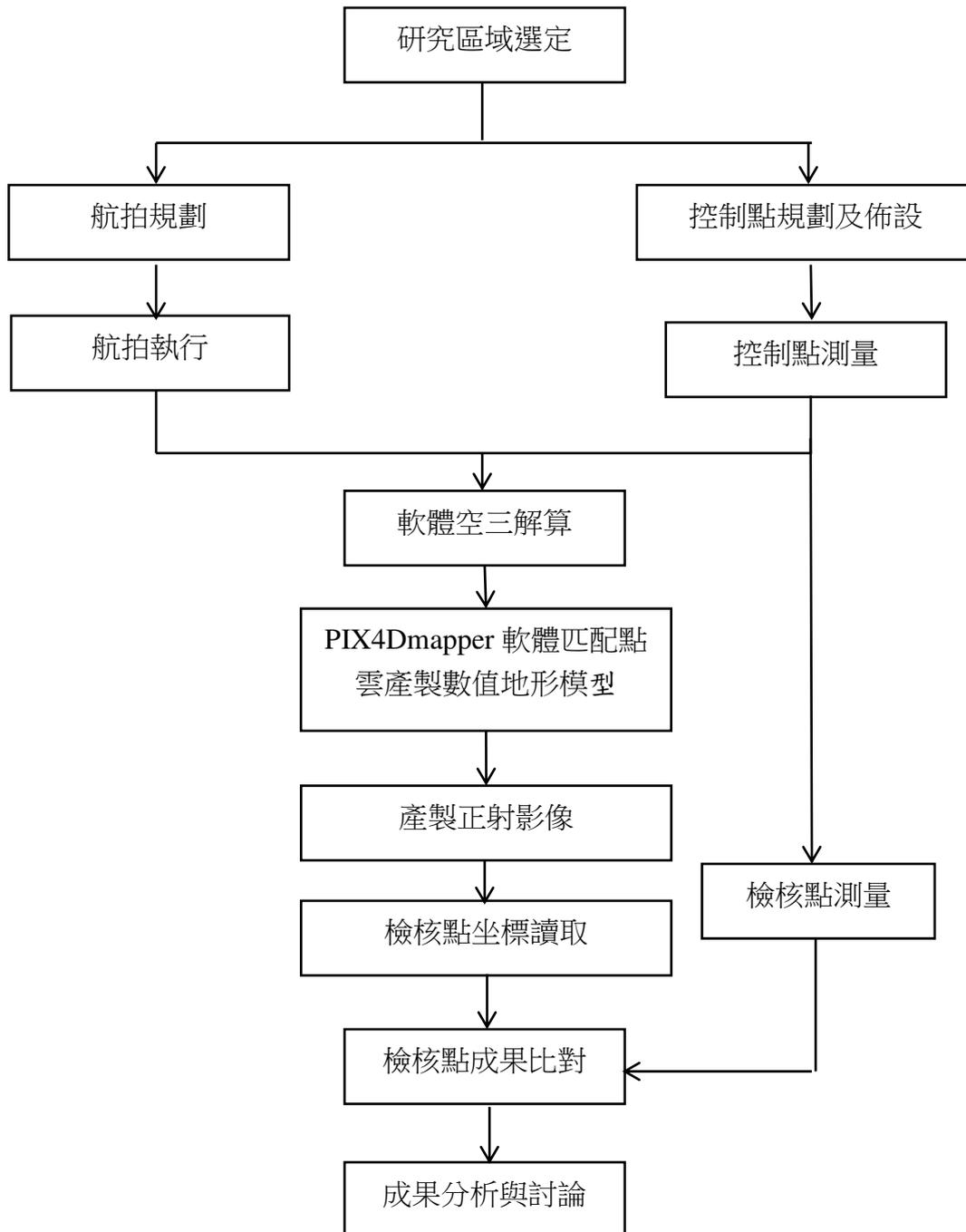


圖 1 航拍實驗流程圖

### (一) 研究範圍選定及航測標佈設

本研究基於探討 UAV 航拍影像運用於未辦地籍整理地區現況測量之可行性，乃選定新北三峽橫溪地區已辦地籍整理之佳興段與未辦地籍整理之橫溪段頂寮、坪林及溪南小段部分相毗鄰區域為航拍作業區域如圖 2 所示。比對無人機航拍正射影像測繪現況成果地形絕對地理位置與以數值法方式辦竣地籍整理地區地籍圖經界間差異情形，再以未辦理地籍整理區域驗證其可行性，實驗區域在地籍上的概略位置如圖 3 所示。



圖 2 實驗區域 Google 影像圖



圖 3 實驗區域地籍範圍圖

## (二) 航測標佈設

本實驗航測標佈設方式，參考內政部國土測繪中心基本圖測製佈設原則，除範圍四周外，於中央區域亦均勻設置，另於範圍外邊緣處亦預備性設置部分點位，總計共佈設航測標 18 處，如圖 4。

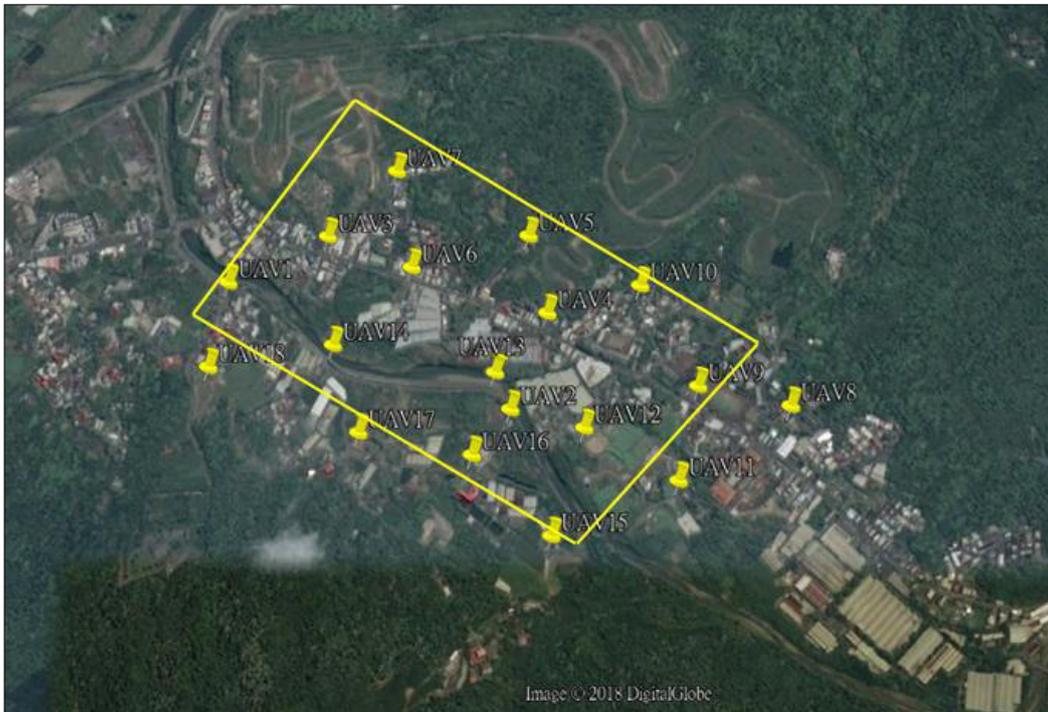


圖 4 航測標分佈圖

## (三) 地面控制點測量與檢核點選定

採內政部國土測繪中心 e-GNSS 系統以 VBS-RTK 方式定位坐標成果，平面精度品質控制指標 1.5cm，高程精度品質控制指標 3cm，Fix 收斂時間設定為 180 秒求解，重覆觀測 3 次無明顯差異時，取 3 次平均值，於不同時段以相同方式重新量測 1 次，比對 2 次成果無明顯差異，以平均值作為最終點位成果。本實驗航拍正射影像精度驗證方式，係於航拍範圍內選取易於影像成果內判讀之地形地物特徵點，比對地面儀器量測座標值與正射影像上量測之座標差異，選擇較易辨識之特徵點地包括道路標線角、水泥護欄角、屋角、水溝蓋角等。

## (四) 航拍規劃

本實驗 UAV 航高及航線規劃之考量，係以正射影像精度能符合未辦地籍整理地區現況測量精度要求為目標。另為確保成果可靠度及航拍面積範圍效率，航高規劃在 100m~200m 間，拍攝重疊率為前後重疊 80%，側向重疊 70%，影像地面解析度 5cm 以下。各 UAV 航拍作業係依當時天候狀況即時設定航高及地面解析度(GSD)條件執行航拍作業，本實驗 3 款 UAV 之航拍重疊率、航高、GSD 如表 4 所示。航拍航線形採傳統 S 形式，航線規劃情形以 eBee Plus 為例，如圖 5。

表 4 UAV 航拍設定值一覽表

UAV		EBeE Plus	Falcon 8	AI-RIDER AI-1100-QC
照片重疊率	前後重疊率(%)	80		
	側向重疊率(%)	70		
航高(m)		122	143	197
GSD(cm)		2.8	2.5	5

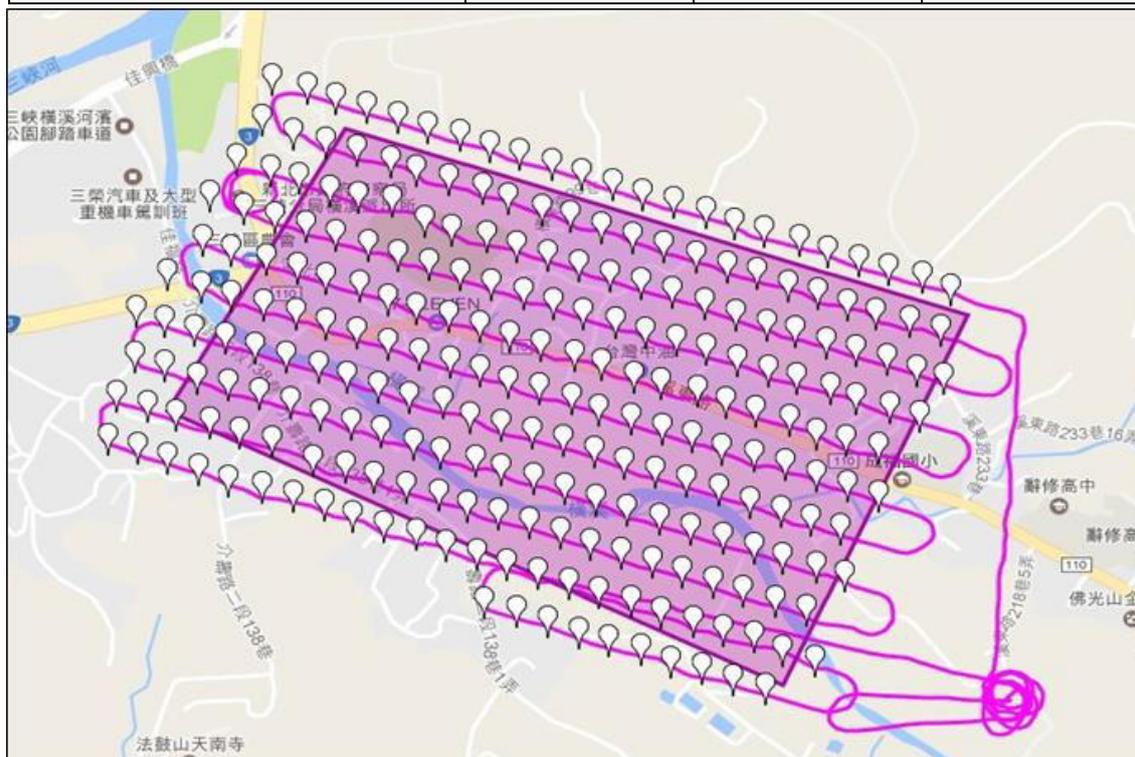
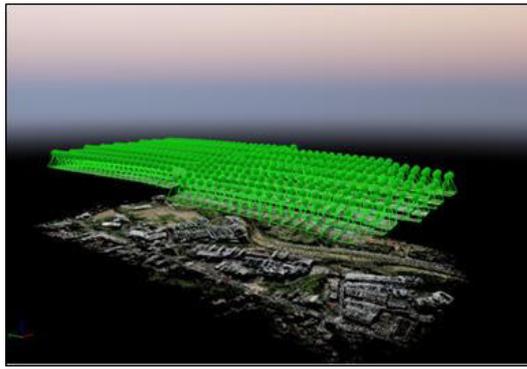


圖 5 eBee Plus 航線規劃

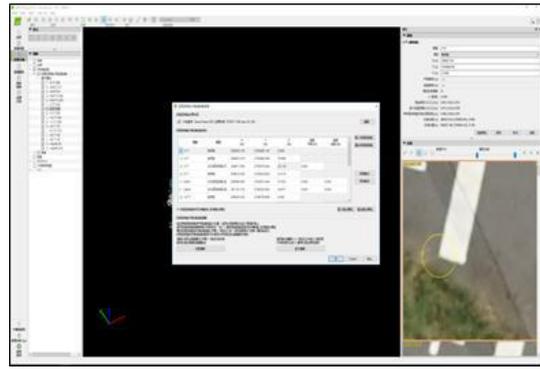
#### 四、實測成果分析與討論

##### (一) 影像資料處理

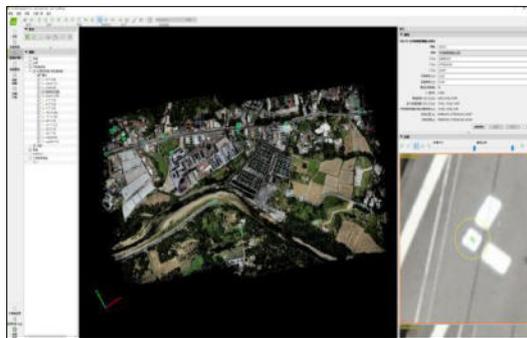
航拍影像資料處理採用 Pix4Dmapper 軟體，可自動或手動選取相片中共軛點進行空三計算；空三計算採自率光束法辦理後，再據以產製 DSM 模型及正射影像，流程如圖 6，先由電腦視覺自動匹配連結點並產生稀疏點雲(圖 6(a))，之後匯入控制點控標，如圖 6(b) (c)，完成之空三成果圖示如圖 6(d)。



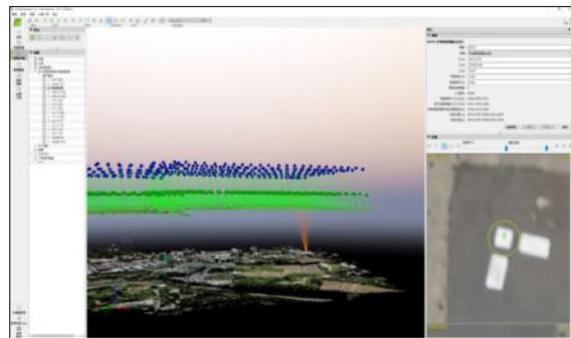
(a) 初始點雲模型



(b) 匯入地面控制點



(c) 航測標匯入後分佈位置



(d) 空三完成圖示

圖 6 Pix4Dmapper 空中三角計算處理

軟體成果產出後會併同產製品質報表供查對品質內容，包括影像地面解析度、成果範圍總面積等，亦包括像主點改正數、像片點雲匹配數量、像機鏡頭內方位改正數相關資訊。經依程序處理後最後產出之實驗 3 款 UAV 航拍影像經 Pix4Dmapper 處理後所獲正射影像成果如圖 7 至圖 9，其地面解析度 GSD、面積、飛行航拍時間及相片數量如表 5 所示。



圖 7 eBee Plus 正射影像成果



圖 8 Falcon 8 正射影像成果



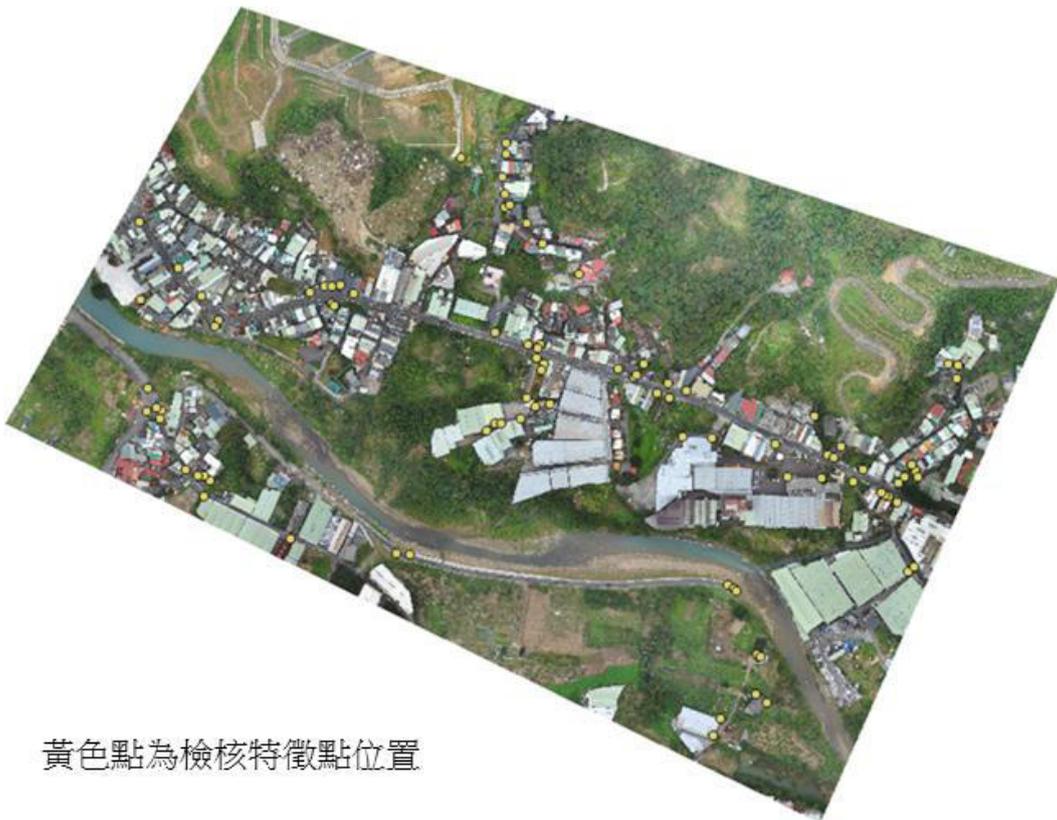
圖 9 AI-RIDER AI-1100-QC 正射影像成果

表 5 三款 UAV 成果 GSD、航拍面積、時間及相片數量表

UAV	GSD(cm)	航拍時間 (min)	照片張數	面積(ha)
eBee Plus	4.63	42	246	122.34
Falcon 8	2.0	56	464	36.6
AI-RIDER AI-1100-QC	2.89	74	163	52.79

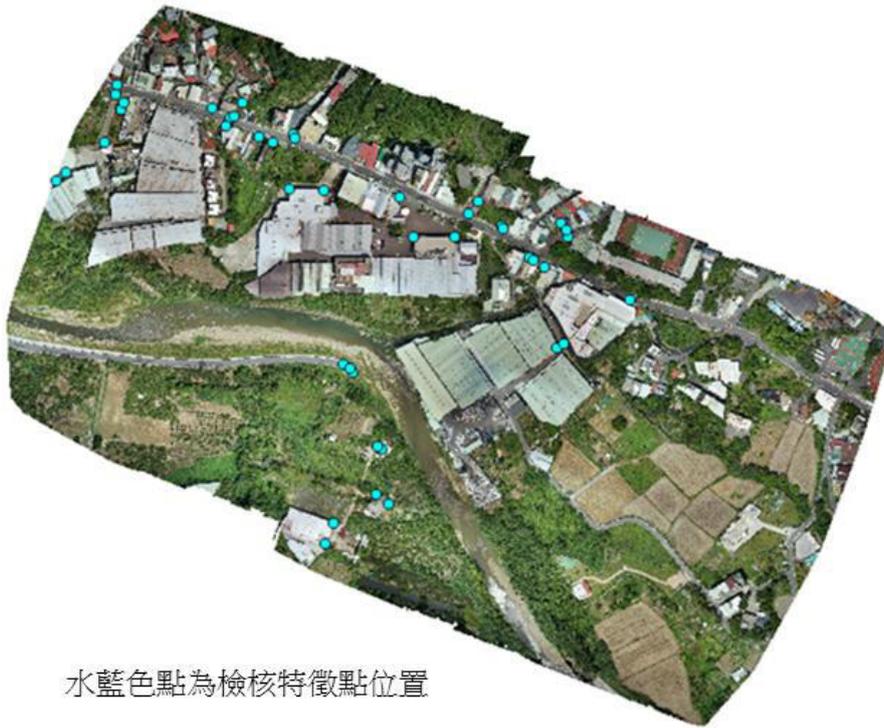
## (二) 影像成果精度分析

UAV 航拍方式所產製之正射影像其精度是否符合作為未辦地籍整理地區現況測量使用；因此，就原已選定之特徵檢核點，判讀於正射影像成果內位置並讀取其座標，特徵檢核點於 3 種正射影像成果內分佈位置如圖 10 至圖 12 所示，eBee Plus 檢核 94 點，Falcon 8 檢核 43 點，AI-RIDER AI-1100-QC 檢核 56 點。經比對各特徵檢核點正射影像結果，eBee Plus 差異值介於 0.8~17.8cm，Falcon 8 差異值介於 2.4~33.9cm，AI-RIDER AI-1100-QC 差異值介於 2.1~25.9cm。將差異值予以劃分區間，進一步統計分析特徵檢核點於各差異值區間數量分布如圖 13 所示，再將 3 種正射影像成果相互比對如圖 14 所示。本研究使用的 eBee Plus、Falcon 8 及 AI-RIDER AI-1100-QC 等 3 款 UAV 檢核特徵點影像與地測差異結果，平均誤差(Mean Error)依序分別為 5.4cm、13.2cm、8.2cm，標準誤差(Standard Error) 依序分別為 6.6cm、15.1cm、9.7cm，詳如表 6 所示。本實驗 3 款 UAV 正射影像成果，所有特徵檢核點影像與實測較差值均小於按地籍測量實施規則第 75 條規定，未辦地籍整理地區之地籍圖比例尺為 1/1200 之容許誤差 36cm，可作為未辦地籍整理地區現況測量圖資使用。



黃色點為檢核特徵點位置

圖 10 eBee Plus 特徵檢核點位置



水藍色點為檢核特徵點位置

圖 11 Falcon 8 特徵檢核點位置



桃紅色點為檢核特徵點位置

圖 12 AI-RIDER AI-1100-QC 特徵檢核點位置

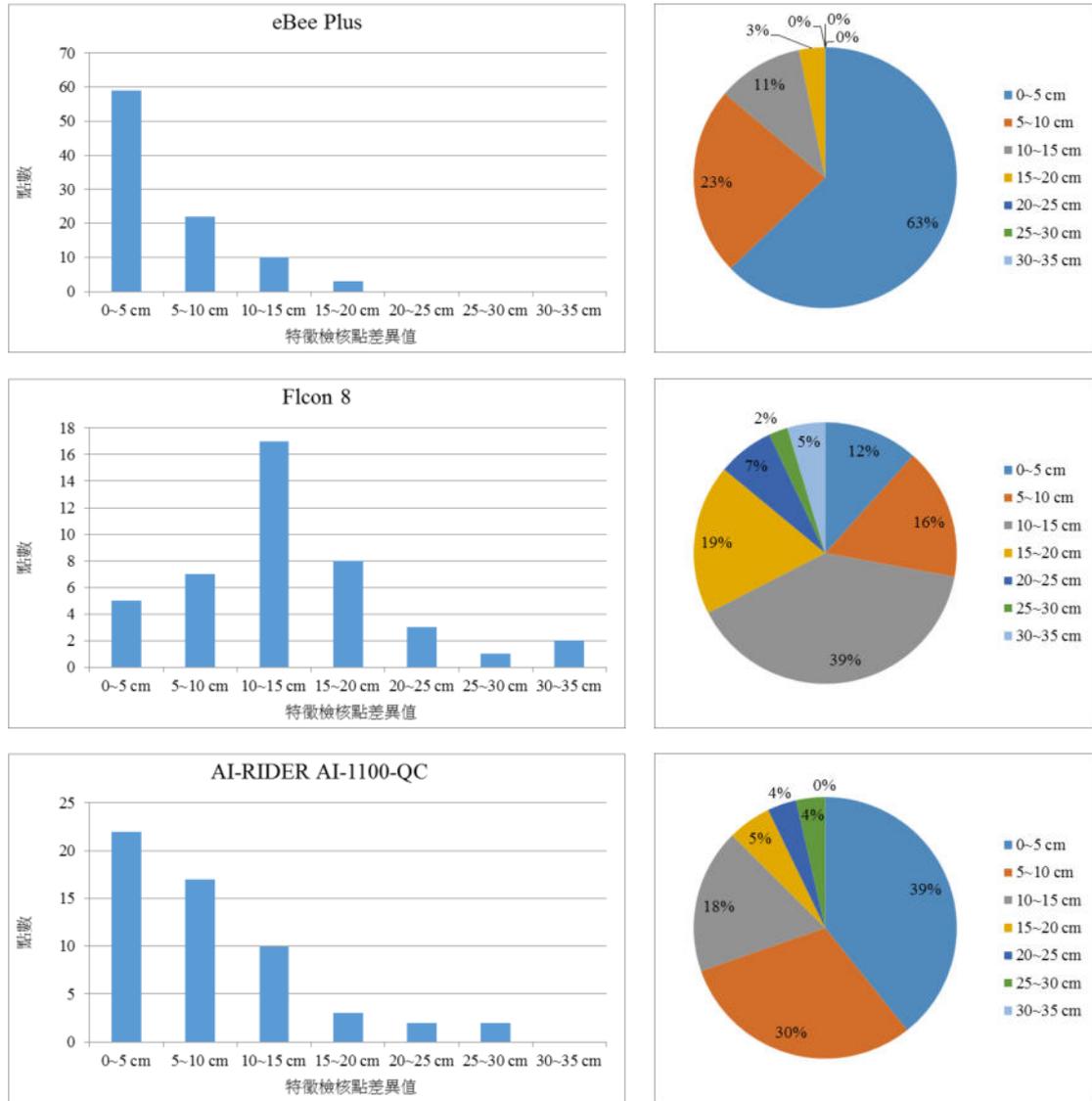


圖 13 各差異值區間點位數量分佈圖

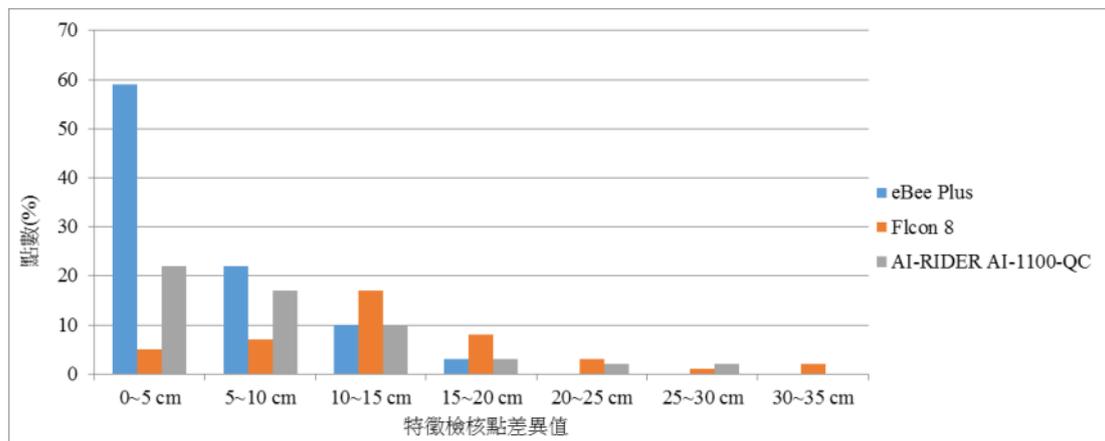


圖 14 各差異值區間特徵檢核點數量比較

表 6 平均誤差與標準誤差

UAV 機型	平均誤差	標準誤差
eBee Plus	5.4c m	6.6 cm
Falcon8	13.2 cm	15.1 cm
AI-RIDER AI-1100-QC	8.2 cm	9.7 cm

(三) 正射影像與地籍圖套疊

1.正射影像套疊數值區地籍圖成果分析

本實驗正射影像使用的座標系統與實驗區內已辦竣地籍整理區域坐標系統相同，將正射影像成果與數值地籍圖套疊。另依地籍資料選取經界線，以現地地物(如牆壁、圍牆、水溝、駁坎、圍籬等)為界者，再由影像上讀取地物座標，計算與地籍線之差異值，圖 15 所示影像係由 eBee Plus 空拍製作，共計選取檢核點 196 點。經比對影像點位與地籍經界線垂距結果，於各差距量區間點數分佈情形如圖 16，結果差距值均符合未辦地籍整理地區容許誤差範圍，整體平均誤差為 6.8cm，遠小於誤差容許值，進一步印證利用 UAV 航拍方式所製作之正射影像成果可作為未辦地籍整理地區現況測量圖資使用。

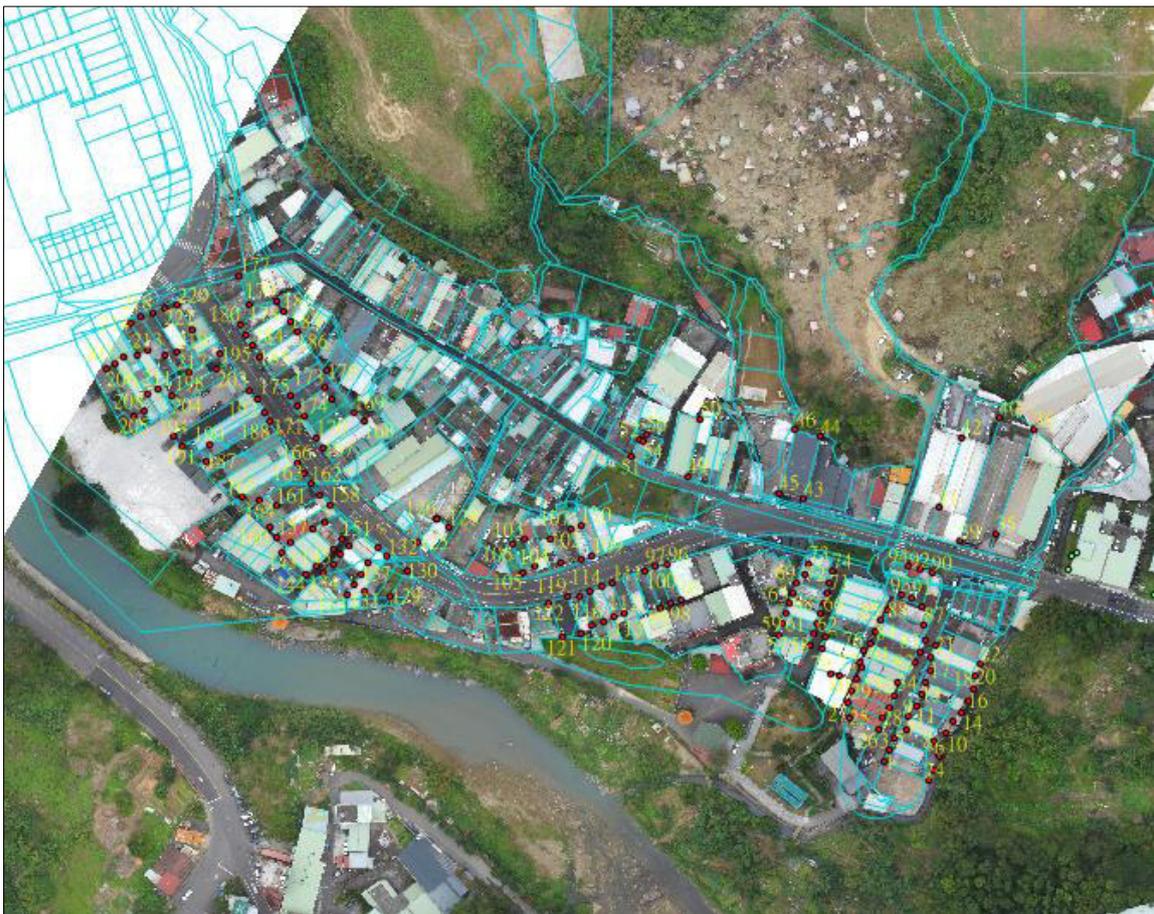


圖 15 檢核點分佈位置圖

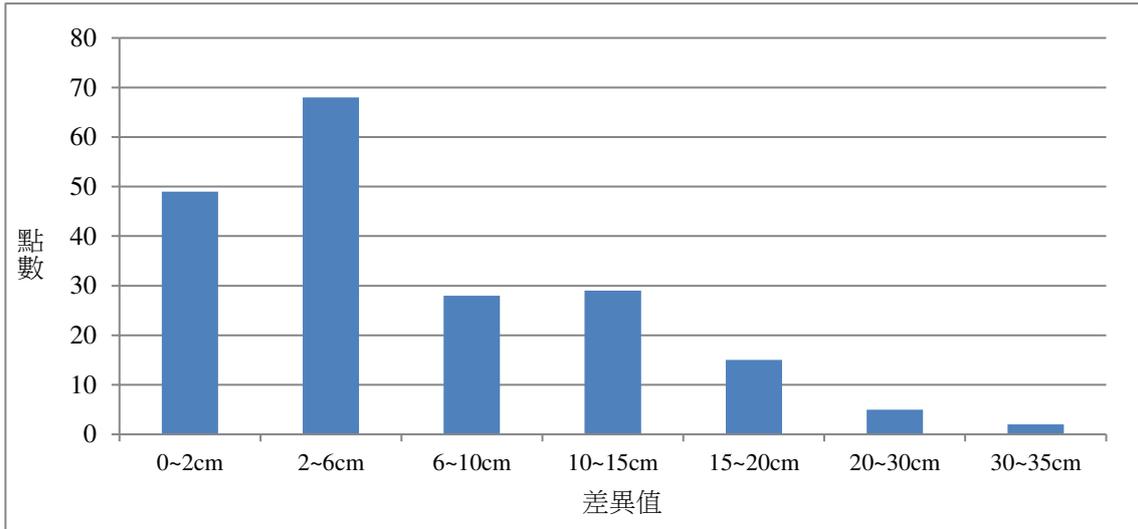


圖 16 各差異值區間檢核點分佈數量

## 2. 正射影像套疊未辦地籍整理地區地籍圖成果分析

正射影像成果精度經驗證已符合未辦地籍整理地區精度要求，現直接利用作為現況測量成果與範圍內地籍圖辦理套疊作業，套圖方式則依現地政機關未辦地籍整理地區套圖作業方法辦理，套疊後之結果如圖 17。

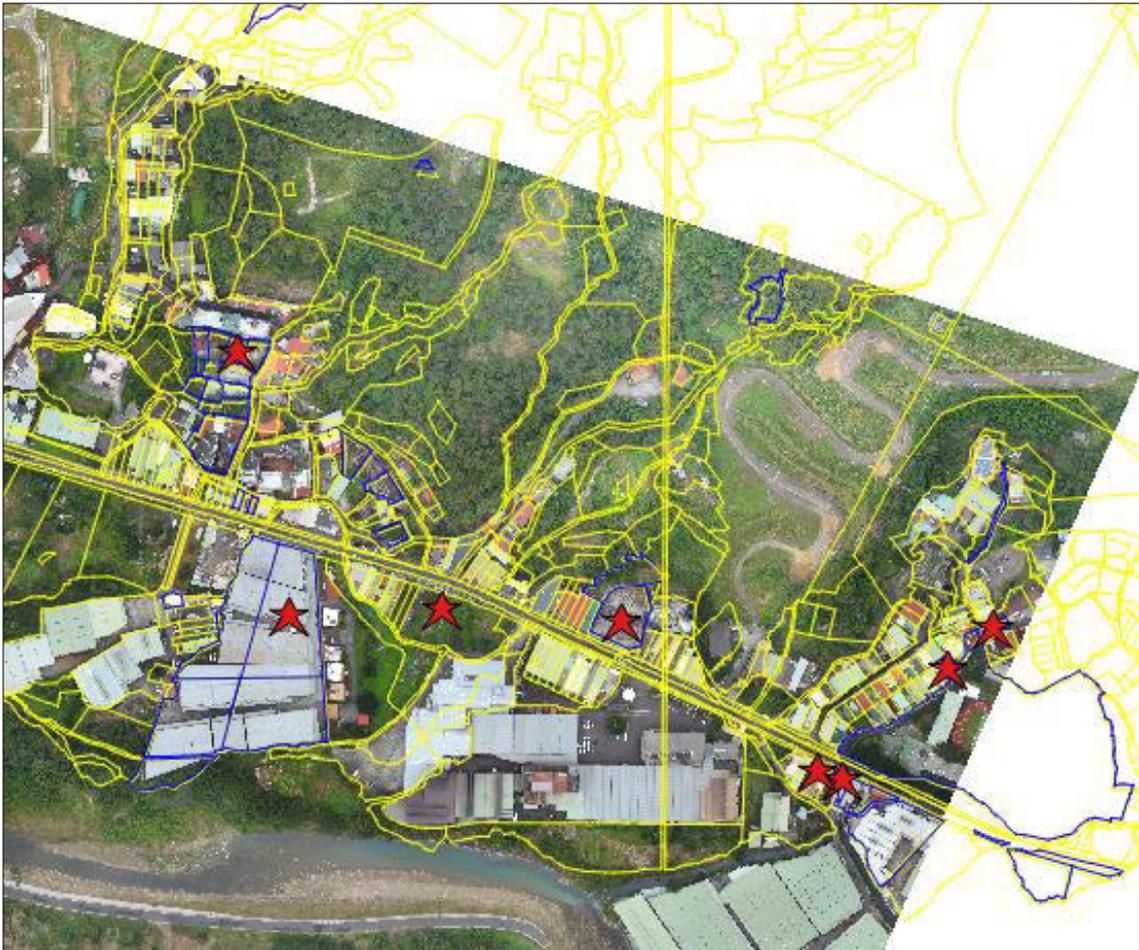


圖 17 正射影像套疊未辦地籍整理區地籍圖成果

套疊成果經與範圍內 8 處複丈記錄，有 7 處較差值小於法令規定容許誤差，成果屬相符一致，有 1 處不符。經分析不符情形，原複丈成果偏差原因係辦理現況測量時，未能施測較完整地形導致套疊偏差，以正射影像作為套疊圖資，可彌補原現況測量不足之處，避免套圖偏差情形發生。故正射影像成果作為現況圖資，運用於未辦地籍整理地區複丈套圖作業，驗證結果確實可行。

#### (四) 與傳統現況測量效率分析

目前地政機關辦理未辦地籍整理地區現況測量，採 1 組 3 人之人力配置，使用全測站經緯儀及 GPS 定位儀以地面測量方式辦理，作業內容包括控制測量、現況測量及資料整理等。將控制測量作業時間排除不予計算，每組每日可測約為 3 公頃左右之現況點，以本實驗 3 款 UAV 航拍之範圍分別約為 36、52、122 公頃計算，須耗時約 12 至 41 個工作日。本實驗以 UAV 航拍產製正射影像之作業方式，所須人力同樣配置 3 人，在控制測量部分，UAV 航拍較傳統測量方式增加航測標佈設工作，約增加 1 工作日，至現實地點位測量作業，二者花費時間無太大差異概略相同。另現場自航拍規劃至航拍完竣，3 款 UAV 皆可於 1 日內完成故以 1 日計，影像資料處理至產製正射影像約需 1 至 2 日，檢核點施測及比對作業約需 2 至 3 日，扣除控制測量實地施測時間，本實驗總作業時間約 5 至 7 日，與地面測量作業所需時間相比較，UAV 航拍產製正射影像之作業方式相對快速有效率。

### 五、結論與建議

#### (一) 結論

1. 比對無人機航拍製作正射影像上特徵點地面座標與地面特徵檢核點正射影像與實際地面量測座標，所有點位差值均符合未辦地籍整理地區測量誤差容許範圍，本實驗研究 3 種正射影像平均誤差及標準誤差，皆小於未辦地籍整理地區比例尺 1/1200 測量容許誤差 36cm，符合現況測量圖資精度之要求。
2. 已辦竣地籍整理地區地籍圖與正射影像套合結果，檢核點正射影像上量測之地面座標與地籍圖經界線垂距較差皆小於 36cm，平均誤差 6.8cm，確認正射影像成果於絕對座標精度上可符合要求。
3. 在現況圖資量測效率上，UAV 航拍製作正射影像所需時間明顯較傳統地面測量方式快速有效率。

#### (二) 建議

1. 現行未辦地籍整理地區複丈案件辦理相關法令，尚未就傳統地面測量作業程序其他可參用資料有明文規定，為利 UAV 航拍方式製作正射影像能有效運用，應就現有法令予以增訂相關規範。
2. 空中三角解算之航測標於航拍範圍內分佈作業影響正射影像成果之絕對座標精度甚鉅，航測標佈設作業常受限於地點之限制，較耗費作業時間，為使此高

解析度之正射影像能具備實務所需之絕對座標成果，可否利用具與航測標相同特性，明顯易於影像照片上判讀之地形地物點，量測其絕對坐標值，作為空中三角解算之地面控制點，以補航測標佈設之不足，有效提升空中三角解算精度及效率。

### 參考文獻

- Sim S. and D. Song, 2018, Evaluation of cadastral discrepancy and continuous cadastral mapping in coastal zone using unmanned aerial vehicle, *Journal of Coastal Research*, 85(sp1), pp.1386-1390.
- Crommelinck S., R. Bennett, M. Gerke, M. Y. Yang and G. Vosselman, 2017, Contour detection for UAV-based cadastral mapping, *Remote Sensing*, 9(2), pp. 171-183.
- Lin T. Y., H. L. Lin and C. W. Hou, 2018, Research on the production of 3D image cadastral map, *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention(ICASI)*, pp. 259-262.
- 林耀宗、闕文鏈、顏怡和，2015，應用無人飛行載具(UAV)辦理 1/1000 地形圖測繪實例探討，《中華技術》，第一零七期，頁 128~138。
- 邱式鴻、顏怡和、丁育群，2014，旋翼型 UAV 影像局部重測都市區千分之一地形圖之研究，《臺灣土地研究》，第十七卷第二期，頁 57-88。
- 施錦揮、游政恭、蔡季欣、林志清、劉正倫、林燕山，2010，《應用無人飛行載具(UAV)技術輔助辦理測繪圖資成果更新作業之研究》，內政部國土測繪中心。
- 陳靜茹、盧韋勳、李孟學、江文山、吳永基，2016，應用無人機於三維地形量測與正射影像精度之探討-以綠島為例，《第 38 屆海洋工程研討會暨科技部計畫成果發表會》。
- 黃美甄，2014，《地面控制點對無人飛行載具數值地形模型精度影響之評估》，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
- 楊一中、蕭松山、方惠民、王星宇、黎建賢，2018，UAV 影像應用於沙灘地形測繪之研究，《第 40 屆海洋工程研討會》。
- 蕭震洋、安軒霏、陳俊愷、饒見有、陳樹群，2015，應用 UAV 量化臺東金崙溪河川型態演變及致災特性，《中國土木水利工程學刊》，第二十七卷第三期，頁 213-222。



## 水庫船載重力精進台灣大地起伏模型之可行性研究

蕭宇伸<sup>1</sup>、林世峰<sup>2</sup>、鄭詠升<sup>3</sup>

論文收件日期：107.03.12

論文修改日期：107.04.30

論文接受日期：107.06.05

### 摘要

本文模擬曾文水庫與石門水庫區域於枯水期及豐水期之重力異常模型，並計算大地起伏模型，以評估台灣實施水庫船載重力任務之必要性。依研究區域與不同水位分成 8 個案例，並分別以向上延續法模擬各案例在不同水位之重力異常模型，再藉由球諧展開式、剩餘地型模型理論及最小二乘配置法計算其長波長、短波長與殘餘波長之大地起伏，進而整合成各案例之最終大地起伏模型。結果顯示：(1)石門水庫之水位每上升 10 公尺，重力異常平均減少約 0.2~0.3 mgal；(2)石門水庫計算之大地起伏於枯水期與豐水期之差異平均約介於 0.5~1.0 公分，部分區域可達 10 公分；(3)曾文水庫之水位每上升 20 公尺，重力異常平均減少約 0.1 mgal；(4)曾文水庫計算之大地起伏於枯水期與豐水期之差異平均約低於 0.5 公分；(5)石門水庫實施水庫船載重力測量任務之重要性高於曾文水庫。

**關鍵詞：**大地起伏、重力異常、船測重力

---

<sup>1</sup> 副教授，國立中興大學水土保持學系。

<sup>2</sup> 碩士生，國立中興大學水土保持學系。

<sup>3</sup> 研究助理教授，逢甲大學水利工程與資源保育學系。

\* 通訊作者，TEL: (04)22840381 轉 101，E-mail: [yshsiao@nchu.edu.tw](mailto:yshsiao@nchu.edu.tw)。

# A feasibility Study on Enhancing Taiwan geoid model with Shipborne Gravity on Reservoirs

Yu-Shen Hsiao<sup>1</sup>, Shih-Feng Lin<sup>2</sup>, Yung-Sheng Cheng<sup>3</sup>

## Abstract

We simulate the Taiwan gravity anomaly models over the Tseng-Wen and Shihmen reservoir areas during the high and low water level periods, to assess necessity of shipborne gravity campaigns in Taiwan. Eight cases are tested based on study areas and water levels. The gravity anomaly model of each case is computed with the upward continuation method. We also use the methods of the harmonic expansion, the residual terrain model, and the least squares collocation to compute the long-, short- and residual- geoid undulations, and then integrate into a final geoid model for each case. The results of this paper include: (1) The average gravity anomaly is reduced by 0.2 ~ 0.3mgal while the water level rise by 10 m in the Tseng-Wen reservoir; (2) The difference value between the geoid undulations in the Shihmen reservoir during the high and low water level periods averages about 0.5 ~ 1.0 cm, but in some areas up to 10 cm. (3) If the water level rises by 20 meters in the Tseng-Wen reservoir, the gravity anomaly is reduced by 0.1 mgal on average; (4) The difference value between the geoid undulations in the Tseng-Wen reservoir during the high and low water level periods averages about 0.5 cm; (5) The Shihmen reservoir is higher than the Tseng-Wen reservoir in necessity of shipborne gravity campaigns.

**Keywords:** Geoid undulation, Gravity anomaly, Shipborne gravity

---

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University.

<sup>2</sup> Master Student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University.

<sup>3</sup> Research Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University.

\* Corresponding Author, Tel: +886-4-22840381#101, E-mail: [yshsiao@nchu.edu.tw](mailto:yshsiao@nchu.edu.tw).

## 一、前言

大地起伏之定義為橢球面與大地水準面之差異，在多個科學領域中廣受應用，例如：(1)在測地學領域中，大地水準面為正高系統的基準面，也用於提供海島國家島與島的高程基準作準確連接(黃啟訓，2013)；(2)在地球科學領域中，透過精確的大地起伏值將全球定位系統(Global Positioning System, GPS)測量及水準測量等資料，可用於研究長時間之地殼垂直運動；(3)在海洋學領域中，高精度的大地起伏值常用於精確的洋流速度、方向與海洋地形等計算。因此無論在測地、地球科學與海洋學界，大地起伏皆扮演極重要角色，而國際大地測量協會亦創建大地起伏的服務組織，目前已完成歐盟、非洲、東南亞、南美等地區的高精度大地水準面。例如美國最新的大地起伏模型是 GEOID12A 模型(Wang et al, 2012)；日本於 2005 年推出新大地起伏模型(Kuroishi and Keller, 2005)；台灣於 2014 年由內政部(黃金維等，2013)公告之大地起伏模型等。目前大地起伏在台灣主要應用有二，分別為(1)大地起伏結合 GPS 應用於高程測量，藉此取代傳統的水準測量，而此觀測法稱為高程現代化(許宏銳，2014)；(2)將航空攝影量或光達(Light Detection And Ranging, LiDAR)獲得高精度之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)或數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)，從橢球高系統轉換為正高系統。以 LiDAR 技術獲得之高程為例，其所獲得之橢球高程精度可達 15 公分(Hodgson and Bresnahan, 2004)，但若採用大地起伏模型之精度不佳，則轉換之正高將受影響。

台灣大地起伏計算約從 90 年代開始(Tsuei, 1995)，早期僅用陸測重力結合船載重力進行計算(Hwang, 1997; 國立交通大學, 2001; 國立交通大學, 2003)，隨著更多陸測、船載與空載重力等資料陸續蒐集，有更多大地起伏計算的研究出現，例如國立交通大學(2005), Hwang et al. (2006), Hsiao and Hwang (2010)和 Hsiao et al. (2017)等。因此，台灣過去數十年來已蒐集了陸測、船測、空載與衛星測高等不同觀測來源的重力資料。以 Hsiao and Hwang (2010)之研究結果為例說明，該研究結合陸測、船載與空載重力異常資料計算台灣大地起伏模型，在平原區域可達公分級的精度，在山區則可達到 10~20 公分級的精度。然而空載重力無法直接獲取地表上之重力，在大地起伏計算時，必須透過向下延續法將空載觀測之重力化算至地表與陸測重力進行聯合解算，而向下延續將會降低空載重力的精度。即便台灣已擁有均勻分布的空載重力資料，在台灣山區大地起伏模型卻很難優於 10 公分以下的精度(許宏銳，2014)。

因此要獲取優於 10 公分精度等級之台灣山區大地起伏模型，最佳的方法為透過山區陸測重力來獲取密集之山區陸測重力異常值。然而台灣山區之地形崎嶇，往往很難獲取完整之山區陸測重力。即便可獲得，但此方法仍然有限制，舉例來說，在水庫區域就無法獲取陸測重力值，除非於水庫採用船載重力觀測方式。然而因台灣降雨季節集中在夏季，即便透過船載方式觀測水庫區域之重力資料，隨著水庫之水位在汛期與旱期將有不同之水位，以曾文水庫為例，豐水期(每年 9 月)與枯水期(每年 3 月)之水位差可達 40 公尺以上。因此，本研究將模擬曾文水庫與石門水庫於

水庫豐水期與枯水期之重力異常值與大地起伏值，來評估未來台灣於重要水庫實施船載重力測量之必要性。

## 二、研究資料

本文在曾文水庫與石門水庫採用的最低水位面重力異常值來自 Hwang et al. (2014)計算之重力異常模型，此重力異常模型之資料來源包括目前台灣擁有的陸測、船測、空載重力異常值與衛星測高反演之重力異常值所組成。資料來源分述如下：

(一) 陸測重力異常資料包含中央研究院地球科學研究所於 1980-1987 年間選擇 603 個測量基準點進行重力站異常觀測(Yen et al., 1990; Yen et al., 1995)；中國測量學會於 1986-1988 年間蒐集 276 筆之重力異常資料(黃金維等，1998)；中國測量學會於 1997-1999 年間蒐集 747 筆之重力異常資料(黃金維等，1998)；內政部於 2000-2001 年間辦理的 1010 個一等一級水準點觀測之重力異常資料(國立交通大學，2001)；內政部於 2002-2003 年間辦理的 1189 個一等二級水準點觀測之重力異常資料(國立交通大學，2003)；內政部於 2004~2006 年間辦理的 4500 點一、二等重力測量工作(中興測量公司，2006)。

(二) 船測重力異常資料包含美國國家海洋與大氣機構(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)提供的資料；Hsu et al. (1998)蒐集的資料；內政部於 2006~2008 年辦理針對台灣離島(和平島、龜山島、小琉球、蘭嶼與綠島等)周邊海域實施船載重力測量資料(國立交通大學，2008b)；內政部國土測繪中心於 2011-2013 年辦理針對台灣近岸海域蒐集之船載重力資料(國立交通大學，2014)。

(三) 空載重力異常資料包含內政部辦理的台灣「空載重力測量工作」重力資料(國立交通大學，2005)；內政部 2006-2008 年續辦理「低航高空載重力測量工作」重力資料(國立交通大學，2008a)；內政部 2008-2009 年所辦理「西部及東沙海域空載重力測量工作」重力資料(國立交通大學，2009)。

(四) 衛星測高資料包含 Geosat/GM、ERS-1/GM、Jason-1/GM、Topex/Poseidon 及 Cryosat-2 等任務。

上述不同來源資料除衛星測高資料外，皆為重力觀測數據，而測高衛星原始之觀測數據為海水面高，Hwang et al. (2014)採用 Inverse Vening Meinesz 方法將測高衛星觀測之海水面反演成海洋重力異常，以利後續大地起伏之計算。

## 三、研究方法

因水庫水面位置之重力異常值隨著不同水位高低而有不同。故本文利用 Hwang et al. (2014)計算之重力異常模型為基礎，假設此模型為研究區域最低水位面之重力異常模型。因此重力異常模型空間解析度僅 30 弧秒，需先利用 GMT 軟體重新取樣成空間解析度 3.6 秒(0.001 度)網格，再利用向上延續法(Buttkus, 2000)來推估不同水位面之重力異常值，最後用以計算大地起伏值。本文計算步驟介紹如下：

### (一) Step 1：去除回復法

本研究透過去除回復法，其原理如圖 1 所示，分別將重力異常  $\Delta g$  與大地起伏  $N$  分為長波長(低頻)、短波長(中頻)與殘餘波長(高頻)：

$$\Delta g = \Delta g_{long} + \Delta g_{short} + \Delta g_{res} \quad (1)$$

$$N = N_{long} + N_{short} + N_{res} \quad (2)$$

式中， $\Delta g_{long}$  與  $N_{long}$ 、 $\Delta g_{short}$  與  $N_{short}$ 、 $\Delta g_{res}$  與  $N_{res}$  分別為長波長重力異常值與長波長大起伏值、短波長重力異常值與短波長大起伏值、殘餘重力異常值與殘餘大地起伏值。

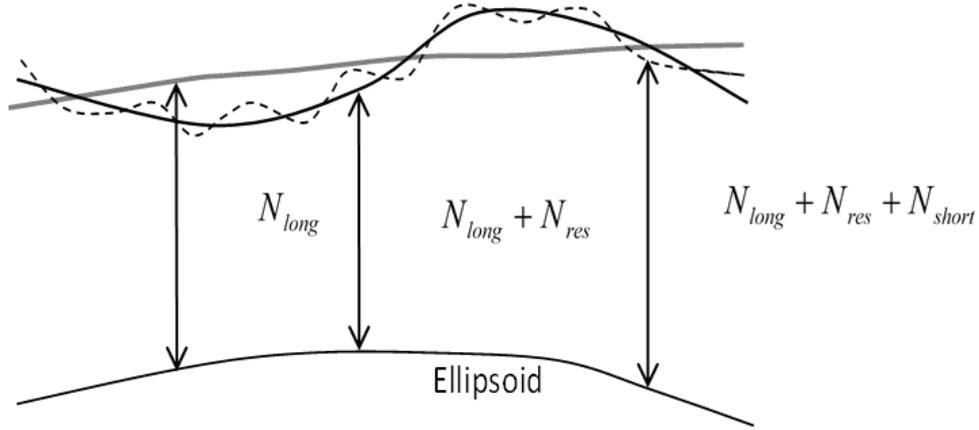


圖 1 長波長大起伏值、短波長大起伏值與殘餘大地起伏值示意圖

### (二) Step 2：球諧係數展開式

本研究利用 EGM2008 模型(Pavlis et al., 2008)展開至 360 階計算長波長重力異常值與長波長大起伏值，其球諧係數展開式(Heiskanen and Moritz, 1967)如下：

$$\Delta g_{long} = \frac{GM}{a^2} \sum_{n=2}^N (n-1) \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \phi) \quad (3)$$

$$N_{long} = \frac{GM}{a\gamma} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \phi) \quad (4)$$

式中， $R$  為地球半徑； $\phi$  與  $\lambda$  分別為欲計算點之經緯度； $C_{nm}$  與  $S_{nm}$  即為在第  $n$  與  $m$  階之球諧係數值。

### (三) Step 3：剩餘地形模型效應

本研究以剩餘地形模型(Residual Terrain Model, RTM)理論來計算短波長重力異常與短波長大地起伏效應，所謂 RTM 效應為真實地形面與參考地形面之差值。而短波長重力異常( $\Delta g_{short}(x_p, y_p)$ )與短波長大地起伏( $N_{short}(x_p, y_p)$ )在某計算點  $P$  之效應分別為(Forsberg, 1984)：

$$\Delta g_{short}(x_p, y_p) = 2\pi G \rho_1 (\bar{h} - \bar{h}_r) - c(x_p, y_p) \quad (5)$$

$$N_{short}(x_p, y_p) = \frac{G}{\gamma} \int_E \frac{\rho(x, y)(h(x, y) - h_r(x, y))}{\sqrt{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2}} d_x d_y$$

$$= \frac{G}{\gamma} [\rho(h - h_r)] * \frac{1}{r} = \frac{G}{\gamma} \rho_1 \left[ [\bar{h} - \bar{h}_r] * \frac{1}{r} \right] \quad (6)$$

式中， $\rho_1$ 是岩石之地質密度  $2.67 \text{ g cm}^{-3}$ ； $\rho_2$ 是海洋之地質密度  $1.03 \text{ g cm}^{-3}$ ； $\gamma$ 為正常重力異常； $h$ 及 $h_r$ 分別為真實地形高程與參考地形高程； $c(x_p, y_p)$ 為計算點  $P$  位置之地形改正值。

無論短波長重力異常值或大地起伏值，均採用快速複利葉轉換計算。本計算所使用的真實地形模型為 9 弧秒空間解析度之 DEM，而參考地形模型則為 6 弧分空間解析度之 DEM，所有 DEM 資料皆從農航所提供之 40 公尺空間解析度 DEM 重新取樣獲得。

#### (四) Step 4：計算殘餘重力異常

本研究計算出長與短波長的重力異常後，利用下式計算殘餘重力異常  $\Delta g_{res}$  為：

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{long} - \Delta g_{short} \quad (7)$$

式中， $\Delta g_{res}$  為殘餘重力異常； $\Delta g$  為不同水位之水面重力異常； $\Delta g_{long}$  為利用球諧展開式得到之長波長重力異常； $\Delta g_{short}$  為利用 RTM 方法得到之短波長重力異常。

#### (五) Step 5：最小二乘配置法

本研究以最小二乘配置法(least squares collocation, LSC)計算殘餘大地起伏  $N_{res}$ ，公式如下：

$$N_{res} = C_{ng} [C_{gg} + D]^{-1} \Delta g_{res} \quad (8)$$

式中， $C_{gg}$  and  $C_{ng}$  分別為殘餘重力異常( $\Delta g_{res}$ )與殘餘重力異常( $\Delta g_{res}$ )之間的協變方矩陣、與殘餘大地起伏( $N_{res}$ )與殘餘重力異常( $\Delta g_{res}$ )之間的協變方矩陣； $D$  為觀測量的雜訊矩陣(noise matrix)。各量之間的協變方矩陣以 EGM2008 參考場係數誤差與 Tscherning and Rapp (1974)誤差模型來計算。

#### (六) Step 6：計算大地起伏模型

最後將式 4、式 6 與式 8 分別得到之長波長大地起伏值、短波長大地起伏值、

殘餘波長大地起伏值進行加總，即可得到大地起伏模型。本文任何測試案例的大地起伏模型，皆比照此六個步驟流程進行計算。

#### 四、研究成果

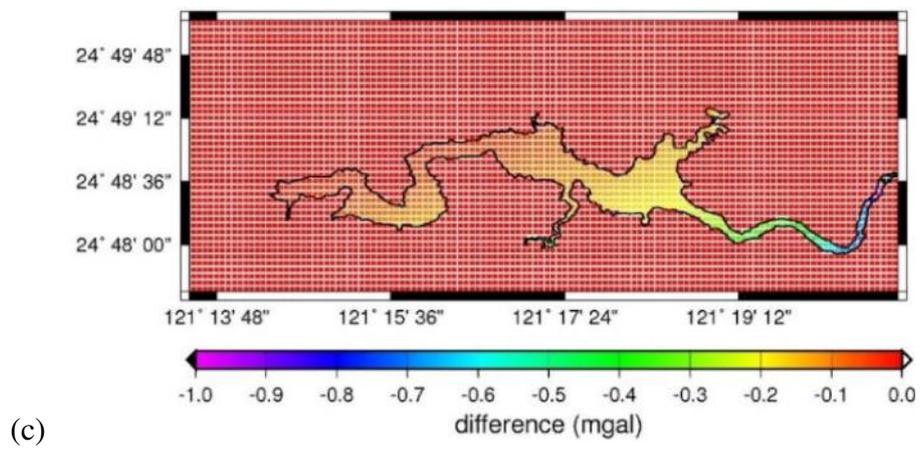
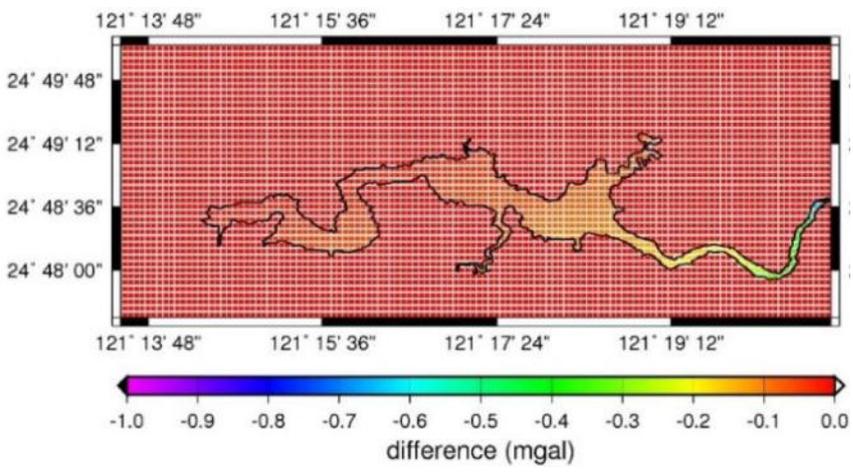
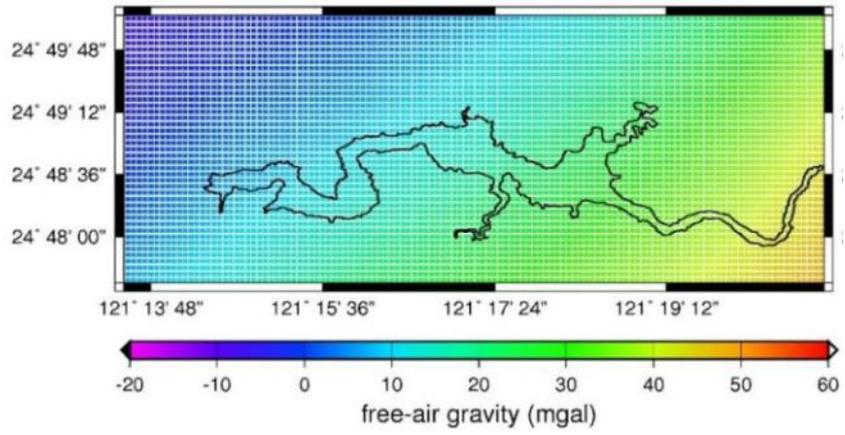
本文根據研究區域不同，分為三個部分進行討論，依序為石門水庫、曾文水庫及綜合討論。

##### (一) 石門水庫

研究中以 Hwang et al. (2014)提供於石門水庫中水面之重力異常假設為該水庫最低水位(case 1:220 公尺)之重力異常值，並利用向上延續法分別計算不同水位(case 2:230 公尺、case 3:240 公尺與 case 4:250 公尺)之重力異常值。在計算過程中，僅水庫水位變化位置處會被計算，而水庫周邊非水面位置則與 case 1 之重力異常值相同。各 case 重力異常值之差值統計如表 1 所示，由表中可發現，水面變化每上升 10 公尺，重力異常平均差值僅減少 0.01 mgal，然而此為整個石門水庫與周邊地形之平均結果。圖 2 為各 case 相關比較結果，各 case 均儲存為 3.6 弧秒空間解析度之網格，其中圖 2 (a)顯示石門水庫之重力異常值約介於-20~50 mgal 之間，且大致由西北向東南漸增；圖 2 (b)則顯示如果僅參考水庫水面位置，則重力異常值平均約減少 0.2~0.3 mgal。雖然表 1 僅顯示重力異常差值平均約 0.02 mgal，但從圖 2 (c)與圖 2 (d)可發現水面位置之重力異常差值均在 0.2 mgal 以上，若比較石門水庫最高水位(case 4)與最低水位(case 1)之計算結果，可發現在水庫右半邊上游集水區域均在 0.6 mgal 以上，甚至從表 2 中亦顯示兩 case 之重力異常最大差值可達 8 mgal (case 4-case 1)。

表 1 石門水庫各 case 重力異常模型之差值統計表(單位：mgal)

	最大值	最小值	平均值	標準偏差	均方根誤差
case2-case1	0.00	-2.96	-0.01	0.05	0.06
case 3- case 1	0.00	-5.70	-0.02	0.11	0.11
case 4- case 1	0.00	-8.08	-0.02	0.16	0.16



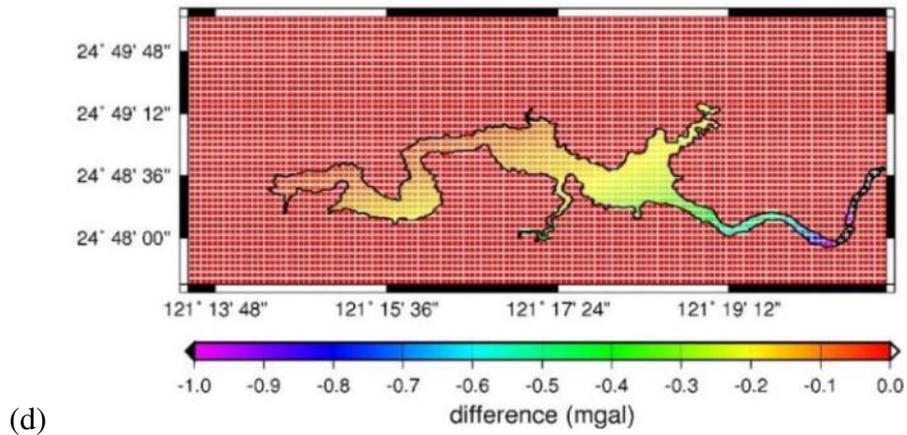
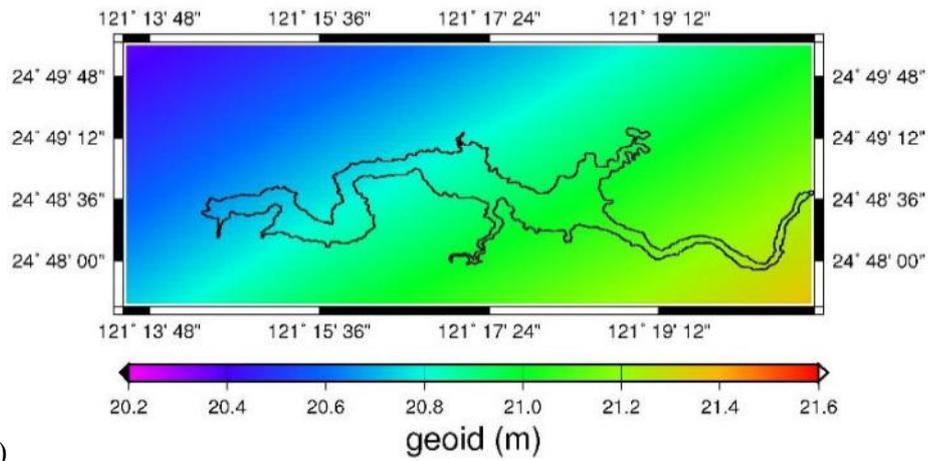


圖 2 石門水庫 cases 1 重力異常成果與不同 case 之重力異常比較成果，其中(a)為 case1 之成果；(b)case2 與 case1 相減之成果；(c)case3 與 case1 相減之成果；(d)case4 與 case1 相減之成果。

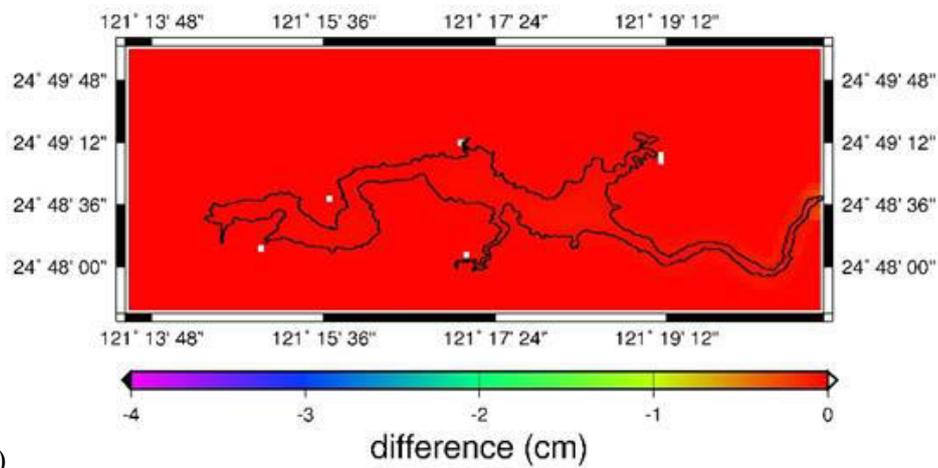
本文將 case1~4 之重力異常所計算得到之大地起伏模型進行比較，其結果如表 2 與圖 3 所示，其中圖 3 (a)為 case 1 得到之大地起伏模型，可發現石門水庫及周邊地形大地起伏值介於約 20~21.5 公尺，且大地起伏趨勢大致為由西北向東南逐漸增加，該大地起伏變化趨勢與石門水庫 case 1 之重力異常結果一致。圖 3(b)~(d)分別為「case 2 減 case 1」、「case 3 減 case 1」與「case 4 減 case 1」之大地起伏差異圖。以 case 1 減 case 2 為例，當水庫之水位上升 10 公尺，除水庫右邊上游集水區域外，其餘水面上之大地起伏變化量均小於 1 公分，僅水庫右邊部分區域達 3 公分之差值(如表 2 所示)。但若最高水位與最低水位的比較(即 case4 減 case1)，在多數水面區域大地起伏差值約 0.5~1.0 公分，最大差異於右邊上游集水區域(約 10 公分之差異量級)。此結果顯示石門水庫右邊上游集水區域的大地起伏差值於枯水期與豐水期是不可忽略的。

表 2 石門水庫各 case 大地起伏模型(單位：cm)之差值統計

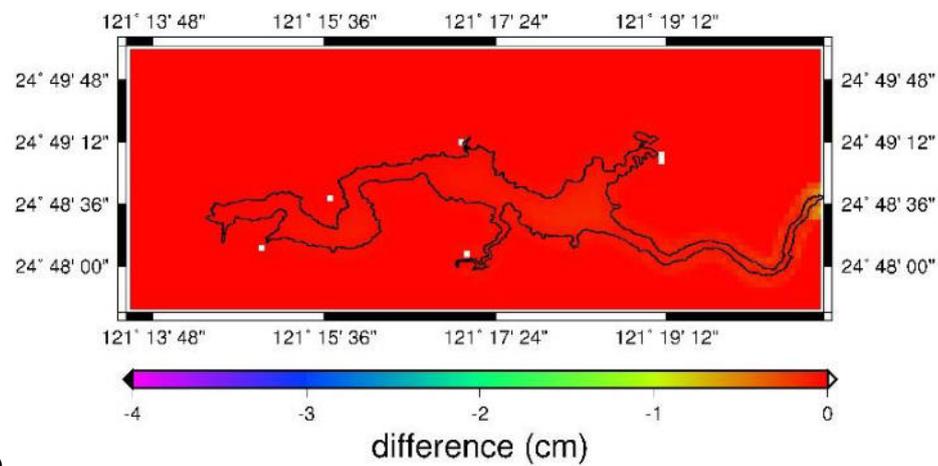
	最大值	最小值	平均值	標準偏差	均方根誤差
case2-case1	0.0	-3.5	0.0	0.0	0.0
case3-case1	0.0	-7.2	0.0	0.0	0.0
case4-case1	0.0	-10.1	0.0	0.1	0.1



(a)



(b)



(c)

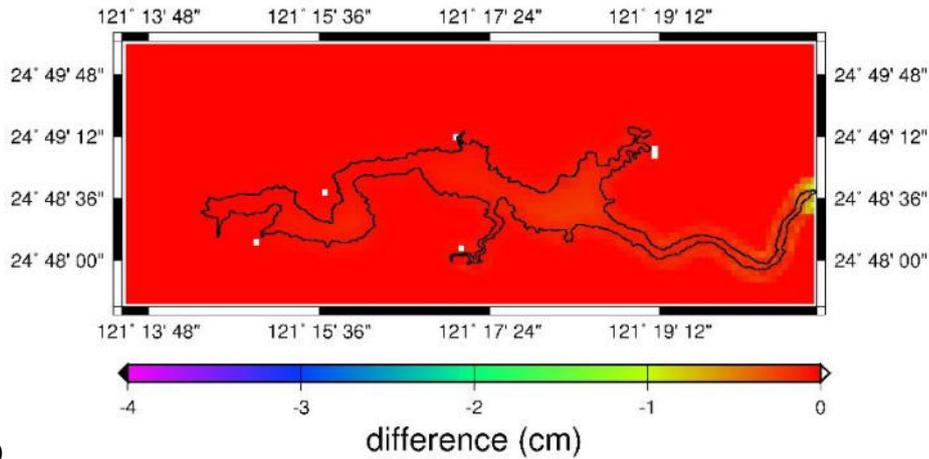


圖 3 石門水庫區域大地起伏計算結果及比較結果圖，其中(a)case 1 之大地起伏計算成果圖；(b)case 2 減 case 1 之差異圖；(c)case 3 減 case 1 之差異圖；(d)case 4 減 case 1 之差異圖。

## (二) 曾文水庫

比照石門水庫之作法，將 Hwang et al. (2014)提供在曾文水庫中水面之重力異常假設為該水庫最低水位(case 5：170 公尺)之重力異常值，並透過向上延續法分別計算不同水位(case 6：190 公尺、case 7：210 公尺與 case 8：230 公尺)之重力異常值。各 case 之重力異常差值統計則如表 3 所示。case 5 至 8 為各 case 重力異常值成果，如圖 4 (b)至(d)所示。藉由表 3 與圖 4 之結果可發現以下幾點結果：

1. 由圖 4 (a)顯示曾文水庫之重力異常值約介於 0~60 mgal 之間，大致由西北向東南先減少，再緩慢增加。
2. 由圖 4 (b)與表 3 之 case6 與 case5 相比結果，可知當水面每上升 20 公尺，水面之重力異常值平均減少 0.1mgal，其最大差異僅減少 0.2 mgal。

由圖 4 (d)與表 3 指出即使曾文水庫最高水位與最低水位相比(case8 與 case5 相減)，兩者重力異常平均差值也僅有 0.2~0.6 mgal，且北部區域水面之重力異常差值略大於南部水面之重力異常位置，最大僅相差達 0.6 mgal。

表 3 文水庫各 case 重力異常模型之差值(單位：mgal)統計表

	最大值	最小值	平均值	標準偏差	均方根誤差
case6- case 5	0.00	-0.20	0.00	0.02	0.02
case 7- case 5	0.00	-0.40	-0.01	0.04	0.04
case 8- case 5	0.00	-0.60	-0.01	0.06	0.06

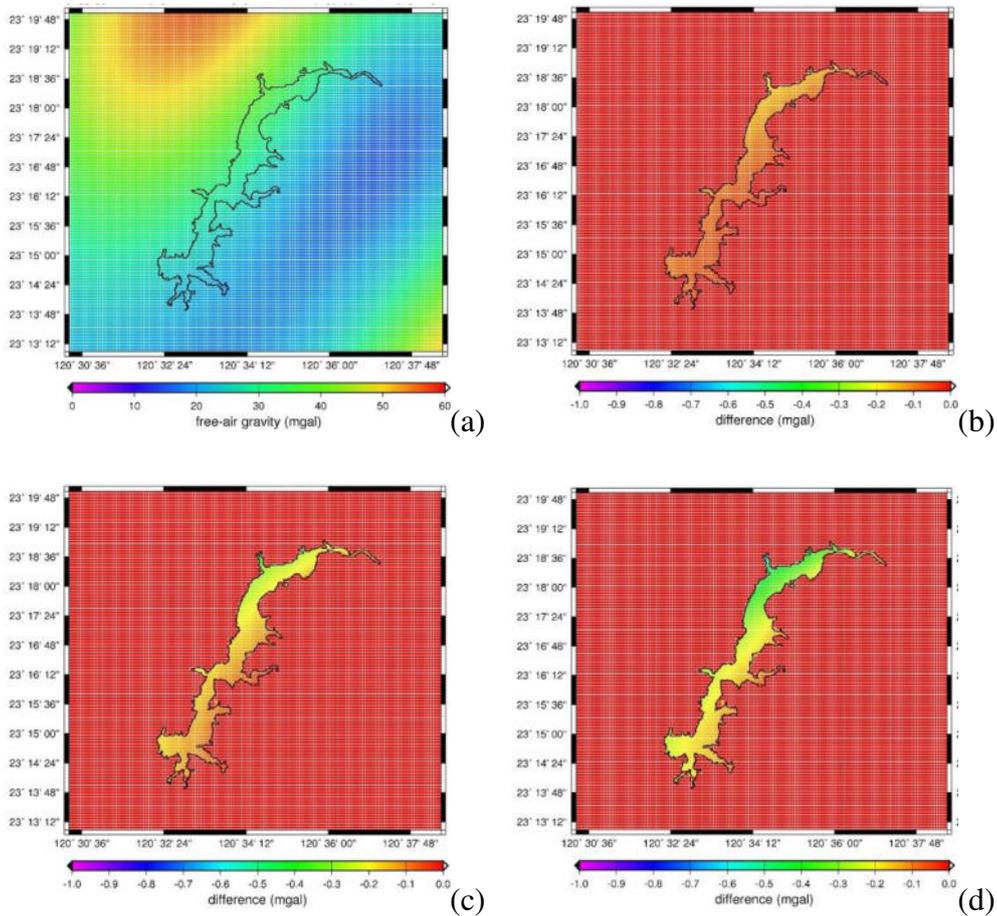


圖 4 曾文水庫在 cases 5~8 之重力異常成果圖，其中(a) case5 之成果；(b) case6 減 case5 之成果；(c) case7 減 case5 之成果；(d) case8 減 case5 之成果。

本文亦將 case 5~8 之大地起伏計算結果進行比較，其結果如表 4 與圖 5 所示，其中圖 5(a)為 case 5 得到之大地起伏模型，可發現曾文水庫及周邊地形之大地起伏值介於約 22~24 公尺，且大地起伏趨勢大致由西向東先逐漸減少，再向東南逐漸增加，該大地起伏變化趨勢與重力異常變化趨勢一致。另圖 5 (b)~(d)分別為「case 6 減 case 5」、「case 7 減 case 5」與「case 8 減 case 5」之大地起伏差異圖。比較結果顯示當水位上升時，大地起伏值變化非常小。以 case 8 與 case 5 之比較為例說明，當最低水位與最高水位相比，於水庫水面位置之大地起伏差值均小於 3 公分以內。

表 4 曾文水庫各 case 大地起伏模型(單位：cm)之差值統計

	最大值	最小值	平均值	標準偏差	均方根誤差
case6- case 5	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
case 7- case 5	0.0	-2.1	0.0	0.0	0.0
case 8- case 5	0.0	-3.1	0.0	0.0	0.0

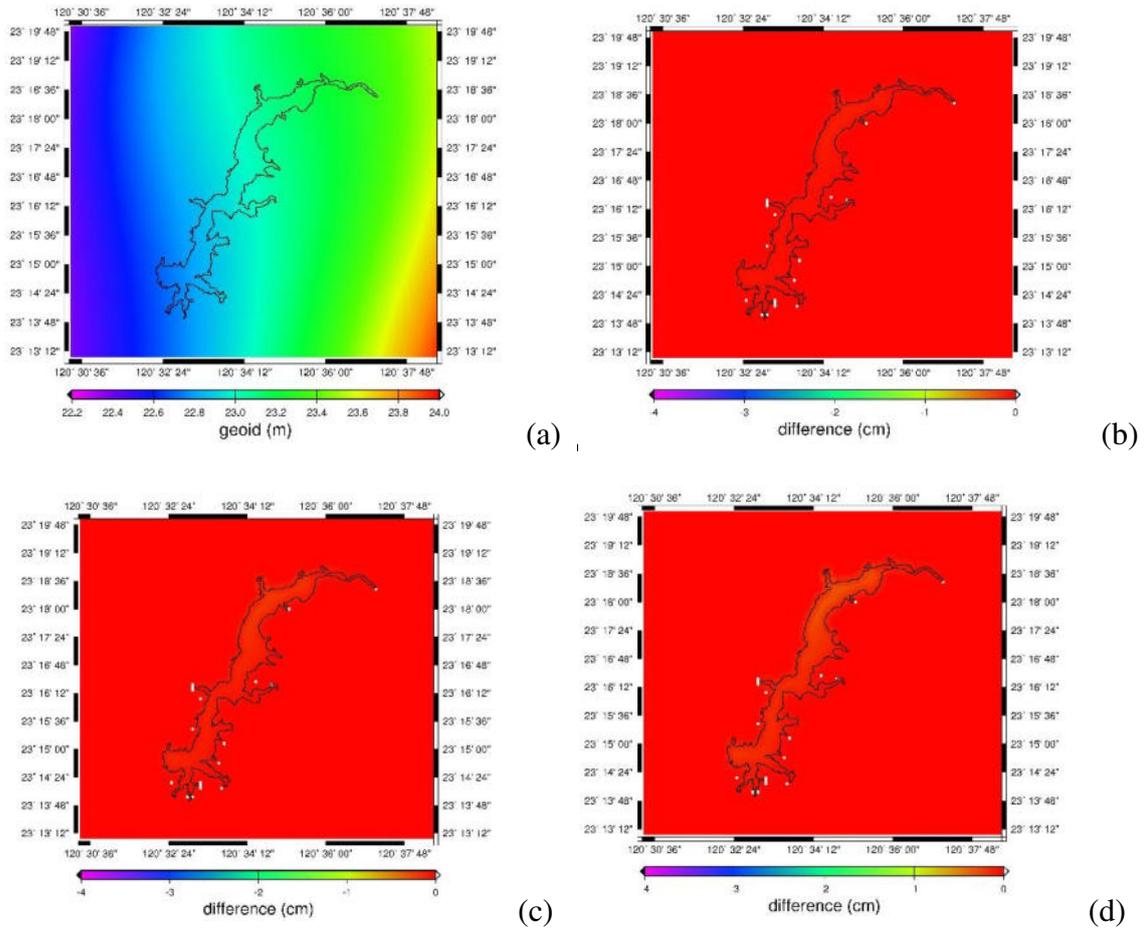


圖 5 曾文水庫區域大地起伏計算結果及比較結果圖，其中(a)為 case 5 之大地起伏計算成果圖；(b)case 6 減 case 5 之差異圖；(c)case 7 減 case 6 之差異圖；(d)case 8 減 case 7 之差異圖。

### (三) 綜合討論

本文針對向上延續法得到兩個水庫的重力異常共八個 case 之比較結果(詳見表 2 與表 4)提出下列結論：

1. 石門水庫區域之重力異常變化會隨水位升降有較大變化，而曾文水庫水面重力異常雖亦隨水面升降而變化，但差異幅度明顯小於石門水庫。
2. 從兩個水庫之枯水期與豐水期相比，石門水庫顯示平均有 0.2~8 mgal 之重力異常變化量，而曾文水庫雖擁有較大之水位變化量，但在豐水期與枯水期時的重力異常之差異僅有 0.2~0.6 mgal 之變化，此變化量級甚至低於船載重力異常測量的誤差。石門水庫不同水位重力異常值變化較大的原因，是由於石門水庫區域本身重力異常之變化較大(極端值較大)之因素。
3. 石門水庫研究區較曾文水庫研究區擁有較大之大地起伏變化值，特別是在豐水期與枯水期的比較，右邊某部分區域差異量有將近 10 公分之變化量。
4. 曾文水庫研究區雖比石門水庫擁有較大之水位變化量，然曾文水庫全區大地起伏變化值也僅不到 1 公分之變化量，即使將豐水期與枯水期相比，其差異變化量亦不到 1 公分，其變化幅度較石門水庫小甚多。

5. 整體而言，就水庫船載重力任務之必要性而言，石門水庫較曾文水庫高，特別是石門水庫較上游區域。

## 五、結論與建議

曾文水庫與石門水庫為台灣前兩大水庫，本文藉計算二者不同水位時之重力異常值與大地起伏值，評估水庫是否進行船載重力異常量測相關任務之必要性。由研究成果得知，石門水庫計算之重力異常值，水位每上升 10 公尺，其重力異常平均減少約 0.2~0.3 mgal；曾文水庫計算之重力異常值，水位每上升 20 公尺，其重力異常平均減少約 0.1 mgal。無論石門水庫或曾文水庫，重力異常變化較大地區均在水庫靠近上游區域。在大地起伏值差異方面，石門水庫於枯水期與豐水期之平均差值約介於 0.5~1.0 公分，但其右邊上游部分區域差異可達 10 公分；曾文水庫之平均差值約低於 0.5 公分，但其右邊上游部分區域差異可達 3 公分。本研究綜合重力異常計算與大地起伏成果評定，認為於石門水庫進行水庫船載重力異常測量任務之重要性較曾文水庫來的高。

目前若要獲取台灣水庫重力異常資料，僅能透過利用空載重力與全球重力異常模型(例如：EGM2008)，然而上述方法所獲得之重力空間解度可能較不足，將造成此區域之大地起伏精度較不佳，因此於台灣重要水庫進行船載重力任務有其必要，不僅對台灣新一代大地起伏模型能有所貢獻，對於其他科學應用上亦具有價值。

## 參考文獻

- Buttkus, B., 2000, *Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics*, Berlin: Springer-Verlag.
- Forsberg, R., 1984, A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling, Report 355, *Department of Geodetic Science and Surveying*, The Ohio State University, Columbus.
- Heiskanen, W. A. and H. Moritz, 1967, *Physical geodesy*, San Francisco: W. H. Freeman and company.
- Hodgson, M. E. and P. Bresnahan, 2004, Accuracy of airborne lidar-derived elevation: empirical assessment and error budget, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(3), pp.331–339.
- Hsiao, Y. S. and C. Hwang, 2010, Topography-assisted downward continuation of airborne gravity: an application for geoid determination in Taiwan, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, 21(4), pp.627-637.
- Hsiao, Y. S., C. Hwang, M. L. Wu and J. C. Chang, 2017, Improved geoid modeling using observed and modeled gravity gradients in Taiwan, *Journal of Surveying Engineering*, 143(2), pp.04016027-1-04016027-12.
- Hsu, S. K., C. S. Liu, C. T. Shyu, S. Y. Liu, J. C. Sibuet, S. Lallemand, C. Wang and D. Reed, 1998, New gravity and magnetic anomaly maps in the Taiwan-Luzon region

- and their preliminary interpretation, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, 9(3), pp.509-532.
- Hwang, C., H. J. Hsu, E. T. Y. Chang., W. E. Featherstone, R. Tenzer, T. Lien, Y. S. Hsiao, H. C. Shih and P. H. Jai, 2014, New free-air and Bouguer gravity fields of Taiwan from multiple platforms and sensors, *Tectonophysics*, 611, pp.83–93.
- Hwang, C., 1997, Analysis of some systematic errors affecting altimeter-derived sea surface gradient with application to geoid determination over Taiwan, *Journal of Geodesy*, 71(2), pp.113-130.
- Hwang, C., Y. S. Hsiao and H. C. Shih, 2006, Data reduction in scalar airborne gravimetry: theory, computer package and case study in Taiwan, *Computers & Geosciences*, 32(10), pp.1573-1584.
- Kuroishi, Y. and W. Keller, 2005, Wavelet approach to improvement of gravity field–geoid modeling for Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110, B03402.
- Pavlis, N. K., S. A. Holmes, S. C. Kenyon and J. K. Factor, 2008, An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008, *EGU General Assembly 2008*, Vienna, 13–18 April.
- Tscherning, C. C. and R. H. Rapp, 1974, Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulations, and the deflections of the vertical implied by anomaly degree-variance models, Report 208, *Department of Geodetic Science and Surveying*, The Ohio State University, Columbus.
- Tsuei, G.C., 1995, *The investigation of digital geoid model over Taiwan*, Thesis (Ph.D.), Department of Earth Sciences and Institute of Geophysics, National Central University, Taiwan. (in Chinese)
- Wang, Y. M., J. Saleh, X. Li, and D. R. Roman, 2012, The US Gravimetric Geoid of 2009 (USGG2009): model development and evaluation, *Journal of Geodesy*, 86(3), pp.165-180.
- Yen, H. Y., Y. H. Yeh, C. H. Lin, G. K. Yu and Y. B. Tsai, 1990, Free-air gravity map of Taiwan and its applications, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, 1(2), pp.143-155.
- Yen, H. Y., Y. H. Yeh, C. H. Lin, K. J. Chen and Y. B. Tsai, 1995, Gravity survey of Taiwan, *Journal of Physics of the Earth*, 43(6), pp.685-696.
- 國立交通大學，2001，〈一等一級水準點上實施重力測量工作報告書〉，內政部編印。
- 國立交通大學，2003，〈一等二級水準點上實施重力測量工作報告書〉，內政部編印。
- 國立交通大學，2005，〈空載重力測量工作期末報告〉，內政部編印。
- 中興測量有限公司，2006，〈九十三年度一、二等重力測量工作報告書〉，內政部編印。
- 國立交通大學，2008a，〈低航高空載重力測量工作案期末報告〉，內政部編印。
- 國立交通大學，2008b，〈臺灣本島與離島高程連測計畫 97 年度連測作業期末報告〉，內政部編印。

- 國立交通大學，2009，《西部及東沙海域空載重力測量工作期末報告》，內政部編印。
- 國立交通大學，2014，《臺灣本島近岸船載重力異常測量作業總報告》，內政部國土測繪中心編印。
- 許宏銳，2014，《最佳化重力資料處理及整合以建構公分級台灣大地起伏模式》，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 黃金維、許宏銳、黃啟訓，2013，新一代台灣大地水準面模式：防災、監測、高程現代化之應用，《國土測繪與空間資訊》，第一卷，第一期，頁 57-81。
- 黃金維、郭重言、儲慶美、甯方璽，1998，台灣重力異常網平差及重力異常資料整合，《測量工程》，第四十卷第三期，頁 71-82。
- 黃啟訓，2013，《台灣本島與離島之高程基準連結》，國立交通大學土木工程學系碩士論文。

## 運用多時期衛星影像探討外傘頂洲變遷

彭新雅<sup>1</sup>、曾國欣<sup>2\*</sup>、錢樺<sup>3</sup>、陳彥欷<sup>4</sup>

論文收件日期：107.06.11

論文修改日期：107.06.20

論文接受日期：107.06.28

### 摘要

外傘頂洲位於雲林、嘉義外海約 10 多公里處，主要組成來自濁水溪注入海中的泥沙，由於受到波浪、沿岸流及東北季風等影響，導致沙洲逐年往陸側移動。外傘頂洲因潮汐的變化會產生不同樣貌，具有豐富的生態環境，此外也是雲林、嘉義沿岸的自然防護屏障。但隨著濁水溪注入海中的泥沙減少以及其他自然與人為因素，導致面積逐年縮減。本研究結合Landsat、SPOT系列與Sentinel-2 等光學影像以及海潮模式，重建過去近 30 年的海岸地形模型，並用以監測外傘頂洲的變化。透過自 1990 年起的多光譜衛星影像計算水體指數以辨別水體出現機率，並使用DTU10 的潮汐模型做為高度參考，將淹水機率轉換為實際高程資訊。經與現地單音束測深成果比較後獲得差值均方根(root-mean-square of the difference, RMSD)為 36 公分。經分析可獲得體積變化量從 18.8 百萬立方公尺減少為 10.3 百萬立方公尺，沙洲中於不同剖面求得移動速率為 78.7 - 221.3 m yr<sup>-1</sup>，其中沙洲南端移動速度大於北端，且預計 2048 年前後沙洲本體會向鰲鼓濕地淤積。

**關鍵詞：**海岸地形、沙洲變化、衛星遙測、潮汐模型

<sup>1</sup> 博士生，國立中央大學土木工程學系。

<sup>2</sup> 副教授，國立中央大學太空及遙測研究中心。

<sup>3</sup> 副教授，國立中央大學水文與海洋科學研究所。

<sup>4</sup> 科員，中華民國內政部地政司方域科。

\* 通訊作者，TEL: (03)4227151 轉 57690，E-mail: [khteng@csrsr.ncu.edu.tw](mailto:khteng@csrsr.ncu.edu.tw)。

# Utilizing Multitemporal Satellite Images to Investigate Topographical Changes of Waisanding Sandbar

Hsin-Ya Peng<sup>1</sup>, Kuo-Hsin Tseng<sup>2\*</sup>, Hwa Chien<sup>3</sup>, Yan-Di Chen<sup>4</sup>

## Abstract

The Waisanding sandbar is a major tidal flat in Taiwan that extends about 10 km from Chiayi coastline and its sediment source is mainly from Zhuoshui River. The ebb and flow of this place produce high ecological value and form a natural breakwater to protect mainland coastline. However, the sediment source had been decreased owing to human and natural factors, causing the area of sandbar to become smaller year by year. Therefore, this area is necessary to be monitored for environmental sustainability. In this study, we utilize multiple optical remote sensing satellites in the last three decades, including Landsat/SPOT series and Sentinel-2 imageries, to track the decadal variation of the intertidal zone. We first collect historical cloud-free images since the 1990s and calculate the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) to identify water pixels. After computing water appearance probability of each pixel, the map is linearly translated into actual elevation by introducing the DTU10 tide model for high tide and low tide boundaries. To validate, we use the ground truth data collected by the single-beam echo sounder and obtain an accuracy of coastal elevation model at 36 cm. In addition, we analyze different variability of Waisanding sandbar. During 1994-2017, the volume decreased from  $1.88 \times 10^7$  to  $1.03 \times 10^7$  m<sup>3</sup> and the rate of moving across the sandbar is 78.7–221.3 m yr<sup>-1</sup>. Among all the rates of movement, the south tip is faster than the north tip. Finally, the sandbar is projected to touch Aogu wetland around 2048.

**Keywords:** Coastal Terrain, Sandbar Changes, Satellite Remote Sensing, Tide Model

---

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, National Central University.

<sup>2</sup> Associate Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

<sup>3</sup> Associate Professor, Graduate Institute of Hydrological and Oceanic Sciences, National Central University.

<sup>4</sup> Officer, Territorial Administration, Dept. of Land Administration, Ministry of the Interior.

\* Corresponding Author, Tel: +886-3-4227151 ext. 57690, E-mail: [khteng@csrsr.ncu.edu.tw](mailto:khteng@csrsr.ncu.edu.tw).

## 一、前言

外傘頂洲位於雲林、嘉義外海約 10 多公里處 ( $23.49^{\circ}$  N,  $120.08^{\circ}$  E) (圖 1)，又稱外傘頂沙洲、外傘頂汕，是臺灣沿海最大的堰洲島 (barrier island)。外傘頂洲主要由濁水溪注入海中的泥沙經由波浪推移與海風牽引往南堆積而成，據經濟部水利署水文年報統計，1949 - 1996 年間平均濁水溪輸沙量為  $63.9 \text{ Mt yr}^{-1}$  (Hong et al., 2010)，透過自然營力往南形成統汕洲、箔子寮汕與外傘頂洲 (林宗儀等，2007)。外傘頂洲面積隨著海水的漲退潮而改變，退潮時露出水面的面積可達數千公頃，漲潮時則縮為數百公頃。此區一系列的沙洲與沙脊為雲嘉海岸之天然屏障，可禦擋波浪對海岸直接衝擊，減少災害發生。因受其屏障保護阻擋波浪傳遞，此一區域素有豐富的生態環境，形成為數眾多的濕地散佈於嘉義縣海岸地區供野鳥及潮間帶生物棲息，也造就東石瀉湖內牡蠣養殖等水產漁業的興盛。一般情況下，沙洲海側的沈積物會因沿岸流與季風驅動波浪越洗作用，在陸側形成越洗扇 (overwash fan) (林宗儀等，2007)，然而數十年來因河川整治讓河川輸沙量減少近 40% (Milliman & Kao, 2005)，加上其他複合因素，導致沙洲不斷向內陸靠近。同時，雲林海埔地及離島工業區於 1973 年以後陸續開發興建，種種人為因素阻擋濁水溪南向之輸沙，助長外傘頂洲呈現往陸側侵蝕萎縮的樣態 (林宏仁等，2003)。

一般常見的海岸帶地形研究包含利用航空攝影測量製作水上的地表模型，以及運用聲納施測水底地形，然而對於淺水或沙洲地帶的作業難度極高，除了測線密度提升、船隻航行不易、變遷迅速且更新曠日費時。因此過去研究中有為數眾多的學者利用遙測技術與數值模擬等方式探討外傘頂洲變遷，如蕭國鑫等(2007)結合多時遙測衛星影像與三個時期的空載光達 (Light Detection and Ranging, LiDAR) 資料，分析 2004 年至 2006 年面積與體積逐漸減少趨勢。Chen and Chang (2009)利用時序 SPOT 與福衛二號(Formosat-2)光學衛星影像獲得灘線位置，與全球定位系統 GPS 驗證後灘線精度約在 43 - 194 公尺區間，後續利用 1999 - 2007 年間的變化計算其海側退縮速率由北至南約每年 19 至 81 公尺，陸側退縮速率由北至南約每年 27 至 76 公尺，另面積退縮速率為每年 0.378 平方公里。Hong 等人(2010)同樣利用 SPOT 影像為資料源，探討因人為作用所造成外傘頂洲變遷的加乘影響。此外根據張憲國等人(2017)之研究，運用衛星影像的水線及平移至灘線的方法估計外傘頂洲的空間變化，並預測於 2060 年將完全低於平均潮位而淪為潛沒沙洲，可能導致此區段海岸線產生嚴重侵蝕以及對生態的衝擊。除此之外，郭禮安等人(2003)針對外傘頂洲逐年潛沒和後退之現象，研擬出具體可行之外傘頂洲保護措施，來減低外傘頂洲的侵蝕速度並試著減少對生態的破壞。

透過歷史影像不難發現外傘頂洲過去數十年來一系列的變遷，圖 1 中底圖為利用美國地質調查局大地衛星 Landsat-8 之紅、綠、藍波段所組成的自然色影像，可獲得外傘頂洲於近期的地理位置，圖中的紅線及藍線分別利用「中央研究院人社中心地理資訊科學研究專題中心」網站中公開的「1904 年日治時期十萬分之一臺灣圖」以及「1944 年美軍五萬分之一地形圖」所描繪的輪廓線。從圖中可以看出沙洲在

1905 到 1944 年由北向南偏移，1944 年至今則緩慢往東南方靠向陸側。然而過去研究較常著墨於分析跨年段的沙洲面積與灘線變化、趨勢，或是少數年份的沙洲量體估計，對於較長期、連續性的變遷討論稍嫌不足，主要原因為過去衛星影像取得不易、價格昂貴、拍攝頻率不足等先天限制。拜近年衛星資料開放的趨勢所賜，有越來越多的中高解析度歷史影像可供利用，其中以 2008 年 Landsat 系列開放一般下載為主要轉捩點，可用以探討地表過去 30 年以上的時序變化。此外自 2015 年起在科技部的支持下，國立中央大學太空及遙測中心發布學術用途的 SPOT 衛星影像資料開放平台，對於國土監測與變遷等研究提供了相當多的資源，因此本研究擬利用長時期(1990-2018 年)、多種類的衛星影像來增加空間解析度以及時間解析度，並結合潮汐模式計算外傘頂洲的高程、土方量(體積)、水線輪廓以及沙洲移動方向等歷年分析。

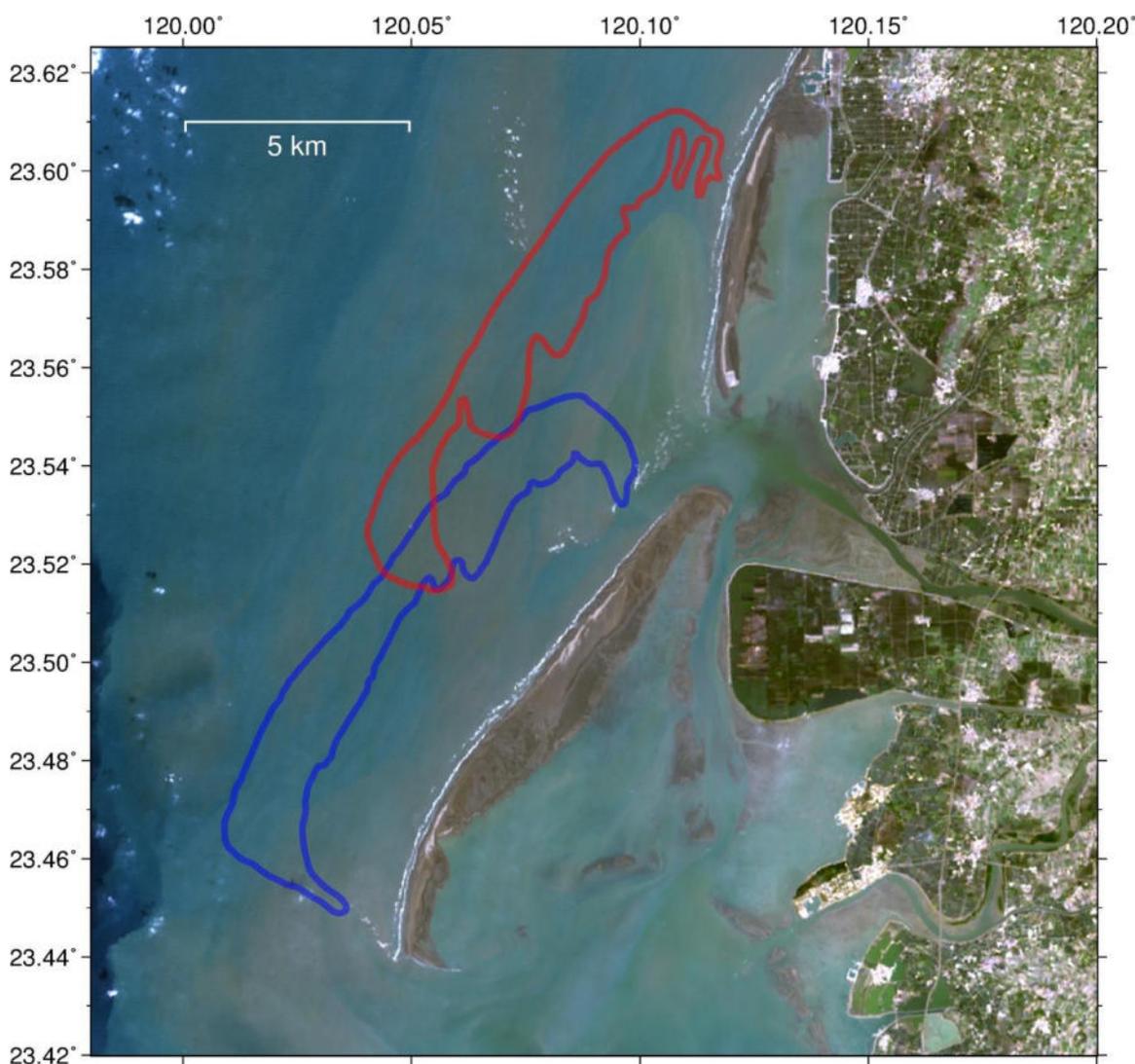


圖 1 外傘頂洲於臺灣西部沿岸之地理位置，由 2018 年 Landsat-8 衛星影像之 4、3、2 波段組成自然色影像。圖中紅線和藍線分別為數化 1904 年日治時期十萬分之一臺灣圖和 1944 年美軍五萬分之一地形圖中外傘頂洲的灘線輪廓(資料來源:中央研究院人社中心地理資訊科學研究專題中心)。

## 二、研究方法與衛星資料

### (一) 研究流程

本研究施作流程如圖 2 所示，包含資料收集、水體判釋、淹水機率計算、建置多時期地形模型以及利用現地實測資料進行驗證(曾國欣等, 2018)。首先收集美國地質調查局的 Landsat、法國 Airbus Defence and Space 公司的 SPOT 以及歐洲太空總署 Sentinel-2 系列光學影像，判釋水體出現像元。接著從長時期的影像網格中計算水體出現次數，將出現次數除以總資料數，以得到網格狀淹水機率圖，此機率圖間接代表海岸地區的相對高程差異。接著選用 DTU10 潮汐模型 (Cheng and Anderson, 2010) 做為高度參考，將淹水機率轉換為實際高程資訊。後續模型驗證利用 2015 年內政部地政司海域基本圖所測得的現地高程進行驗證，以作為後續變遷的誤差判斷基礎。以下章節介紹各步驟之技術細節。

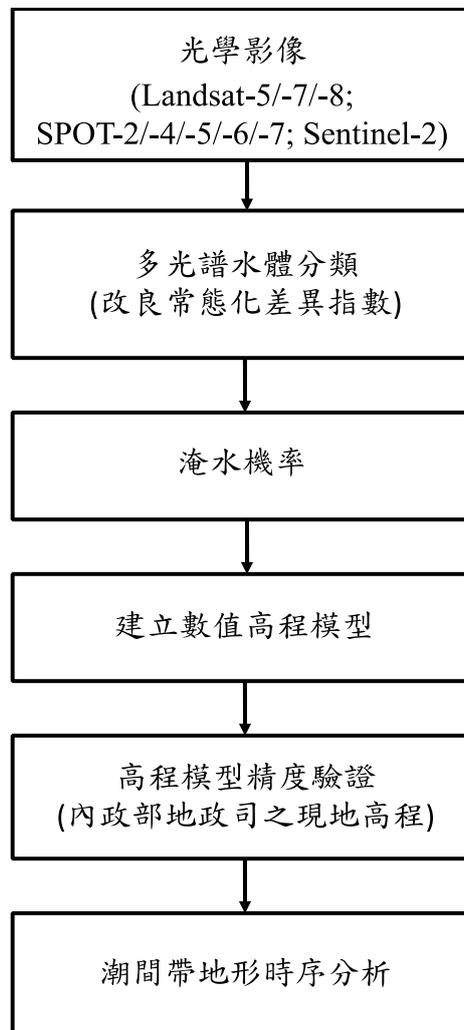


圖 2 本研究之流程圖

## (二) 光學影像收集

本研究使用 Landsat-5/-7/-8、SPOT-2/-4/-5/-6/-7 以及 Sentinel-2 所拍攝的衛星影像進行水體分析。Landsat 系列衛星為美國太空總署 (NASA) 與地質調查局 (USGS) 聯合營運之地球觀測衛星，多光譜解析度為 30 公尺，全色態達 15 公尺，可提供長時間未間斷的地表觀測資料以利多時序分析。本系列自 1972 年起陸續發射至今仍有 Landsat-7/-8 兩顆衛星持續提供全球影像，覆蓋可見光至熱紅外波段。目前可由地質調查局(USGS)網站免費下載影像，其 2016 年釋出之再處理版本(Landsat Collection 1) 支援 Level-1 大氣層頂反射率及 Level-2 地表反射率兩種產品，本研究選用 Level-2 經由大氣校正後的地表反射率進行分析，內部對於大氣改正模式分別針對 Landsat-5/-7 採用 6S 輻射傳輸與國家環境預報中心 (NCEP) 大氣網格產品，另外跟針對 Landsat-8 使用內部輻射模式與中解析度成像分光輻射計 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 觀測資料。此外，產品中帶有雲影分析的品質評估波段 (Quality Assessment, QA)，可運用於遮蔽受到一般雲層及捲雲影響的像元，減少水體誤判的可能。

此外，SPOT 系列於 1986 年 2 月法國成功的發射第一顆 SPOT 衛星，至今仍有 SPOT-6/-7 兩顆衛星持續收集資料，於可見光至近紅外光波段空間解析度達 6 公尺。SPOT-6/-7 分別於 2012 年與 2014 年發射，除將全色態地面解析度自以往的 2.5 公尺提升至 1.5 公尺，也能透過本體旋轉進行不同視角拍攝，以利製作空中影像立體對。此外，SPOT-6/-7 補足了以往缺少的藍光波段，使其能組成自然色影像供更多的視覺化應用。Sentinel-2(亦稱為哨兵二號)為太陽同步軌道的地球資源衛星，分為 Sentinel-2A 以及 Sentinel-2B，由歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) 分別在 2015 和 2017 發射。由於 Sentinel-2B 於本研究期間仍屬試營運階段 (commissioning phase)，故僅採用 2A 影像。Sentinel-2 系列為目前全球開放資料中解析度最高之產品，提供自可見光至紅外光(VNIR)間的 13 波段影像，單顆衛星的再訪週期為 10 天，故在相同視角 A/B 兩顆搭配後可提供最高 5 日的重複拍攝，且像幅寬達 290 公里，比 Landsat 系列的 185 公里更廣，能夠有效率的提供地面取像。針對 2018 年後的影像，可運用 ESA 提供之無償軟體 The Sentinel Application Platform (SNAP) 內建大氣校正模組 Sen2cor (Sentinel-2 Level-2A Atmospheric Correction Processor)，進行大氣校正後再進行分析。

本研究選用三種不同系列的衛星影像增加影像張數以提高時間解析度 (temporal resolution)，收集年段為 1990 至 2018 年，總共利用 352 張 Landsat 系列、108 張 SPOT 系列及 62 張 Sentinel-2A 等 522 張影像進行後續計算，並運用不同年段進行多時序的分析。各衛星所使用的影像時間段與解析度詳見表 1。

表 1 本研究使用衛星影像之時空特性

	任務時間	資料使用時間	多光譜解析度(公尺)	使用張數
Landsat-5	1984-2011	1990-2011	30	157
Landsat-7	1999-至今	1999-2018	30	124
Landsat-8	2013-至今	2013-2018	30	71
SPOT-2	1993-2009	1993-2009	20	19
SPOT-4	1998-2013	1998-2013	20	31
SPOT-5	2002-2015	2002-2015	10	26
SPOT-6	2012-至今	2013-2018	6	21
SPOT-7	2014-至今	2016-2018	6	11
Sentinel-2	2015-至今	2015-2018	10	62

### (三) 多光譜水體分類

針對多光譜衛星影像，前人研究多利用改良常態化差異水指數 (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) (Xu, 2006)，以及常態化差異水指數 NDWI(McFeeters, 1996)作為水體判釋方法，兩者的公式組成雷同，分別為 $(Green - NIR)/(Green+NIR)$  (NDWI) 以及  $(Green - SWIR)/(Green+SWIR)$  (MNDWI)，值域為 -1 至 1。由於水表面在綠光波段會有較強的反射，而在近紅外光波段至中紅外光有較強的吸收，因此兩波段影像計算之(M)NDWI 會呈現大於 0 的數值，在多數海岸地區地物種類較單調的範圍內可形成強烈對比，利用單一門檻值可將水體由其他地表類型中提取出來。對 Landsat 及 Sentinel-2 影像而言，Green 為影像的綠光波段，IR 為中紅外波段(SWIR)，由於 SPOT 系列的影像並未包含中紅外波段，因此 SPOT 系列則利用 NDWI 求得水體指數，式中的 NIR 為 SPOT 影像中的近紅外波段。

水體判釋過程中因受雲霧干擾，在影像中可能造成誤判像元，針對此一問題對於 Landsat 選用 Level-2 的影像資料來進行分析，利用自帶的 QA 波段所紀錄的雲霧像素將非清晰像元移除。針對 SPOT 與 Sentinel-2 影像，吾人利用人工篩選的方式將海岸線受到雲遮影響的資料濾除。最後將上述多元影像重新取樣至自訂的 10 公尺最小網格，綜合應用於後續淹水機率計算與地形建置。

### (四) 建置數值高程模型

經由上述水體分類後，可將所有影像集合起來計算每一個像元之淹水機率並且搭配潮汐模型求得實際高程，其計算方法如下 (Tseng et al., 2017):

$$DEM_{Sat}(i,j) = \left[ \left( 1 - \frac{\sum_{k=1}^n S_k(i,j)}{n} \right) \times (H_h - H_l) + H_l \right] \quad (1)$$

其中  $DEM_{Sat}(i,j)$  為利用上述介紹的三種衛星影像計算第  $i$  列與第  $j$  行之地表高程，首先  $S_k(i,j)$  為第  $k$  張影像經(M)NDWI 判釋後之水體分類，水體設為 1 而非水體設為 0，並將所有判釋後影像加總並除上總影像數量  $n$  求得值域為 0 - 1 的水體機率特徵。再利用潮汐模型(DTU10)求得影像時間中所能得到的最高潮位高度  $H_h$  以及影

像時間中所能得到的最低潮位高度  $H_l$ ，最終將相對淹水機率轉換至實際高程。

### (五) 高程模型精度驗證

內政部地政司於各年間逐步更新臺灣沿海地區的海域基本圖，測量深度 300 公尺等深線內的水下地形，以作為電子海圖(Electronic Navigational Charts, ENC)前置資料。外傘頂洲周遭水域近期更新時間為 2015 年，辦理彰、雲、嘉近岸海域(崙尾水道至布袋港)以及澎湖群島部分海域的測量作業，以小船載單音束測深技術繪製海域地形，利用聲波在水中傳播速度，及傳播時間差測定水深。典型單音束聲納主要的構造包含音鼓(transducer)、紀錄器(recorder)、發射及接收主機(transmitter/receiver)等構造(Jong et al., 2002)，僅能沿著測線獲取海床的地形剖面，在剖面上測深點的間距，與測深儀之資料更新率以及測深時的船速有關(Hell, 2009)，且於淺水中之水深測量精度可達公分以下等級。

## 三、外傘頂洲多時期地形及面積變化討論

### (一) 潮間帶地形模型精度分析

本研究利用內政部地政司所提供 2015 年外傘頂洲海域基本圖( $DEM_{In-situ}$ )進行驗證。由於外傘頂洲每一年的形狀及面積持續變化，在此以多年衛星影像求得平均高程，例如選擇 2014 年至 2016 年間收集到的影像代表 2015 年的平均高程( $DEM_{SAT}$ )進行驗證，並將  $DEM_{In-situ}$  內與  $DEM_{SAT}$  重疊之範圍框選裁切以便對位比較。其比較結果如圖 3 所示，其中圖 3(a)為衛星影像繪製地形  $DEM_{SAT}$ ，圖 3(b)為 2015 年測得之海域基本圖  $DEM_{In-situ}$ ，兩圖色碼皆以 DTU10 平均海水面為零基準之公尺高程，圖 3(c)為 Landsat-8 於 2015/05/15 攝得自然色影像，依據 DTU10 潮汐模型可獲得當時潮位為 0.59 公尺。從自然色可得知南北兩端的高程較高，與本研究建置的高程特徵相符，且具有較細微的細節。此外圖 3(d)為現地高程與影像高程模型之等值圖，X 軸為現地高程值，Y 軸為影像建模高程值，兩軸皆以公尺為單位，色碼為點密度。由於現地資料的基準面為大地水準面，影像高程模型基準面為 DTU10 平均海水面，兩者差異呈現整體偏差，在此為求計算簡便且避免其他系統誤差影響，故將兩高程模型之平均值移除後進行比較。兩者於比較範圍內所有像元之差值均方根 (root-mean-square of the difference, RMSD)為 0.36 公尺。

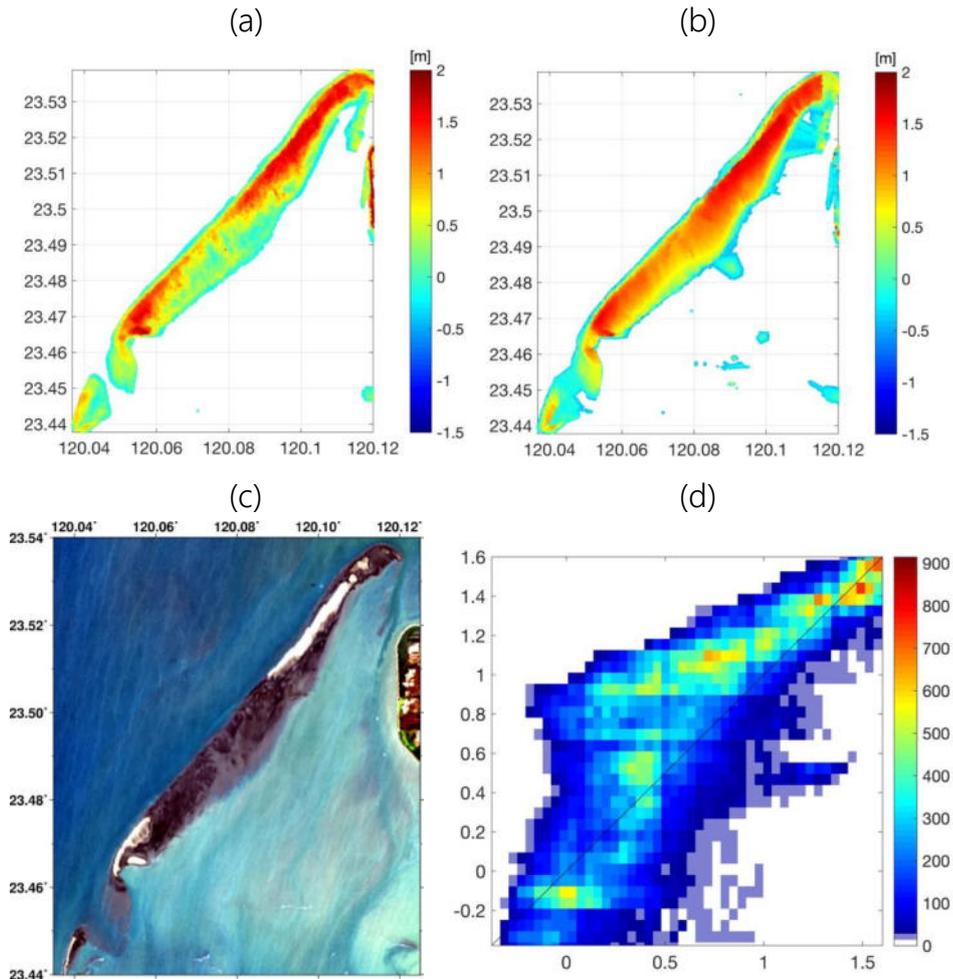


圖 3 比較現地資料與衛星影像製作之地表高程模型。(a)利用多種衛星影像製作之 10 公尺解析度高程模型 (b)利用實測資料製作之高程模型 (c)Landsat-8 影像(2015 年 5 月 15 日拍攝) (d)現地資料(縱軸)與影像高程模型(橫軸)比較之等值散佈圖(scatter plot)，色碼為點密度。

## (二) 七年組成之多時期比較

從收集的影像中以每 7 年製作一組高程模型，分別為 1990-1996、1997-2003、2004-2010、2011-2018，共四個不同時期的高程結果進行討論。從圖 4 中可獲得外傘頂洲的面積在這四個時期間逐漸遞減，且沙洲南端也逐漸向陸側靠近。前兩個時期的沙洲外觀已有些許的變化，如沙洲南端及西側的高程已開始降低，再從沙洲的紋理來說，有些許西北-東南向的紋路漸漸消失。於後兩個時期，沙洲南端已明顯消失後往東北方向退縮，低潮位以上的主體面積也明顯縮小。此外，由於外傘頂洲逐年向臺灣沿岸移動，因此當在週期 7 年內有加速移動時，圖中的高程輪廓就容易出現移動軌跡，如下方 1994-2010 年至 2011-2018 年兩區段的南端明顯有高程降低的趨勢，符合相關研究中對於外傘頂洲將成為潛沒沙洲的推論。

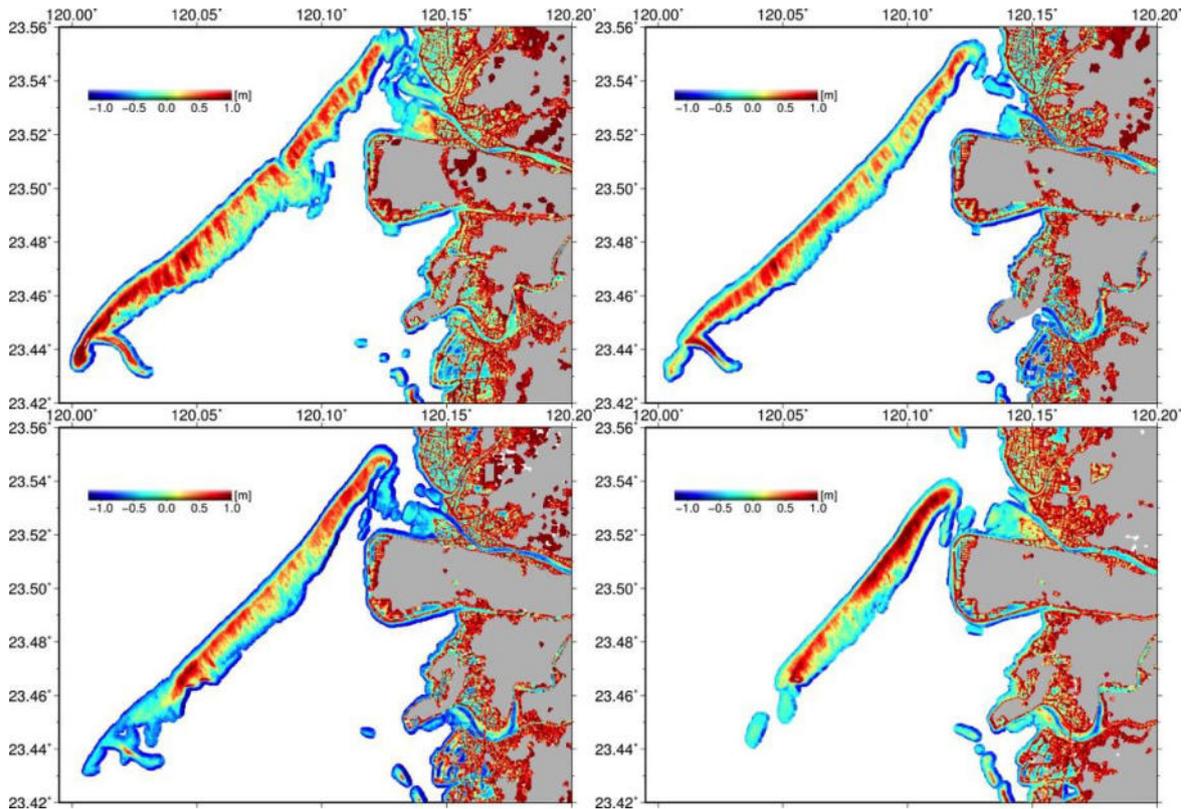


圖 4 以七年為影像收集週期將外傘頂洲分割為四個變化期程，分別為 1990-1996(左上)、1997-2003(右上)、2004-2010(左下)以及 2011-2018(右下)。

### (三) 三年組成之多時期比較

此外本研究再將這四個時期切割成更多個時間段，來觀察及計算出每一年間的細微變化。利用每 3 年的衛星影像求得中間年的高程資料，如表 2 所示每年間所使用的影像資料，例如選用 1995 - 1997 的影像可計算出代表 1996 年外傘頂洲的高程模型，以此類推的方式可得到 1994 年至 2017 年共 24 年的高程及面積變化，以及外傘頂洲的移動方向和速度。首先從高程及面積變化來討論，由於海流以及季風的影像，從圖 5 可得知沙洲的移動方向以逆時針方向慢慢地靠近臺灣嘉南沿岸，沙洲面積也逐年再縮減，高程則是以海側值高於陸側值，此外，於北港溪出海口的開南島(23.52° N, 120.15° E)也有所變化，從圖中可得知開南島的沙洲有些微地從北漂向南方。

表 2 不同時期所使用影像資料與對應潮位

年份	最高潮位 (m)	最低潮位 (m)	使用影像種類			總張數
			Landsat	SPOT	Sentinel-2	
1994	1.1292	-1.1557	V			28
1995	1.1292	-1.1557	V			29
1996	0.9244	-1.0358	V			30
1997	0.9569	-1.0856	V			27
1998	0.9569	-1.0856	V			23
1999	1.0531	-1.2280	V			27
2000	1.0623	-1.2279	V			35
2001	1.1240	-1.2272	V			42
2002	1.1278	-1.1517	V			47
2003	1.1264	-1.1809	V			53
2004	1.1253	-1.1809	V			50
2005	1.1493	-1.1806	V	V		63
2006	1.1535	-1.0973	V	V		66
2007	1.1762	-1.3028	V	V		65
2008	1.1762	-1.3028	V	V		72
2009	1.1762	-1.3028	V	V		58
2010	1.1146	-1.2269	V	V		48
2011	1.2525	-1.1686	V	V		33
2012	1.2690	-1.1684	V	V		48
2013	1.2690	-1.1684	V	V		64
2014	1.2798	-0.9555	V	V		82
2015	1.3049	-1.1246	V	V		82
2016	1.3049	-1.1246	V	V		85
2017	1.3049	-1.1246	V	V	V	137

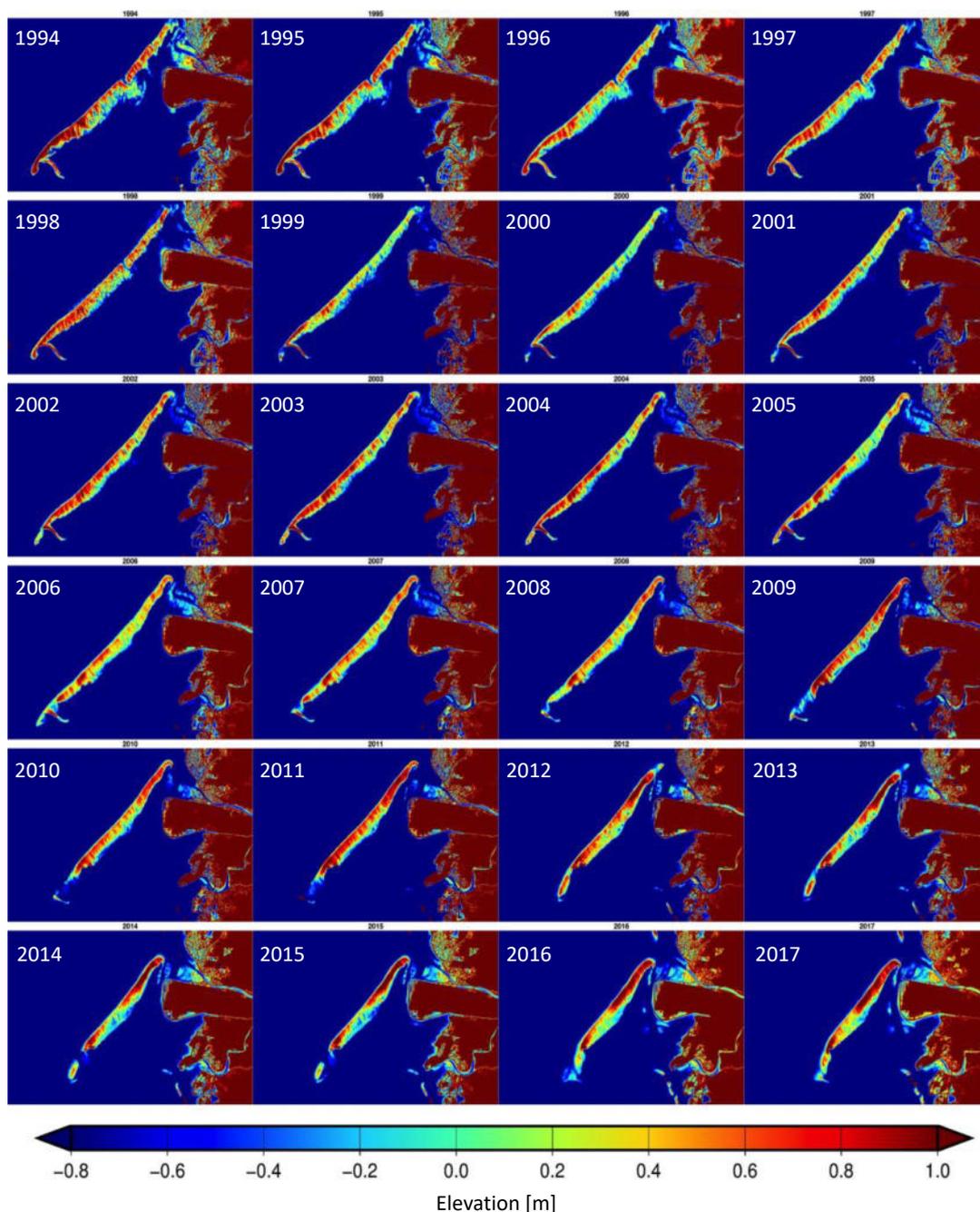


圖 5 三年組成高程模型跨時期比較(1994-2017)。圖中年份由左上 的 1994 開始由左至右再由上到下可以得到 1994-2017 年的變化。

#### (四) 歷年土方量的變化及沙洲移動方向

利用上述方法計算每一年及前後一年組成的模型後，可利用年際高程及面積變化推估外傘頂洲的歷年土方量(體積)變化，其計算方法如下：

$$V = \sum_{i,j=1}^n DEM_{sat}(i,j) \times A_{unit} \quad (2)$$

式中將 $DEM_{sat}$ 中每一個像素高程值乘上像素單位面積 $A_{unit}$ 後予以加總，即可得到每一組高程模型的體積。值得強調的是，本方法計算之高程模型僅介於高低潮的高程區間，未包含潮上帶或潮下帶的體積。透過比較不同年段製作的模型，可計算如圖 6 之時序變化，此圖為外傘頂洲地區高程為-0.4 公尺以上之面積與潮間帶體積變化量，其中藍線為沙洲體積的變化趨勢，紅線為面積變化趨勢。首先體積變化量從 1994 年前後約 18.8 百萬立方公尺減少為 10.3 百萬立方公尺，面積則從 25.4 百萬平方公尺縮減到 15.0 百萬平方公尺，因此從圖中可獲得面積和體積於 24 年來整體呈現線性下降，其中又以 2006-2009 年間體積和面積都有較大的變化量。

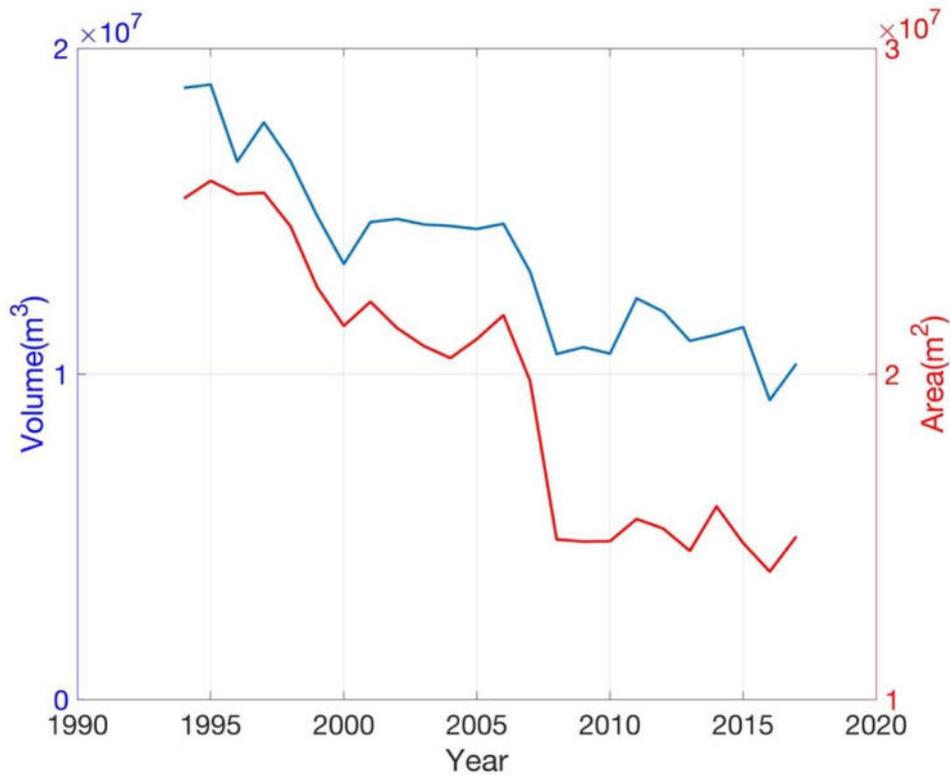


圖 6 歷年面積與體積變化量。藍線為體積變化量，紅線為面積變化量。

此外，為了計算沙洲的移動量需設定一個基準剖面來觀察沙洲海側與陸側的移動距離。本研究將緯度  $23.48^\circ$  作為一個連接到臺灣沿岸的橫斷面，如圖 7。圖中以 2018 年 Landsat 自然色影像作為底圖，A 點為海側坐標點，B 點為陸側坐標點，C 點則為沿岸坐標點，由此三個坐標位置可以分別算出每年海側與陸側距沿岸的長度 (dA 和 dB)，並監測沙洲兩側近 24 年來距離沿岸的變化量，如圖 7 中縮圖的紅線與藍線分別為海側與陸側測得距離變化量，從圖中可以得知海側距離沿岸的變化量大於陸側，其中海側大約移動 1.81 公里，陸側大約為 1.13 公里。

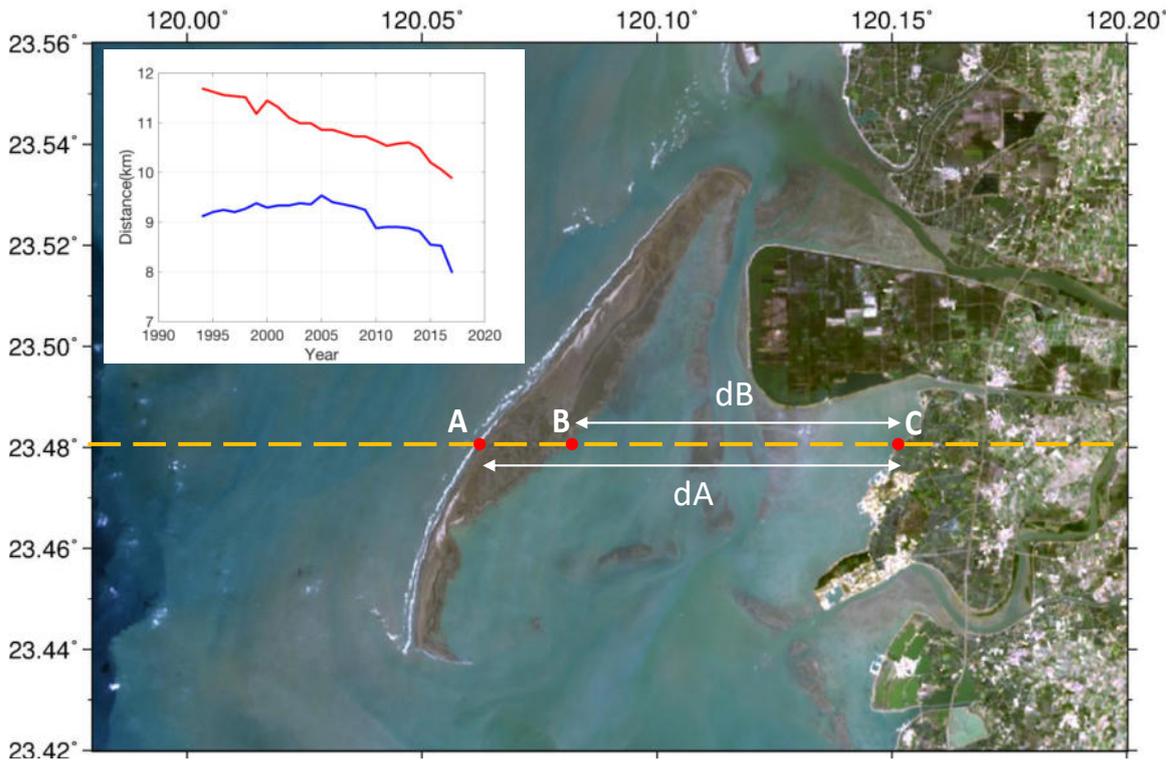


圖 7 海側(點 A)與陸側(點 B)往陸地參考位置(點 C)移動示意圖，計算各年製作之高程地形與 C 點的距離(dA 及 dB)變化。背景為 2018 年 Landsat 自然色影像。左上角縮圖為 dA(紅線)與 dB(藍線)之距離時間序列。

此外為瞭解沙洲端點的空間移動，我們從每一年計算出的高程中，找出最北端及最南端高程約 1 公尺處的兩點坐標，標記出沙洲骨幹位置(圖 8)，在此稱為中心線，其中兩條紅色線段分別為 1904 年日治時期十萬分之一臺灣圖(上)和 1944 年美軍五萬分之一地形圖(下)所繪製，其餘的藍色線段為 1994-2017 年的位置，逐步從西北偏向東南。從圖中可以看出外傘頂洲的移動方向如文獻中描述的逆時鐘方式向臺灣內陸移動，並在近兩年(最右側的兩條線段)有較大的移動趨勢，因此本研究利用下列公式(3)計算出線性移動速率，式中 $(x_1, y_1)$ 為端點起算年坐標， $(x_2, y_2)$ 為端點終年坐標，計算直線移動距離後除上總移動年份 yr 以求得平均移動速率。從速率而言可分為幾個部分，首先 1904 至 1944 間沙洲中心位置移動速率為  $178.76\text{m yr}^{-1}$ ，其中南端速率為  $183.32\text{m yr}^{-1}$ ，北端為  $175.08\text{m yr}^{-1}$ ，後期 1994-2017 年沙洲的南、北端移動速率差異加大，南端移動較北端更為顯著，以直線距離計算可得到南端的速率為  $221.3\text{m yr}^{-1}$ ，北端則為  $93.48\text{m yr}^{-1}$ ，最後以沙洲的中間點( $23.51^\circ\text{N}$ )計算出移動速率為  $78.7\text{m yr}^{-1}$ 。因此從斜率、方向及速率推斷約在 2048 年，外傘頂洲會接觸到鰲鼓濕地。

$$\text{Change rate} = \frac{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}{\text{yr}} \quad (3)$$



圖 8 1904、1944 以及 1994-2017 年沙洲移動趨勢。其中紅線為 1904 和 1944 的沙洲位置，其餘藍線為 1994-2017 年間的中心線變化。

#### 四、結論

外傘頂洲隨著海流、潮汐等因素逐年往臺灣本島移動，沙洲面積也可從多年期同潮位影像中看出清楚的輪廓變化。本研究利用歷史衛星影像及潮汐模型等演算方式求得外傘頂洲在過去不同時期的變化量及移動趨勢。從此研究方法可獲得外傘頂洲自 1990 年代起沙洲南北端的移動速度略有不同，移動速率為每年 78.7 - 221.3 公尺，其中南端移動速度比北端快。經與單音束現地測深成果驗證後，各年段所建置之高程模型精度為 36 公分。後續運用高程模型間的差異探討沙洲在時序上的面積及體積變化，其中體積及面積在 24 年間(1994-2017)的變化量分別為 8.5 百萬立方公尺及 10.4 百萬平方公尺。從此研究各項分析中可獲得外傘頂洲於低潮位以上的量體逐年縮減，以目前移動速度推斷沙洲南北中心線在 28 年後恐接觸到嘉義沿岸的鰲鼓濕地。雖然這套研究方法中的衛星影像的空間解析度有限，但對於監測長時期且大範圍的區域可滿足實質上的需求，後續亦將加入更多影像源，如福衛系列與微衛星等光學影像，提供更細緻的沙洲結構與時序變遷。

## 參考文獻

- 林宗儀、羅毓芳、洪敬媛，2007，台灣西南部海岸沙洲島的地形變遷，《第 29 屆海洋工程研討會論文集》，頁 433-438。
- 林宏仁、許泰文、曾以帆，2003，外傘頂洲海岸變遷機制之研究，《第 25 屆海洋工程研討會論文集》，頁 735-742。
- 曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言，2018，利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化，《國土測繪與空間資訊》，6(1)，頁 31-48。
- 蕭國鑫、劉進金、陳大科、徐偉城、何心瑜，2007，多時影像與空載光達資料應用於地形變遷研究~以外傘頂沙洲為例，《航測及遙測學刊》，12(4)，頁 419-429。
- 張憲國、賴羿齊、陳蔚璋，2017，應用衛星影像的水線辨識於外傘頂洲的灘線變遷，《航測及遙測學刊》，22(4)，頁 243-262。
- 郭禮安、楊瑞源、劉景毅、張裕弦，2003，外傘頂洲保護措施進行數值分析與水工模型試驗之研究，《第 25 屆海洋工程研討會論文集》，頁 857-864。
- 中央研究院人社中心地理資訊科學研究專題中心，2018，[online] 臺灣百年歷史地圖。Available at: <http://gissrv4.sinica.edu.tw/gis/twhgis>.
- Chen, W. W. and H. K. Chang, 2009, Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation, *Coastal and Shelf Science*, 84(1), pp.54-60.
- Cheng, Y. and O. B. Andersen, 2010, Improvement in global ocean tide model in shallow water regions, *Poster, SV*, pp.1-68.
- Hong, E., W. B. Dade, Y. C. Chang and S. Y. Chan, 2010, Geomorphic evolution of a barrier island reflects the history of natural sediment supply and human intervention in Taiwan, *Journal of Coastal Research*, 26(1), pp.53-58.
- Milliman, J. D., and S. J. Kao, 2005, Hyperpycnal discharge of fluvial sediment to the ocean: impact of super-typhoon Herb (1996) on Taiwanese rivers. *The Journal of geology*, 113(5), pp.503-516.
- Hell, B., 2009, *Towards the Compilation of a New Digital Bathymetric Model of the North Atlantic Ocean*, Stockholm University Licentiate Thesis.
- Jong, C.D. de, G. Lachapelle, S. Skone, and I.A. Elema, 2002, *Sounding Methods, Hydrography*, 1st Edition, Delft University Press, pp.363.
- McFeeters, S. K., 1996, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), pp.1425-1432.
- Tseng, K. H., C. Y. Kuo, T. H. Lin, Z. C. Huang, Y. C. Lin, W. H. Liao and C. F. Chen, 2017, Reconstruction of time-varying tidal flat topography using optical remote sensing imageries, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, pp.92-103.

Xu, H., 2006, Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), pp.3025-3033.



# 投稿須知

所有稿件以未曾在國內、外以任何形式刊載為限，且稿件內容不得有侵犯他人著作權或商業宣傳行為，否則由作者自行負法律之責任。文體以中文或英文撰寫為原則，並附中文及英文摘要。稿件須加註標點、分段及編列頁碼。內容編排以下列順序為原則：（一）封面：包括中文及英文之論文名稱、作者姓名、作者所屬單位、聯絡地址、電話、傳真、電子郵件住址；（二）中、英文摘要及關鍵詞等；（三）內文；（四）註釋；（五）謝誌；（六）參考文獻；及（七）附錄與圖表。審查通過後，無法直接由電腦列印之圖、表，應另附完稿之圖、表（不超過A4紙張），以利編排。圖或照片應以黑白為原則，如需彩色印刷請作者自行負擔費用。內文所引用之文獻須列於參考文獻，參考文獻請以姓氏筆劃多寡，依序以中文列出，之後再依英文姓氏之英文字母，依序以英文列出。各項格式書寫方式，請參考下列說明：

## 各項格式說明如下：

壹、文書檔案採 A4 直式橫寫書格式，版面邊界分別為上（2.54cm）、下（2.54cm）、左（3cm）、右（2.8cm），字體以新細明體及英文 Times New Roman 等兩種字體排版。

貳、首頁（Title page），應包含下列內容：

一、標題（Article Title）：包括中、英文文章篇名。

二、作者（Author's Name）：

1. 包括中、英文作者姓名。
2. 分別以中、英文註腳載明作者的職稱、單位。若作者有數人，則以阿拉伯數字 1, 2, 3... 個別標示。
3. 須標示通訊作者(加註\*)，註明連繫電話、E-mail，英文電話請以國際電話方式書寫。

三、摘要（Abstract）：包括中、英文摘要。

四、關鍵字（Keywords）：包括中文、英文關鍵字，分別列於中、英文摘要之下。

參、正文（Manuscript）

一、稿件標題章節編號層次及順序

中文請按「一，（一），1，（1），a」順序排列；英文則按「1，1.1，1.1.1...」順序排列。

二、引述用例

（一）直接引述：

中文請用單引號「」；英文請用雙引號“ ”，並以括弧標示引述文獻頁次。

（二）引述中復有引述，或特殊引用時：

中文單引號「」在外，雙引號『』在內。英文雙引號“ ”在外，單引號‘ ’在內。

### 三、文獻引述用例

#### (一) 文中註明引述文獻

1. 請以（作者，年份）方式表示。
2. 若有數篇文章以分號（；）區隔；中英文文獻分開，並各自以引述文獻之出版年份先後依序排列。
3. 若同一作者，有數篇文章同時引述，則以（作者，年份 1、年份 2）；若同一作者有同一年發表文章同時引述，則以（年份 a, b）表示。
4. 若一篇文章有 2 位作者，請全部列出。中文為（作者 A 與作者 B，年份）；英文為（作者 A and 作者 B, 年份）
5. 若一篇文章有 3 位以上作者（含 3 位），中文請用（第一位作者等，年份）；英文請（第一位作者 *et al.*, 年份）用。
6. 英文期刊第一作者姓在前，名在後，第二作者之後，名在前，姓在後。

#### (二) 文中已有作者姓名時

1. 請以作者（年份）方式表示
2. 若有數篇文章同時引述，則以作者 A（年份）、作者 B（年份）…表示
3. 若有必要加註說明時，請用註腳，內文註腳號碼使用上標

### 四、圖版、插圖及表用例

1. 圖名請置於圖之正下方，並以圖 1、圖 2……方式表示。
2. 表名請置於表格之正上方，並以表 1、表 2……方式表示。
3. 若引用他人圖表需註明資料來源。

### 五、公式寫法用例

以(1)、(2)、(3)…依序編號。例： $\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$  (1)

### 肆、參考文獻(References)

- 一、專書：作者，年份，《書名》，版次，出版地：出版者。
- 二、期刊論文：作者，年份，篇名，《期刊名》，卷期數，頁碼。
- 三、研討會論文：作者，出版年，論文名稱，《研討會名稱》。
- 四、博碩士論文：作者，年份，《論文名稱》，學校科系名稱(碩/博士論文)。
- 五、網路等電子化資料：作者（單位），年份，篇名，網站名稱，網址。
- 六、技術報告或研究報告：作者，年份，《報告名稱》，研究單位。

# 中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」 期刊論文審查辦法

中華民國 101 年 09 月 25 日第 16 屆第 6 次理監事聯席會議通過

第一條 為規範「國土測繪與空間資訊」期刊論文審查辦法(以下簡稱本辦法)，得依本會編輯委員會組織簡則第二條規定訂定之。

第二條 來稿經登記後由總編輯就來稿性質，邀請相關專長之編輯委員推薦審查委員。編輯委員會負責對審查委員及投稿作者保持雙向匿名方式審查，審查作業程序如附圖。

第三條 審查委員應於接到論文後三週內審查完畢，並將論文審查表(如附表)，連同論文寄回編輯委員會，審查意見表中須明確勾選其中一項：

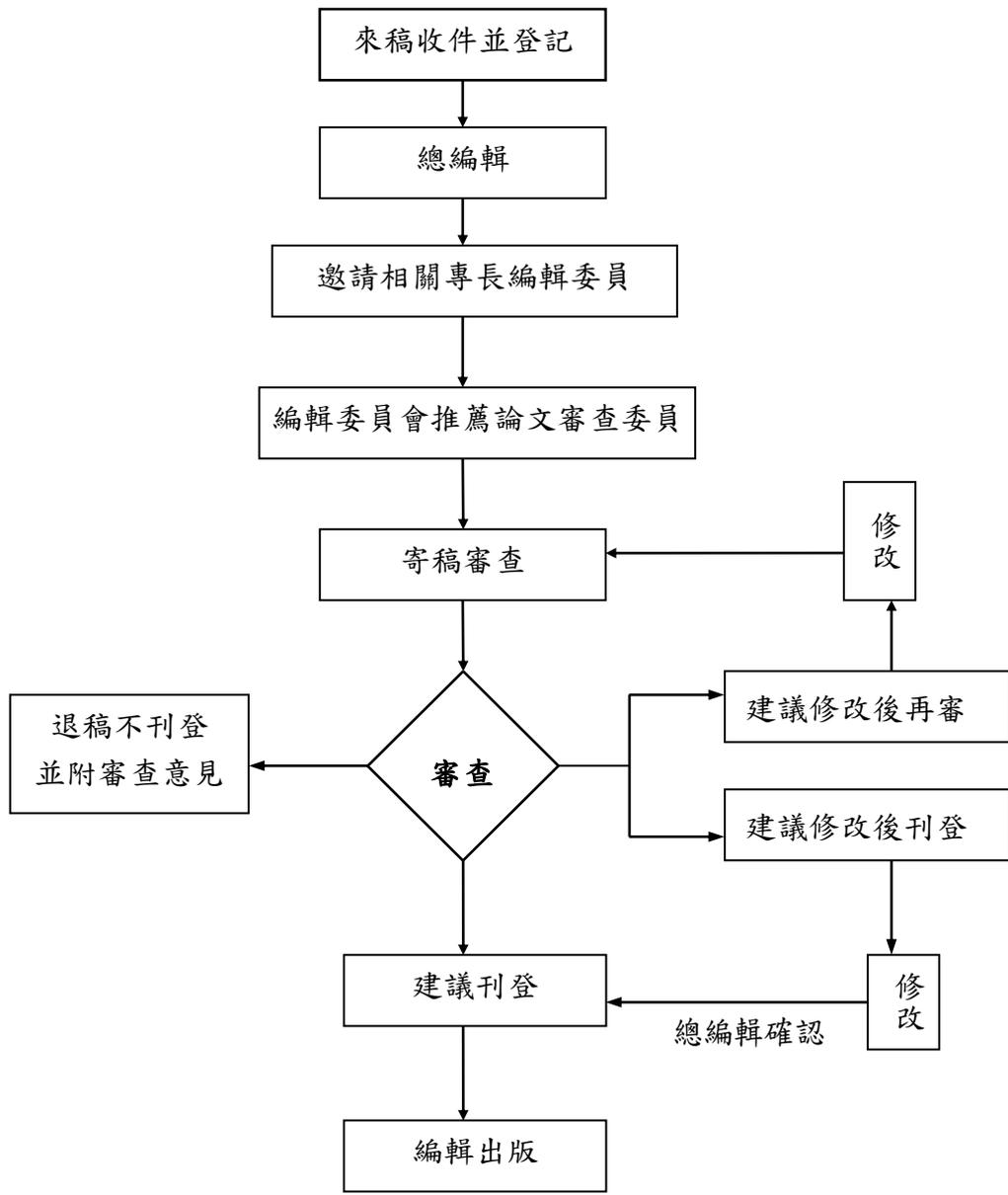
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

第四條 審查結果處理方式：

處理 方式 第一位 審查委員意見 第二位 審查委員意見	刊登	修改後刊登	修改後再審	不適刊登
刊登	刊登	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後刊登	寄回修改	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	不適刊登
不適刊登	第三位審查	第三位審查	不適刊登	不適刊登

附註：再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施，修改時亦同。



論文審查流程圖

# 國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

---

## 編輯委員會

主任委員 楊 名 國立成功大學測量及空間資訊學系

## 編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元 國立交通大學土木工程學系  
林老生 國立政治大學地政學系  
洪本善 逢甲大學土地管理學系  
洪榮宏 國立成功大學測量及空間資訊學系  
陳繼藩 國立中央大學太空及遙測研究中心  
黃倬英 國立臺灣大學地理學系  
詹士樑 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系  
楊明德 國立中興大學土木工程學系  
趙鍵哲 國立臺灣大學土木工程學系  
饒瑞鈞 國立成功大學地球科學系

總編輯 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

編輯 陳鶴欽 內政部國土測繪中心

幹事 黃郁恩 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

發行人 黃榮峰  
劉正倫

出版所 中華民國地籍測量學會  
內政部國土測繪中心

---

國土測繪與空間資訊  
TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第七卷第二期

民國一〇八年七月

Vol. 7, No. 2

July 2019

目 錄

CONTENTS

**UAV 正射影像應用於未辦地籍整理地區測量之研究**

陳俊達、方惠民、蕭松山、康秋桂.....67

**The application of UAV orthophoto on cadastral surveying of unregistered cadastral area**

Chun-Ta Chen, Hui-Ming Fang, Sung-Shan Hsiao, Ciou-Guei Kang

**水庫船載重力精進台灣大地起伏模型之可行性研究**

蕭宇伸、林世峰、鄭詠升.....87

**A feasibility Study on Enhancing Taiwan geoid model with Shipborne Gravity on Reservoirs**

Yu-Shen Hsiao, Shih-Feng Lin, Yung-Sheng Cheng

**運用多時期衛星影像探討外傘頂洲變遷**

彭新雅、曾國欣、錢樺、陳彥杖.....103

**Utilizing Multitemporal Satellite Images to Investigate Topographical Changes of Waisanding Sandbar**

Hsin-Ya Peng, Kuo-Hsin Tseng, Hwa Chien, Yan-Di Chen