

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

第九卷 第一期

中華民國一一〇年一月



VOLUME 9, NO. 1

January 2021

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 20 屆組織表

一、理監事會：

理 事 長：洪本善

副理事長：江渾欽

常務理事：蕭輔導、高書屏、紀聰吉

理 事：王定平、周天穎、楊名、崔國強、王啟鋒、吳宗寶、謝福來、謝福勝、吳相忠、邱仲銘、
張元旭、江俊泓、朱上岸、蕭萬禧、梁崇智、陳惠玲

常務監事：容承明

監 事：史天元、白敏思、蕭正宏、駱旭琛

秘 書 長：曾耀賢（兼任）

副秘書長：林志清（兼任）

秘 書：陳鶴欽（兼任）、何依屏（兼任）、陳世崇（兼任）

幹 事：何美娟（兼任）

二、各種委員會：

(一)服務委員會：

主任委員：王啟鋒

委 員：王定平、黃仰澤、賴澄標、鄭宏達、朱上岸、黃建華、李文聖、吳智維

幹 事：陳俊德

(二)編輯委員會：

主任委員：史天元

委 員：楊 名、甯方璽、周天穎、蔡慧萍、韓仁毓、曾國欣、張智安、饒瑞鈞

總編輯：周天穎、陳國華

編 輯：葉美伶、陳鶴欽

(三)研究發展委員會：

主任委員：高書屏

委 員：王宏仁、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：董荔偉、李孟娟

(四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導

委 員：張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來、劉正倫

幹 事：由本會秘書處兼任

(五)教育訓練委員會：

主任委員：崔國強

委 員：李文聖、朱上岸、陳俊達、黃建華、蕭介峰、葉文凱

總幹事：蕭泰中

幹 事：林以恆

(六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎

委 員：盧鄂生、王聖鐸、陳惠玲、朱上岸、黃建華、高書屏

總幹事：葉美伶

幹 事：邱明全、湯美華、陳家卉

(七)界址鑑定及諮詢委員會：

主任委員：盧鄂生

委 員：邱仲銘、崔國強、謝福勝、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、蕭萬禧、王啟鋒、黃玉鐘

幹 事：陳世崇

學會地址：408台中市南屯區黎明路二段335巷28號

網 址：<http://www.cadastralsurvey.org.tw>

電子郵件：cscs.editor@gmail.com

犯罪熱點分析方法及其應用：以 2015-2018 年桃園市 機車竊盜犯罪為例

溫重翰¹ 張智安^{2*} 史天元²

論文收件日期：109.05.31

論文修改日期：109.09.24

論文接受日期：109.10.30

摘 要

竊盜為社會中常見犯罪類型，在世界各國更是所有刑案類型中犯案件數的最大宗。而在台灣，汽機車竊案更是所有刑案中犯罪率最高的類別。犯罪區域研究，如果能考慮空間異質性和空間自相關的特性，對於犯罪行為受到空間的影響，能較僅以行政區域劃分之量化統計數據，呈現更好的觀察與詮釋。本研究探討桃園市機車竊盜的犯罪地圖製作，以地理資訊系統為基礎，分別以宏觀層次與微觀層次兩個部分分析。前者以不同的統計尺度的面量圖繪製，探索犯罪地點的空間分布；後者先用核密度推估法產製機車竊案的熱點分布圖，並以全域型空間自相關，探討機車竊案地點是否有聚集的現象，再利用區域型空間自相關分析，推算出機車竊案的空間熱點，最後定義桃園市機車竊盜的長期熱區與近期的潛在熱區。

關鍵詞：地理資訊系統、空間自相關、核密度推估法、竊盜犯罪熱點。

¹ 碩士，國立交通大學土木工程學系。

² 教授，國立交通大學土木工程學系。

*通訊作者，TEL：(03)5712121#54929，E-mail：tateo@mail.nctu.edu.tw。

Crime Hotspot Analysis: A Case Study of Vehicle Theft in Taoyuan City, 2015-2018

Tsung-Han Wen¹, Tee-Ann Teo^{2*}, Tian-Yuan Shih²

Abstract

Theft is a common crime. The occurrence of theft has the highest percentage among crimes world-wide. Among all types of theft, motor vehicle theft has the highest rate in Taiwan. Crime analysis with spatial heterogeneity and spatial autocorrelation could provide better spatial reasoning of the crimes, than simply deriving quantitative statistics with administrative units. This study investigates the theft of motorbikes in Taoyuan metropolitan area through mapping the locations of reported theft. Based on the Geographic Information System, both macro and micro approaches were conducted. The former was carried out with a choropleth map to delineate the spatial distribution of the general trend. The latter applied kernel density function to generate maps of criminal hotspots. Global spatial autocorrelation analysis is conducted to evaluate whether there are clustered spatial patterns. Then, local spatial autocorrelation is utilized to derive the hotspot and identify both long-term motorbike theft hotspots and recently developed potential hotspots.

Keywords: Crime Hotspot, Geographic Information System, Kernel Density Estimation, Spatial Auto-correlation.

¹ Master, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

² Professor, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

* Corresponding Author, TEL: +886-3-5712121 #54929, E-mail: tateo@mail.nctu.edu.tw.

一、前言

自古至今，犯罪問題的探討皆受到人民的重視與關注，西元 1954 年美國心理學家馬斯洛便提出人類的需求層次理論，當中提及人類獲得最基本之生理需求後，將追求安全層次上的滿足，以保障自身安全與擺脫財產喪失之威脅(維基百科, 2020)。犯罪之類型之繁多，其中竊盜犯罪於世界各地，大多是所屬刑案類型中犯案件數的最大宗，台灣竊盜之犯罪率更是年年之最。同時，雖然多數竊案定罪皆屬於輕罪，竊盜案件數卻是影響民眾對治安感受的重要指標。台灣在過去因社會結構快速異動與迅速都市化，導致犯罪問題日趨嚴重，竊案發生數自 1984 年的 27,962 件，到 2004 年的 330,097 件，竊案發生件數成長了 10.8 倍(如圖 1 所示)。

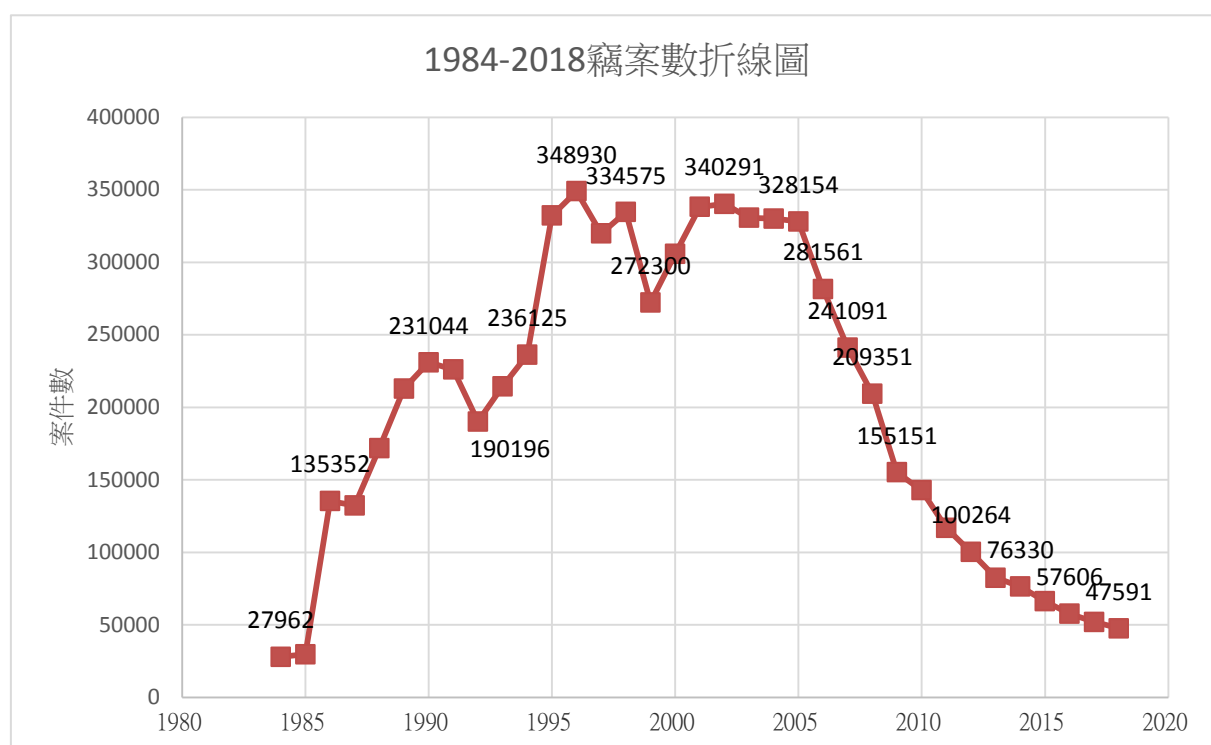


圖1 台灣 1984 年至 2018 年竊盜案件數統計圖(整理自警政署警政統計年報)

近年來受到內政部警政署推行各項竊盜偵防的措施，自 2005 年的 328,154 件，至 2018 年的 47,591 件，竊案發生件數大幅減少，如圖 1 所示其案件數將近為 2005 年的六分之一。美國諮詢公司蓋洛普(Gallup)於去年發布之「2019 全球法律與秩序報告書」(Global Law and Order)中，台灣的「法律與秩序指數」為 89 分，與鄰近國家同時為世界最高分之新加坡的 97 分有很大落差，隨著科技進步與生活水平之提升，民眾對於社會治安的要求也與日俱增，即便竊盜案件數有明顯的減少，但近幾年的減少幅度趨於平緩，且每年仍有將近 5 萬筆竊案發生，與民眾的期許有些許落差，仍存有可以改善之處。

竊案類型又分為重大竊盜、汽車竊盜及機車竊盜，各類型的犯案數與犯案特性皆有所不同。其中，機車竊盜發生件數最多，汽車竊盜案件數普遍僅為機車竊盜案件數的四分之一，占竊盜案件的 57%（陳煌明，2012），為影響民眾較大之竊案類型，故機車竊盜問題是需要高度重視的。

根據內政部警政署 2019 年統計，竊案件數較 2014 同期減半，防竊作為有成，主要受益於執行「提升住宅竊盜偵防效能執行計畫」、「掃蕩汽機車及自行車竊盜犯罪」、「同步查緝易銷贓場所行動」及「民生等各類防竊貼碼服務」四項防竊工作計畫，而犯罪熱區的分析在其中都扮演重要腳色。不僅如此，犯罪熱區分析更為警察機關在設立巡邏點與警民通報系統建置時的重要參考依據。

故台灣的汽機車竊盜問題是受到警察機構與政府的重視，而相關的犯罪研究在國內外皆已討論了數十年，提出的犯罪理論大致上可以分為注重於解釋犯罪者之行為心理學與強調犯罪事件本身之研究（孟維德，1998）。如果僅以大尺度劃分之區域為單位（里）透過量化犯罪數據，繪製統計圖表並輔以解釋性文字來呈現，而未考量案件發生處之地理環境，其屬性差異可能使犯罪案例間存在空間異質性(Spatial heterogeneity)之現象。同時，若亦缺乏能顯示案件空間分布特性之空間自相關(Spatial autocorrelation)分析，易造成犯罪理論的詮釋能力受到空間變異的影響而趨為薄弱(賴致瑜，2006)。

受惠於地理資訊系統的普及與政府資料開放的推動，台灣的警政機構將輕罪之犯罪資料發布至政府資料開放平台，如桃園市警察局提供之桃園市汽車、機車與自行車竊盜案件時空資訊，供研究人員或是政府機構將犯罪理論與地理資訊系統相互結合，作為相關政策制定時的參考依據。多數犯罪區位分析以里為最小單元進行(李瑞陽，2010；溫在弘，2010)，雖然皆能得到合理之解釋，但事實上犯罪之發生位置並不受限於其邊界，故本研究著眼於最適犯罪區位統計單元之探討。

近年國內犯罪研究多結合點資料與面資料進行綜合討論，利用核密度推估方法進行點資料分析中，以描述犯罪空間風險的連續分佈，以 Anselin's LISA 和 Getis-Ord's Gi 方法分析面資料以將犯罪熱區顯示在地圖上（馬旺，2020；吳信寬，2020）。於熱點分析方法中多以全域至局部之分析方式，先以 Moran's I 檢定進行全域分析，後以局部空間自相關進行區域分析，以找出冷熱點之群聚分布（張芳瑋，2018）。

本研究目的為桃園市機車竊盜的案例研究，主要探討機車竊盜的犯罪地圖製作，以地理資訊系統為基礎。主要研究分為宏觀與微觀兩個層次。前者透過不同的統計尺度進行機車竊盜案件面量圖繪製，以探索犯罪地點的空間分布；後者主要研究不同尺度下的熱區分析，並依照不同的理論基礎進行分析，最後予以統整與比較。

二、研究材料與方法

本研究的犯罪資料為透過桃園市政府開放資料平台下載，資料範圍為 2015 至 2018 四年的桃園市機車竊案犯罪資料，檔案格式為以純文字儲存的 CSV 檔，資料內容包含：案件類型、發生日期（年、月、日）、管轄單位（局、所）、經緯度坐標。「圖層資料」於政府資料開放平台下載，包含桃園市行政區圖層、桃園市鄰里圖層、桃園市最小統計區圖層。本研究的資料處理使用屬於開源軟體的 Quantum GIS v3.4 (QGIS Development Team, 2020)與空間統計軟體 GeoDa v1.14 (Anselin, et al., 2006)。

(一)宏觀層次

在宏觀層次以面量圖(Choropleth Map)，採用分層設色方式，繪製主要犯罪地點空間分布。面量圖的原理，為將目標物件量化並附屬於該空間分割尺度的領域內，並以設定的區間進行階層式的分類。而區間選擇的方式依需求而異，不同的區間分類方式都直接影響面量圖的重點呈現，目前常見的區間分類方法有用於資料有明顯變化時分類的「自然分級」(Natural Break)、突顯極值的「分位數」(Quantile)、將極值淡化的「等間距」(Equal Interval)與以標準差進行階層分類的「標準變異」(Standard Variation)。

本研究旨在討論犯罪點位的空間分布，並假設犯罪資料在空間上有明顯的聚集，故選擇使用「自然分級」的分類方式分為五類。「自然分級」為美國製圖師 George Frederick Jenks 提出，旨在設法使每個類別與類別平均值的平均偏差最小化，同時使每個類別與其他類別均值的偏差最大化而分類的。亦即是，該方法試圖減小類內差異並使類間差異最大化(Jenks, 1967)。

(二)微觀層次

微觀層次是相較於宏觀層次中面量圖只透過量化的圖層資訊進行分類展示，提出以犯罪點位坐標進行分析與透過統計檢定來進行空間自相關的犯罪熱區分析兩種更富含犯罪點位的空間關係的研究方式。

方法一為犯罪點資料坐標的全域分析，首先進行最近鄰分析(Nearest Neighbor Analysis)，分析犯罪點位在全域空間分布上是否有隨機、散佈或是群聚。透過最近鄰分析僅能得知犯罪點位是否聚集，但無法得知聚集確切的位置，也就是無法得知犯罪熱點。故爾後透過核密度推估法(Kernel Density Estimation)，將所有犯罪事件透過核函式產生核密度表面，找出犯罪熱點的分布位置。

方法二的研究方法邏輯與方法一相似，差別之處在於方法一使用的是犯罪點位的坐標分析，而方法二為以屬性資料為主的空間自相關分析。為能歸納現行之統計尺度單元(區、里、鄰)是否適用於犯罪熱點之分析，以面資料取代點資料進行空間

自相關計算，同時彌補點資料僅能提供犯罪之連續分布未能明確指出熱區位置之不足。首先依照不同的統計尺度將，將各尺度單元內的犯罪案件進行計量並賦予其屬性，爾後進行全域(Global)的空間自相關分析，探討各尺度單元在全域中的分布情形，透過 Moran's I 值判斷犯罪統計單元是否群聚及透過標準化值(z-value)檢視群聚程度。得知全域空間有群聚的現象後，並不能直接獲得犯罪熱區的位置，故本研究運用 Anselin (1995)提出的「空間相關之區域指標(Local Indicators of Spatial Association, LISA)與 Getis & Ord (2010)提出的 Getis-Ord's Gi(d)統計方法，透過區域(Local)的空間自相關分析找出犯罪熱區的實際位置。本研究透過不同顯著水平去定義犯罪的長期熱區(Permanent hotspot)與潛在熱區(Potential hotspot)。

1. 最近鄰分析 (Nearest Neighbor Analysis)

最近鄰分析的演算法計算每個點與最近點之間的距離，令其為 d_o (Observed mean distance)(式 1)，並與「完全空間隨機性」(Complete Spatial Randomness, CSR)模式的隨機點樣本的期望值進行比較 d_e (Expected mean distance)， d_e 指的是不考慮研究區域邊界的無限平面上的理論期望值， d_{ij} 是指點 i 與最近點 j 的距離， n 為事件點總數。 I_{NN} (Nearest Neighbour index)即為 d_o 與 d_e 兩者的比值(式 2)，平均最近鄰分析是用來計算點資料分佈狀況的指數，假若計算數值大於 1，則此資料是屬於分散的分佈；假若計算分析結果的數值小於 1，則此資料是屬於具有群集的分佈；假若計算分析結果數值接近於 1，則此資料是屬於隨機的分佈（湯巧君，2007）。並可以透過標準化值 Z-Score 檢視群聚或是分散的程度(式 3)，Z-Score 為觀測值 d_o 與期望值 d_e 之差值與其標準偏差之比值。Z-score 負值表示有群聚現象，負數數字部分越大群聚明顯集中；Z-score 正值表示離散現象，數字越大則現象越明顯。

$$d_o = \frac{\sum d_{ij}}{n} \quad (1)$$

$$I_{NN} = \frac{d_o}{d_e} \quad (2)$$

$$Z_{score} = \frac{d_o - d_e}{std} \quad (3)$$

2. 核密度推估法(Kernel Density Estimation)

核密度推估法是先於研究場域內建立均勻網格，後以每個網格中心點透過搜尋半徑方式建立其搜尋範圍，計算半徑範圍內的事件數，估算罪案發生地點在空間上出現的機率密度（溫在弘，2010），以此來表示犯罪點位群聚的強度及位置(圖 2)，常用的核函數密度推估公式如下：

$$\hat{f}(s) = \frac{1}{(n\tau^2)} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{s-s_i}{\tau}\right) \quad (4)$$

其中 $\hat{f}(s)$ 表示為核(Kernel)估算的函數密度值， s 代表為研究場域內的犯罪點坐標 $s_1, s_2, \dots, s_n$ ， n 為犯罪點總數， τ 為搜尋半徑參數， $s - s_i$ 為在第 i 各位置時的坐標向量。當核密度函數值越大時，代表有越多點聚集的現象； k 為雙變量之機率密度函數； τ 為搜尋半徑且可視為函數平滑量之大小，本研究以機車竊盜點位為核心 s ，搜尋半徑 τ 設為 500 公尺 (溫在弘，2010)，網格尺寸設為 100 公尺×100 公尺，計算半徑範圍 τ 內的機車竊盜事件數，產生機率密度面以顯示犯罪熱區。

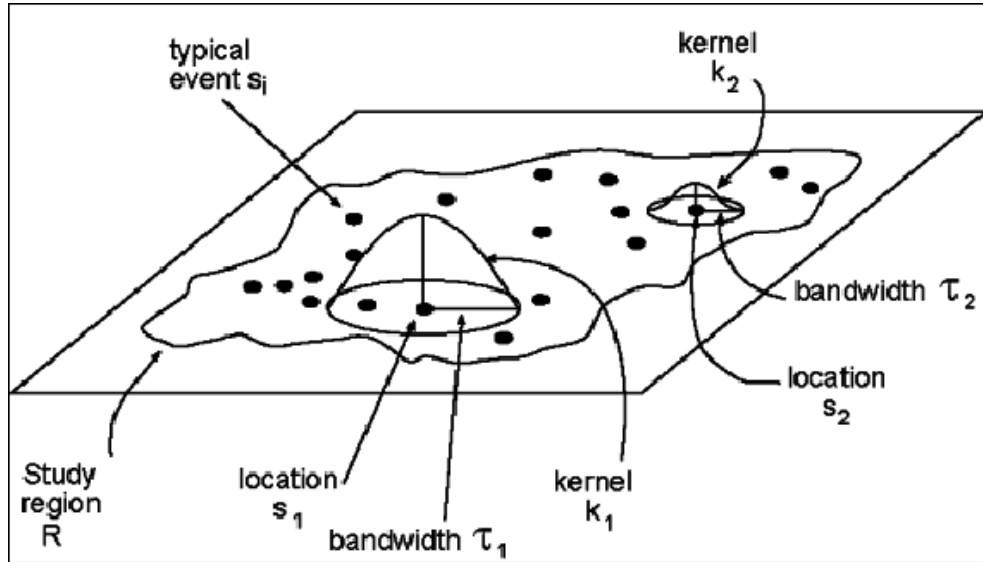


圖2 核密度推估法(Bailey & Gatrell, 1995)

3. 全域空間自相關 (Global Spatial Autocorrelation)

全域空間自相關計算的是以統計學領域中之相關係數為基礎，透過變異數推演而得。本研究以 Moran's I 值作為全域型空間自相關的檢定，透過 GeoDa 軟體操作呈現，而全域 Moran's I 的公式如下：

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

其中， N ：空間單位數量； w_{ij} ：相鄰單位間的權重； x ：目標點的變數； $\bar{x}$ ：目標點變數的平均； W ：權重之總和。

本研究的空間權重計算使用強調環域特性的 Queen contiguity 定義之空間相鄰矩陣如圖 3 所示，相鄰空間權重 w_{ij} 使用基於圖論(Graph theory)之 Queen 鄰近矩陣表示，其概念為每一個空間單元 i 之邊界(edges & vertex)與範圍內空間單元 j ($j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$) 空間相鄰之描述，若 i 與 j 相鄰表示為 1，不相鄰則表示為 0。之透過 Moran 散佈圖呈現並計算 Moran's I 值後示例於圖 4，以隨機組合化(Random permutation procedure)過程進行隨機分布的顯著性檢定，GeoDa 操作過程如下：

創建 Moran 散布圖：線性擬合的斜率僅提供 Moran's I 的估計值，但不提供顯著性檢定的任何資訊。其中 Moran's I 是表示目標物件在全域空間中分布的關聯程度，I 值值域為正負 1 之間， $I > 0$ 為正相關， $I < 0$ 為負相關，值越大表示空間上有群聚的現象；反之，值越小代表空間分佈相關性小，而當值趨於 0 時，即代表空間分佈呈現隨機分佈。

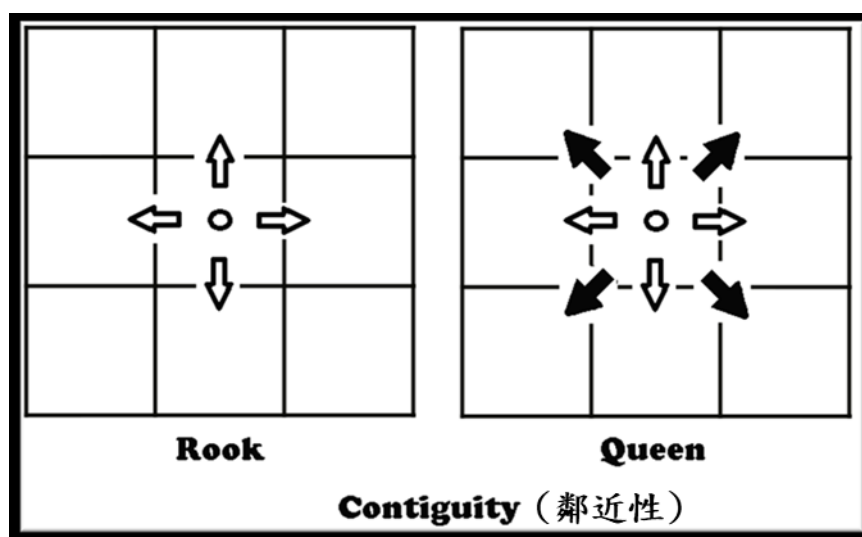


圖3 空間相鄰矩陣示意圖(Tenney, 2013)

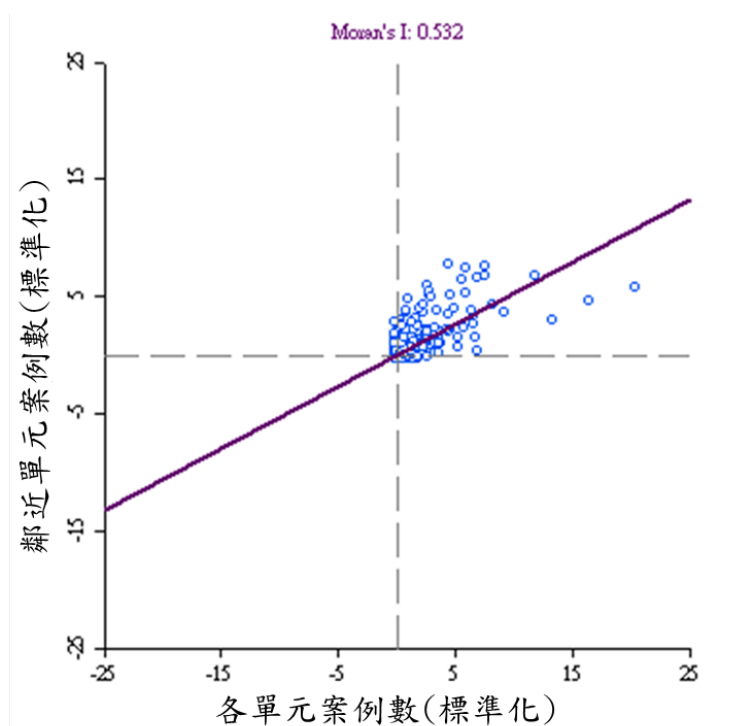


圖4 Moran 散布圖(由 GeoDa 繪製)

顯著性檢定部分為透過將 Moran's I 統計量轉換為標準化的 Z-value 進行，Z-value 公式如式 6-8，I 為 Moran's I 值；n 為特徵數(點數)。在 5%顯著水準條件下，若 $Z(I) \geq 1.96$ 時，表示其空間分佈有顯著的正相關；Z(I)若介於正負 1.96 之間，表示空間分佈的關連性不明顯，空間自相關性較弱；若 $Z(I) \leq -1.96$ 時，則表示其空間分佈呈空間負相關性，Moran 散布圖之線性擬合的斜率僅提供了 Moran's I 之估值，需透過隨機置換(Randomize permutation)進行運算，圖 5 中 permutations 為置換數，並以 0.001 作為最極端情況下之 pseudo p-value，意即所有置換後的數據集都不會產生比實際數據及觀測之 Moran's I 還大的值。I 為實際觀測之 Moran's I 值， $E[I]$ 為 I 之期望值，mean 為參考分布之平均值，std 代表參考分布之標準偏差，z-value 即為式 6 計算之結果。

隨機置換之運算結果為統計直方圖，如圖 5 所示為空間分布有極顯著正相關之案例，綠線顯示為實際數據之 Moran's I 值，位於假說檢定隨機置換分布之右側，表示強烈拒絕空間分布沒有自相關之原假說。

$$Z_{value} = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (6)$$

$$E[I] = -1/(n - 1) \quad (7)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (8)$$

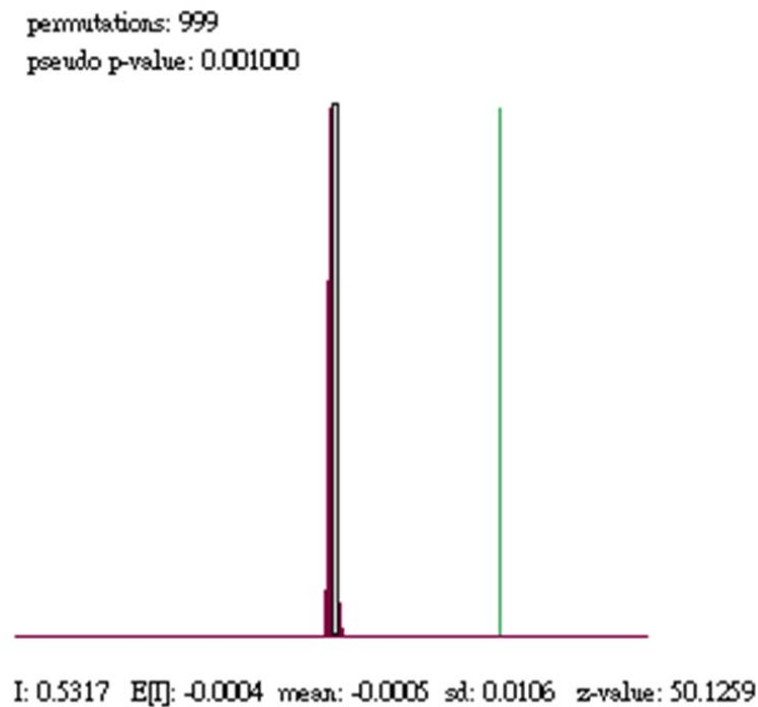


圖5 Moran's I 顯著性檢定(由 GeoDa 產製)

4. 局部空間自相關 (Local Spatial Autocorrelation)

由於全域型空間自相關無法得知事件群聚的位置，故 Anselin(1995)提出了空間自相關的局部指標(LISA)，可以用來指出熱點位置。其原理為全域型的空間自相關 Moran's I 的延伸，圖 5 中 Moran 散布圖中的四個象限分布可以用以判斷每個空間單元本身與周邊空間單元的關係，集中於第一象限表示該空間單元本身犯罪數高的同時也被高犯罪數的空間單元包圍，但並不表示落於第一象限的所有空間單元皆為犯罪熱點，故延伸的 LISA 群聚圖(LISA cluster map)可以透過改良的統計方式，獲得各空間單元與整體影響程度的關係，進而判斷出空間群聚的區域，也就是找到犯罪的顯著熱點。

局部空間自相關的統計方式很多，本研究使用 LISA (Anselin, 1995) 與 $G_i(d)$ (Getis & Ord, 2010) 之統計方式，其數學式如下所示：

$$I_{LISA} = z_i \sum_i w_{ij} z_j \quad (9)$$

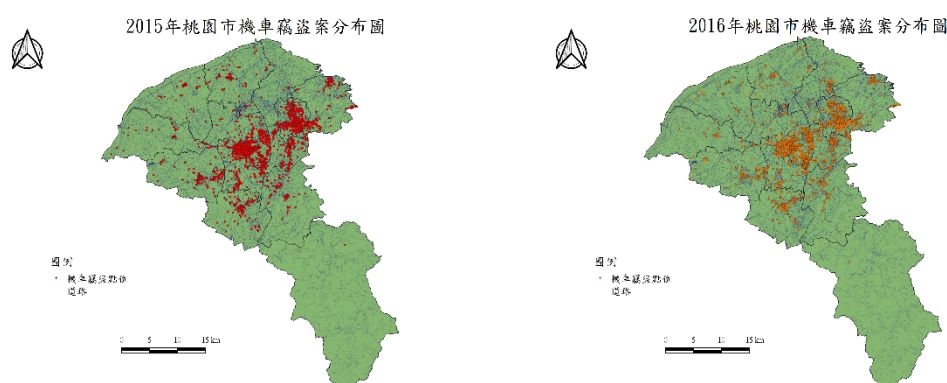
其中， w_{ij} ：相鄰單位間的權重； z_i, z_j ：不同空間單元標準化值

$$G_i(d) = \frac{\sum w_{ij}(d) x_j}{\sum x_i} \quad (10)$$

其中， $w_{ij}(d)$ ：距離 d 相鄰單位間的權重； x_i, x_j ：不同空間單元之變數

三、實證分析(桃園市機車竊案為例)

從政府開放平台獲得之桃園市機車竊盜案例之資料，內容包含案件發生之日期（年、月、日）、管轄單位（局、所）、經緯度坐標等等屬性資料，即可透過各案件之點位坐標依不同年份繪製各年度之機車竊盜案例分布圖，如圖 6。竊案點位分布圖透過 Quantum GIS v3.4 開源軟體繪製。依桃園市機車竊案點位分佈可以發現其犯罪點位在視覺上有明顯的聚集，故符合研究初始之假定。



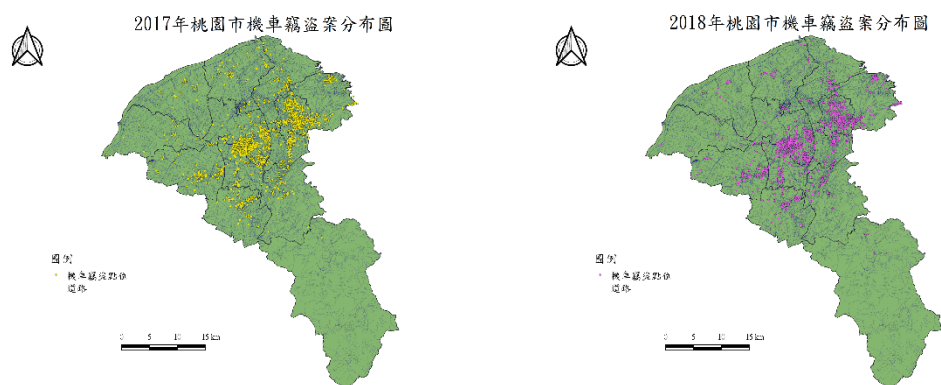


圖6 桃園市 2015-2018 年機車竊盜點為分布圖

(一) 面量圖分析

為宏觀層次之探討，將各犯罪點位與行政劃分單元分別進行計量統計，並以此繪製桃園市機車竊盜的犯罪面量圖，包含不同尺度的面量圖呈現。圖 7、8、9，為分別以區(Town)、里(Village)、最小統計區 (Basic statistical area)為空間單元製作的桃園市機車竊盜面量圖，並自 2015 至 2018 年分別進行繪製。

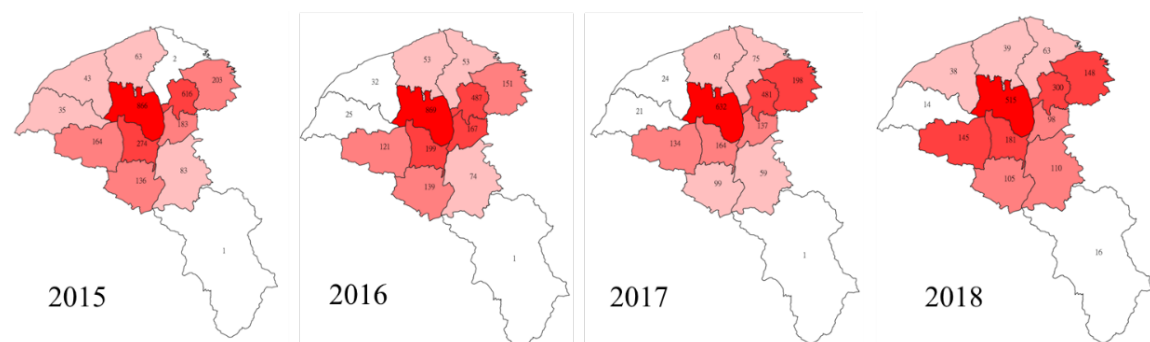


圖7 桃園市 2015-2018 年機車竊盜面量圖(區)

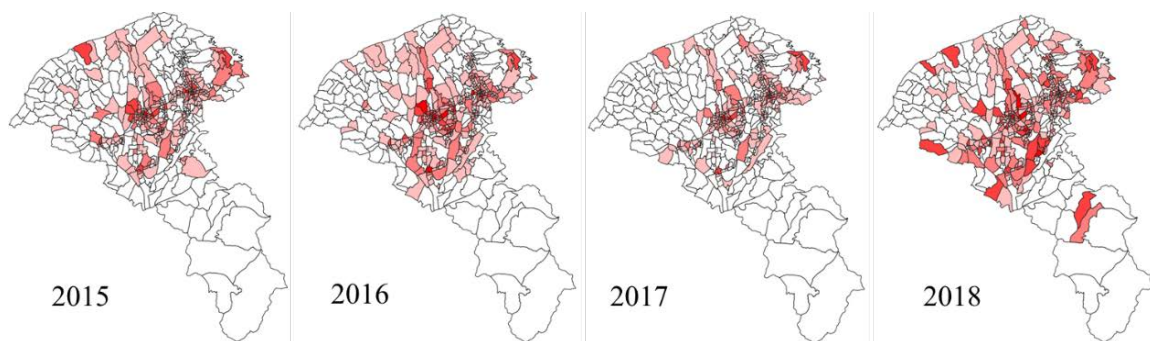


圖8 桃園市 2015-2018 年機車竊盜面量圖(里)

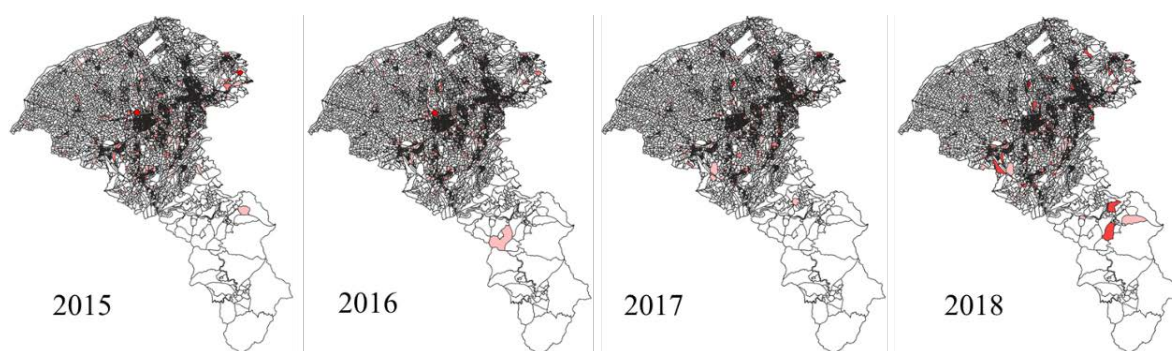


圖9 桃園市 2015-2018 年機車竊盜面量圖(BSA)

以內政部界定各分界去繪製面量圖，視覺上皆很難去定義出桃園市機車竊盜的犯罪熱點，且即便能得知犯罪數集中的區域也會受限於空間單元的尺度，缺乏犯罪點位真實的空間資訊，容易造成推定上的武斷。在諸多犯罪學的研究中發現，犯罪的發生受到很多社會因子影響，但區界、里界與最小統計區在建置時是以統計內政相關資訊為主，並沒有考慮犯罪因素，且犯罪的發生普遍不受限於此類界線。本研究將圖層分割成 $1000 \times 1000\text{m}$ 之網格（黃信超，2015；陳威哲，2016），並額外探討更細尺度 $750 \times 750\text{m}$ 及 $300 \times 300\text{m}$ 之網格對空間自相關計算上之影響，繪製得圖 10、11、12。網格的切割方式為先設定固定的經緯度區間，而區間含括整個桃園市，並分別以 1000m 、 750m 、 300m 三個尺度去進行面量圖的繪製。透過網格的切割方式的面量圖得知，若能找到適當的網格大小便能透過面量圖展示熱區位置，而網格越小(300m)時越接近點狀的分布，在視覺上沒有 1000m 與 750m 呈現的犯罪分布集中的顯著。網格在初步展示熱區上是優於透過區、里與最小統計區分界的面量圖的，由次可以證實犯罪點的分布是呈多核放射狀，並不受限於界線。雖然網格能透過視覺呈現機車竊盜集中分布的區域，但其缺乏理論基礎，且不同的面量圖區間間格與不同的網格尺度都直接影響成果。

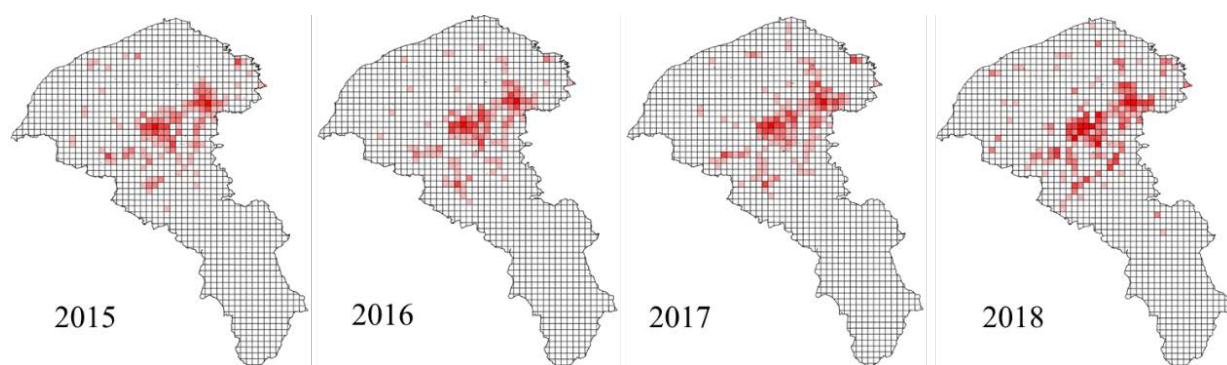


圖10 桃園市 2015-2018 年機車竊盜面量圖(1000m)

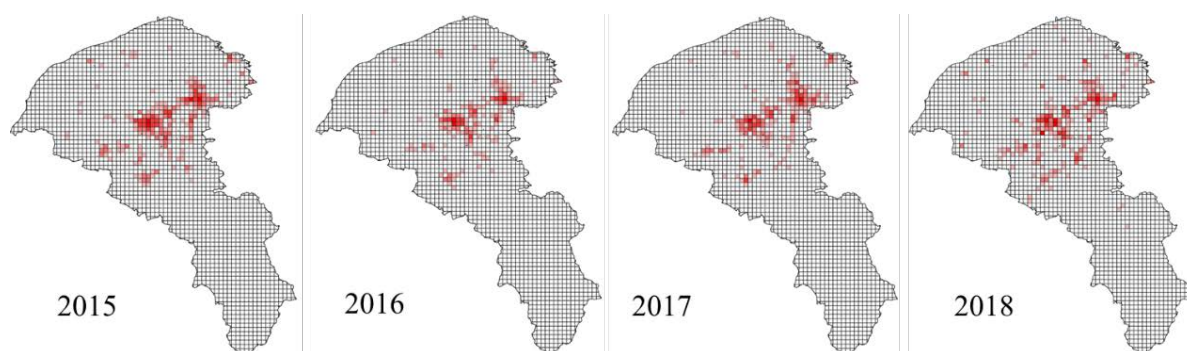


圖11 桃園市 2015-2018 年機車竊盜面量圖(750m)

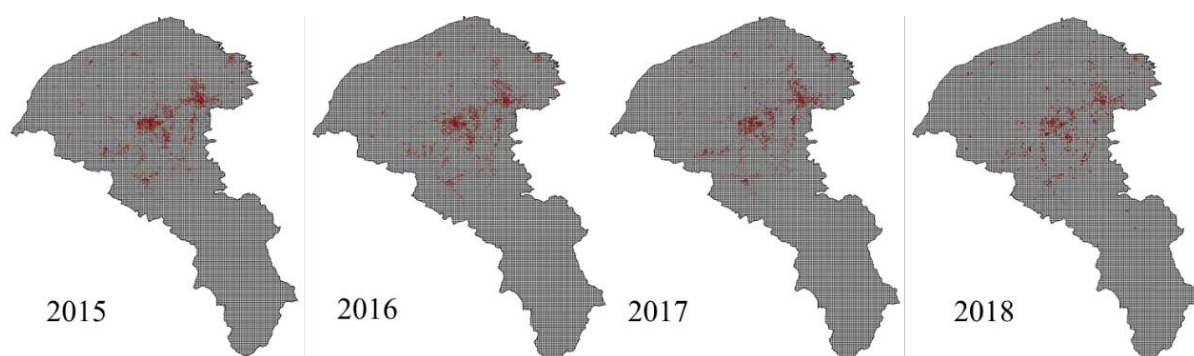


圖12 桃園市 2015-2018 年機車竊盜面量圖(300m)

(二) 犯罪熱區分析

1. 點資料坐標熱區分析

微觀層次之犯罪熱區探討，先透過最近鄰分析確定犯罪點位在全域空間中有群聚的現象後，以核密度推估法進行犯罪熱區圖繪製。各年機車竊盜點為最近鄰分析結果如下表 1，表中各年份的最近鄰指標都為大於零且小於 1 的值，代表在全域空間中都呈現群聚的分布，其中以 2015 年標準化後 Z-score 值負的最大表示犯罪點位越聚集，但與其餘三年差異不大，意指桃園市竊盜犯罪點位在空間中都有明顯的群聚，且歷年如此，故皆可以進行核密度的推估繪製熱區圖。

2015-2018 歷年的核密推估後的機率密度圖(圖 13)可以看出桃園市機車竊盜點位分布於 2015 至 2017 有兩個顯著熱區，這三年的顯著熱區大略位置幾乎沒有遷移，於歷年犯罪統計資料即能看出 2018 年機車竊盜數量漸減，但透過熱區分析能進行分區之討論並審視易發竊案之區域，故從機率密度累積值的區間可以得知，機車竊盜犯罪數大幅減少且皆低於橘色之歸一化機率密度區間，但仍能看出機車竊案易發處有聚集之行為。

表 1 最近鄰分析

年分	Nearest neighbor index	Z-Score
2015	0.32837843146087475	-66.3788622832287
2016	0.3388545903710266	-61.61362186924572
2017	0.3581429579796887	-56.09580926608075
2018	0.27742836511949526	-58.18936938421187

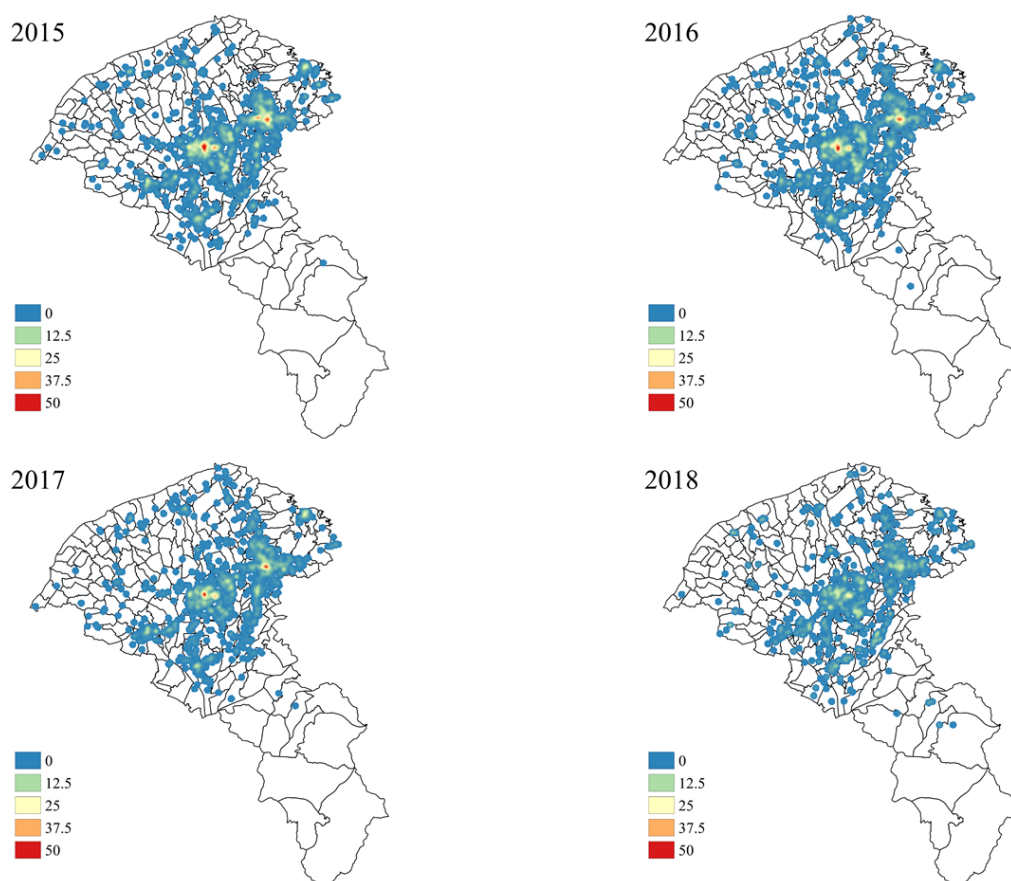


圖13 桃園市 2015 至 2018 年機車竊盜機率密度圖

2. 全域空間自相關分析

此部分探討不同空間劃分單元與犯罪案點位間之關係，首先分別進行區、里、最小統計區與三種不同網格大小的空間單元全域空間自相關計算，並透過顯著性檢定比較各自差異，表 2。以區界作為空間單元的 Moran's I 散布圖線性擬合的斜率為負數，同等於 Moran's I 值為負取趨於零，即代表空間分佈為負相關或是接近隨機分佈，如圖 14。以網格為空間單元的 Moran's I 值都大於零，且皆通過 95%信心水準的顯著性檢定，故在空間上都有顯著的聚集現象，其中以網格大小為 750m 的空間單元的 Moran's I 最大，圖 15，故以此尺度大小進行下一步驟的熱區分析。

表 2 全域空間自相關

空間單元	Morans'I	Z-value
區	-0.069	0.0591
里	0.0391	15.1471
最小統計區	0.135	27.5962
Grid-1000m	0.487	35.9681
Grid-750m	0.532	50.1259
Grid-300m	0.511	121.6288

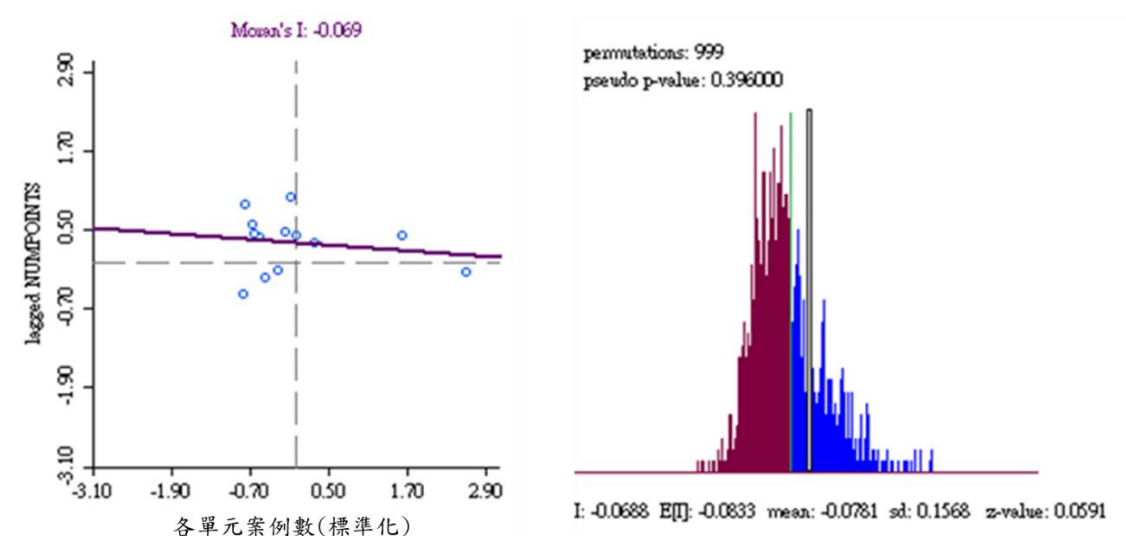


圖14 全域空間自相關(區)

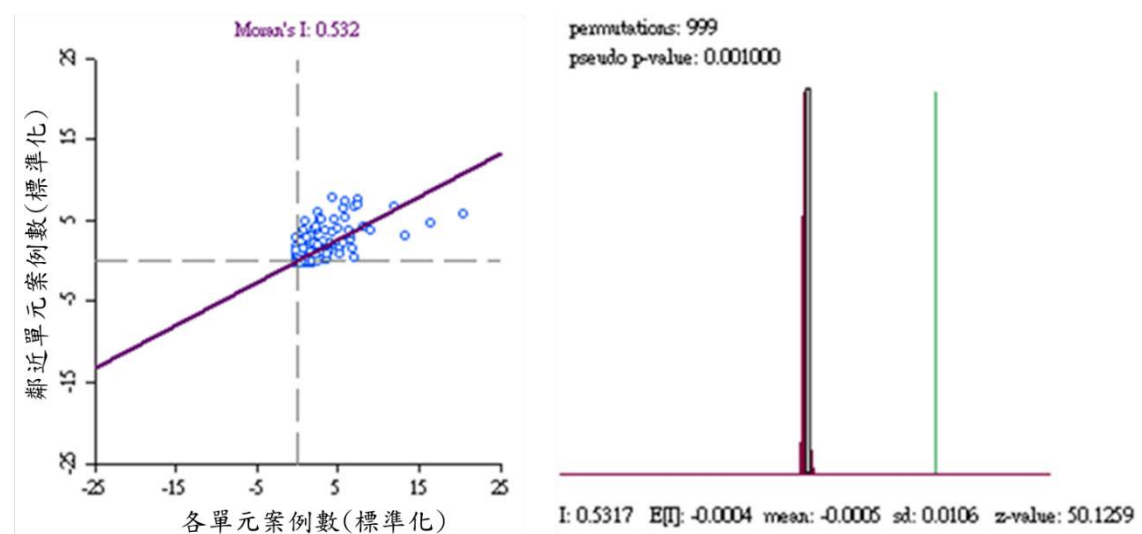


圖15 全域空間自相關(Grid-750m)

3. 局部空間自相關分析

本研究利用了 LISA 與 Gi(d)兩種統計方式進行局部空間自相關分析與群聚圖的繪製，兩個方式在 99%信心水平時呈現的顯著熱區群聚區域完全相似，但在 95%信心水平時有些許的不同，在分析兩者差異時察覺 Gi(d)的群聚圖成果較能以相同統計檢定方式指出顯著冷點(Coldspots)，故在定義長期熱區與潛在熱區時，使用 Getis-Ord's Gi(d)統計群聚方式。長期熱區或稱極度顯著熱區，其定義為研究時域內都為熱區且通過 99%信心水平的區域；潛在熱區的定義則為在研究時域內每年皆通過 95%信心水準的顯著區域。圖 16 呈紅色區域為通過顯著性水平 α 為 0.01 檢定之顯著熱區，淡紅色為通過顯著性水平 α 為 0.05 檢定之顯著熱區，Gi(d)圖中藍色區域為通過顯著性水平 α 為 0.01 顯著檢定的顯著冷區。圖 17 為 2015-2018 年各年通過 α 為 0.01 顯著檢定的網格，重疊區域即為長期熱區。

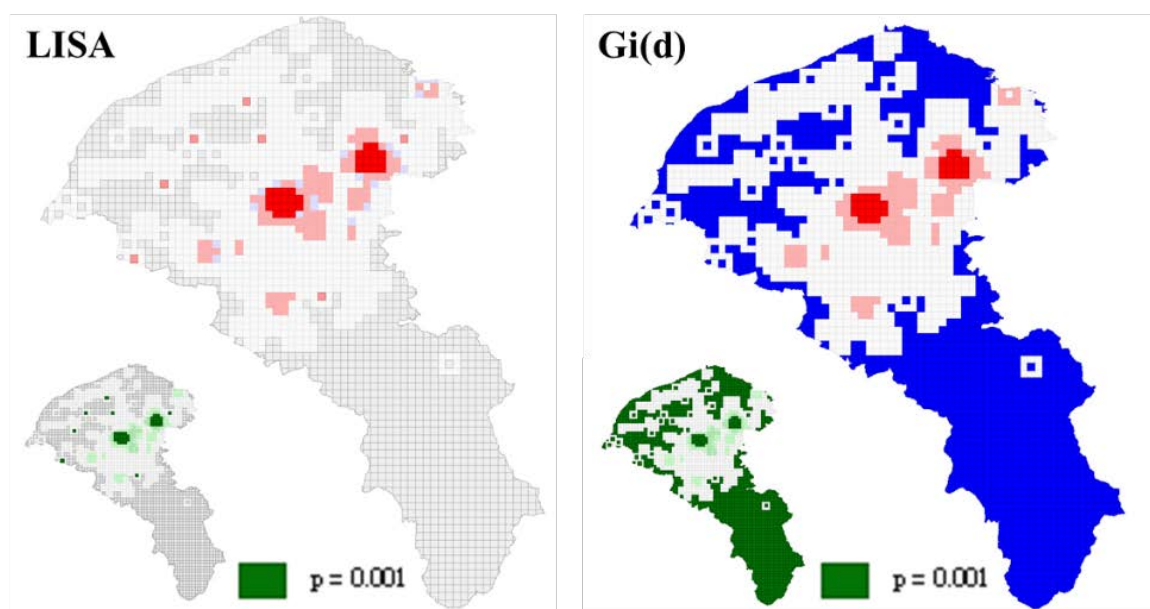


圖16 LISA 與 Gi(d)比較

從歷年通過 99%信心水平的顯著熱區重疊區域定義的長期熱區或極度顯著熱區，可以將機車竊盜犯罪嚴重的真實區域框選出來，圖 18。而歷年通過 95%信心水平重疊區域的潛在熱區如圖 19，於方法一的核密度機率圖中並未能指出此機車竊盜熱點，雖然其聚集程度沒有長期熱區強烈，但其仍通過 α 為 0.05 顯著性的測試，為不容忽視的犯罪熱點區域。

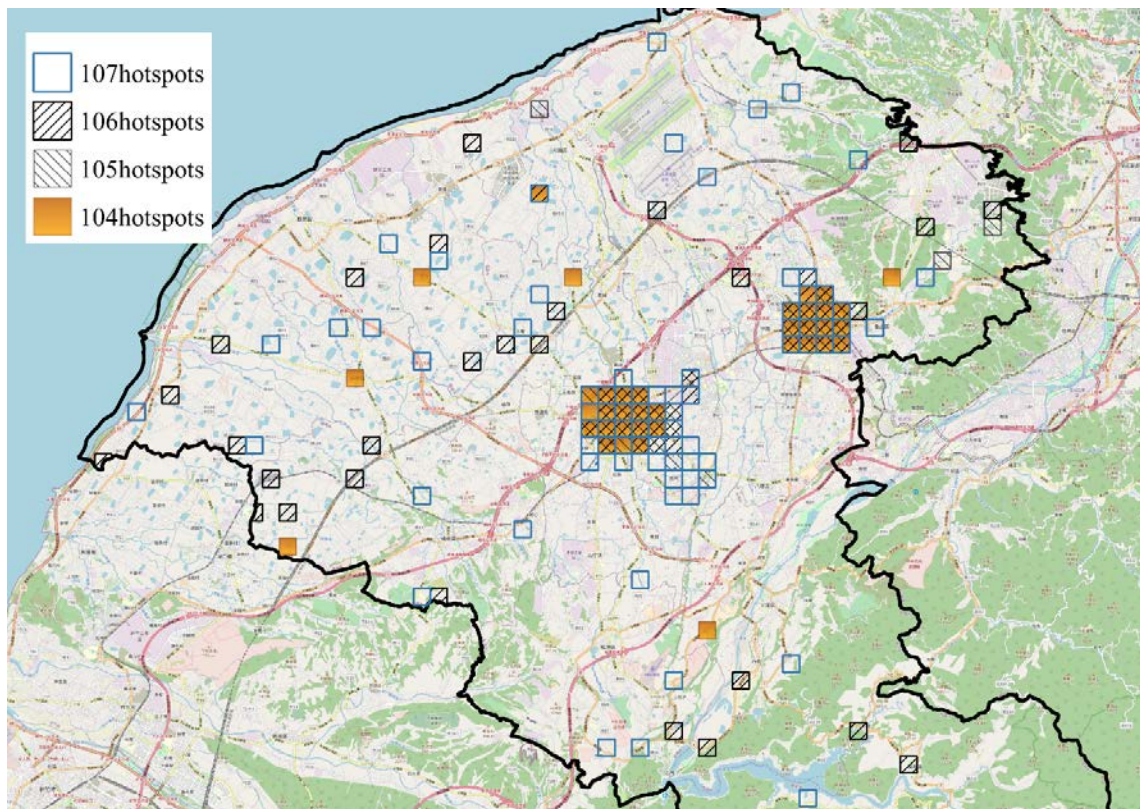


圖17 歷年 99%信心水平 Gi(d)群聚圖

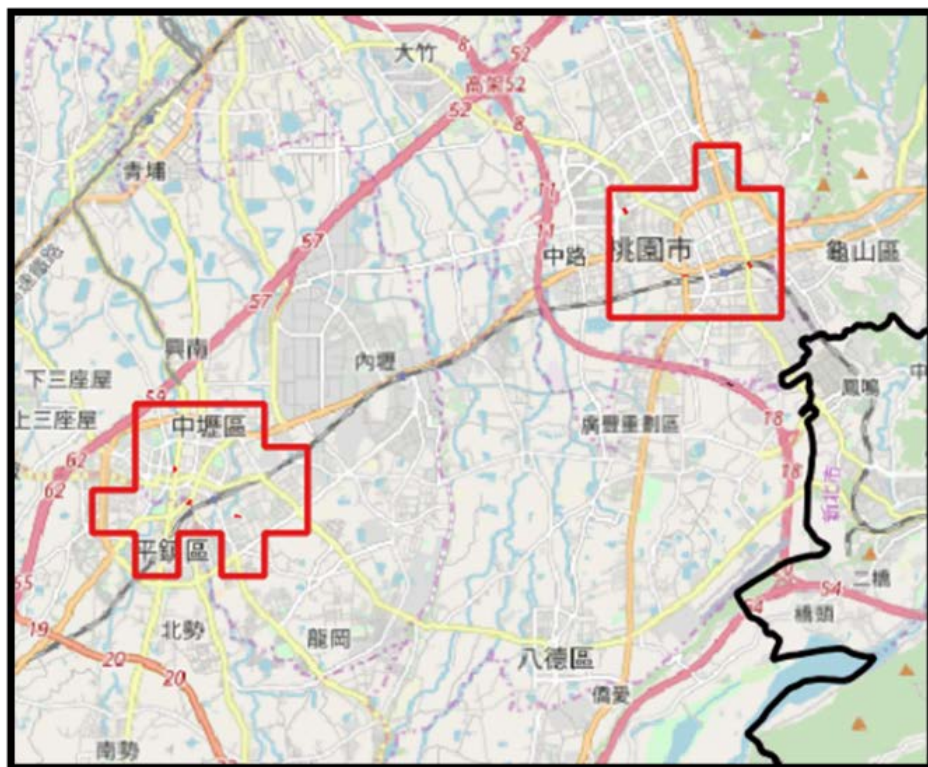


圖18 長期熱區



圖19 潛在熱區

四、結論

犯罪圖的繪製與熱點分析在犯罪防治與治安維護上都扮演重要的角色，本文透過不同尺度的空間單元說明空間統計方法與其相互的關聯性，熱區分析所涉及的空間統計方法都要有基本的理論基礎與適當的假設，同時各尺度的熱區分析都有其侷限性。本研究以桃園市 2015-2018 年的機車竊盜為案例分析，說明地理資訊系統於犯罪熱區分析與尺度差異上的應用結果，內容包括：(1)以透過面量圖的視覺展示提出以網格尺度進行犯罪熱點研究有其可行性，缺乏空間理論基礎(空間異質性、空間自相關性)的面量圖只能供其參考。(2)以犯罪點位為主的最近鄰分析並繪製核密度推估的機率密度圖，作為以點資料為主的犯罪熱點研究方法。(3)透過全域空間自相關與局部空間自相關去定義出機車竊盜的顯著熱點，為以屬性資料為主的犯罪熱點研究方法，兩種方法都能指出犯罪熱點的所在位置，也各有其優缺點，以點資料為主的方法一優點為其計算理論較淺易，且提供的為一個機率密度的連續面，不會如方法二以網格為空間單元時的稜角；而以屬性資料為主的局部空間自相關群聚圖，以距離或鄰近權重與統計檢定的方式提供一個更有說服力的顯著熱區(4)定義長期熱區與在以點資料為主的熱點圖上難以被發現的潛在熱區。本文透過犯罪熱區分析方法，找出具顯著性的機車竊盜群聚位置及變遷現象，以供警政單位制訂竊盜防制與警力配置時政策的擬定依據。同時歸納出以 750x750m 之網格為空間單元比多數研究之 1000x1000 之網格有較佳之空間自相關性，並以經驗法得知並非越小之尺度(300x300m)就有較佳之空間自相關性。本研究分割之空間單元(1000m,750m,300m)與現行之統計單元(鄰、里、BSA)皆能良好顯示犯罪之聚集行為，但難以推論各區域不同案例之通用尺度，僅能於案例中透過統計分析最適之空間尺度。

多數的犯罪研究都會連同犯罪心理學及社會學一同研究，若能透過長期熱區與潛在熱區內的環境社會因子(道路密度、金融機構密度、商店密度、經濟水平、教育水平等等)去進行統計回歸分析，便能提供更細緻的犯罪原因與更妥善的政令措施，保障人民的財產安全並有效遏止犯罪發生。

參考文獻

- 李瑞陽、陳勝義，2010，台中市搶奪犯罪熱點與犯罪區位之空間分析，地理研究期刊，第 53 期，23-48 頁。
- 溫在弘、劉擇昌、林民浩，2010，犯罪地圖繪製與熱區分析方法及其應用：以 1998-2007 年台北市住宅竊盜犯罪為例，地理研究期刊，第 52 期，43-63 頁。
- 維基百科，2020，需求層次理論，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9C%80%E6%B1%82%E5%B1%82%E6%AC%A1%E7%90%86%E8%AE%BA>，前次搜尋：2020/0529。
- 蔡士旺，2008，嘉義市汽機車竊盜犯罪熱點之時空分析，國立嘉義大學史地學系碩士班碩士論文。
- 黃映翎，2008，台北市士林區指標型犯罪空間分析，東吳大學社會學系碩士班碩士論文。
- 黃信超，2015，臺南市 2011 至 2015 年災害熱點分析，國立嘉義大學土木與水資源工程學系研究所碩士論文。
- 陳威哲，2016，嘉義縣火災易致災區域分析，國立嘉義大學土木與水資源工程學系研究所碩士論文。
- 張芳瑋，2018，住宅交易冷熱區空間分析，國立政治大學地政學系碩士班碩士論文。
- 馬旺，2020，地理空間分析在財產型犯罪之研究：以新北市新莊區為例，中央警察大學警察政策研究所碩士論文。
- 吳信寬，2020，住宅竊盜犯罪熱點分析方法及應用 -以台北市為例，銘傳大學都市規劃與防災學系碩士班碩士論文。
- Anselin, Luc, 1995, Local indicators of spatial association—LISA, *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- Anselin, Luc, Ibnu Syabri and Youngihn Kho, 2006. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis* 38 (1), 5-22.
- Getis, A., & Ord, J. K, 2010, The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Perspectives on spatial data analysis*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 127-145.

- Tenney, M. L. 2013. A Conceptual Model of Exploration Wayfinding: An Integrated Theoretical Framework and Computational Methodology.
- Gallup Analytics, 2019. Global Law and Order Report. USA: Gallup Inc. <https://www.gallup.com/analytics/267869/gallup-global-law-order-report-2019.aspx>
- QGIS Development Team, 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

以深度訪談探討 e-GNSS 之使用者回饋

葉大綱¹、陳品融²、蕭世民³、陳鶴欽⁴

論文收件日期：109.06.23

論文修改日期：109.09.11

論文接受日期：109.09.20

摘 要

隨著全球衛星定位的成熟發展，即時動態定位技術已成為測量的主流趨勢，內政部於民國 98 年 1 月 1 日正式營運，國土測繪中心做為國家測繪專責機關，掌管即時動態定位系統的窗口，針對 e-GNSS 網站的架設與系統管理進行更新與維護，於 e-GNSS 入口網站也提供使用會員多元的服務。

e-GNSS 入口網站提供使用者一個便利的平台，作為系統服務的主要窗口，用戶實際使用感受應作為系統維護以及改善的方針，因此本研究針對 15 個單位 21 位使用者進行深入的訪談，透過訪談過程了解使用者針對「註冊與繳費」、「即時定位服務」、「其他相關服務」以及「作業手冊的規範」等面向的感受與建議。根據訪問結果多數受訪者對於目前 e-GNSS 的收費方式希望有更彈性的訂價策略，然國土測繪中心考量其營運的效益與成本，仍維持目前所提供之優惠方案；而多數受訪者亦提出作業手冊修訂的必要性，目前國土測繪中心也正辦理相關測試與規範的研擬。最後，本研究彙整使用者之建議，有系統的回饋給主管機關，並將使用者的建議納為未來系統改善的參考依據，以增進 e-GNSS 的便利性及普及性。

關鍵詞：全球導航衛星系統、即時動態定位、地籍測量

¹ 教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系；合聘教授，國防醫學院通識教育中心。

² 學士生，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

³ 技士，內政部國土測繪中心控制測量課。

⁴ 課長，內政部國土測繪中心控制測量課。

* 通訊作者，TEL: (02)86741111 轉 67430，E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw。

Exploration on User Feedback of e-GNSS Using Depth Interview Method

Ta-Kang Yeh¹, Pin-Jung Chen², Shih-Min Hsiao³, He-Chin Chen⁴

Abstract

With the mature development of global navigation satellite system, real-time kinematic technology has become the mainstream trend of surveying. The Ministry of the Interior officially started operations on January 1, 1998. The National Land Surveying and Mapping Center serves as the national surveying and mapping agency and is responsible for the real-time kinematic positioning system. To update and maintain the e-GNSS website and operation system, and also provide diverse services for members on the e-GNSS website.

The e-GNSS provides users with a convenient platform, and the actual experience of all users should be adopted as the system maintenance and improvement guidelines. Therefore, this study conducted depth interviews with 21 users in 15 institutes/companies. Through the interviews, we understand the user's feelings and suggestions for "registration and payment", "real-time positioning service", "other services" and "method of the operation manual". According to the interview results, most of the interviewees hope to have a more flexible pricing strategy for the current e-GNSS method. However, the National Land Surveying and Mapping Center considers the benefits and costs of its operations and still maintains the preferential schemes currently provided. While most of the interviewees, the necessity of revising the operation manual is also proposed. At present, the National Land Surveying and Mapping Center is also handling the preparation of relevant specifications. Finally, this study summarizes the user's suggestions, and systematically feeds back to the competent authority, and incorporates the user's suggestions as a reference for future system improvement to enhance the convenience and popularity of the e-GNSS.

Keywords: global navigation satellite system, real-time kinematic, cadastral surveying.

¹ Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University; Professor (joint appointment), Center of General Education, National Defense Medical Center.

² Undergraduate student, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

³ Technical specialist, Control Survey Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

⁴ Section head, Control Survey Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

* Corresponding Author, Tel: +886-2-86741111 ext. 67430, E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw.

一、前言

e-GNSS 為全球衛星即時動態定位系統，其核心技術理論為以虛擬基準站（Virtual Base Station, VBS）為基礎，以鄰近實體基準觀測資料產製虛擬基準站作為即時動態定位（Real-time Kinematic, RTK）主站，並配合數位通訊技術提供使用者即時的資料處理。透過網際網路通訊及無線傳輸技術，建置於全國各地的衛星基準站每天 24 小時每秒連續觀測資料可以對接收到的資料做即時的整合與計算，並回傳坐標資訊。GNSS 搭載多星系的衛星定位系統，精度方面可達公分等級，基於網路科技的蓬勃發展，即時動態定位不論是在資訊傳輸的效率方面還是精度方面都有很大的提升，因此也被廣為應用於國際測繪科技與定位技術，在空間資訊領域扮演極重要的角色。

內政部於民國 93 年開始於台灣本島建置 e-GPS 基準站以及控制計算中心，並於民國 98 年 1 月 1 日正式營運，內政部國土測繪中心做為國家測繪專責機關，掌管即時動態定位系統的窗口，針對 e-GNSS 網站的架設與系統管理進行更新與維護，並訂定出系統服務的收費標準，自民國 96 年建置入口網站提供使用者便利的使用平台，民國 103 年 9 月 4 日啟用了臺灣地區雙星服務，系統正式更名為「e-GNSS 即時動態定位系統」，並於 104 年對於網站入口進行全新的改版，網站應用至今每年針對系統的服務都有升級或更新的作業，於 e-GNSS 入口網站也提供多元的服務，包含即時精準的定位服務、衛星觀測資料電子檔供應服務及衛星觀測資料後處理動態定位服務等，並於 108 年 10 月 1 日開始提供全星系定位服務。

即時動態定位系統自民國 98 年開始營運，截至 108 年底統計有效會員數為 729 個，其成員包含公家機關、學術機關以及相關領域私部門，針對這些用戶國土測繪中心每年對用戶進行例行性的問卷調查，以了解使用者針對目前所提供服務的滿意程度。從過往填答紀錄來看，填答率幾乎不到 5%，在無法得到足夠樣本數的狀態下，針對這些問卷能得到用戶真實反映的資訊少之又少。再者國土測繪中心所提供的問卷係採封閉式問卷，對於使用者實際遭遇的困難無法得到直接的回饋，因此本研究欲針對 15 個單位 21 位使用者，實際使用 e-GNSS 所遇到問題進行深入的訪談，這 21 位的受訪者來自不同的背景，其中不乏公家機關、私部門的公司以及相關學術單位，透過訪談過程深度了解使用者的實際感受，以及針對系統改善提出的建議予以統計整理。

e-GNSS 定位系統的便利性，隨著衛星定位系統的蓬勃發展，成為目前廣為應用的測繪技術，因此系統服務品質的精進有必要性，本研究針對 e-GNSS 使用者進行不同面向的訪問，分別針對「使用者基本資料」、「註冊與繳費」、「即時定位服務」、「其他相關服務」以及「作業手冊的規範」等五大面向了解使用者的實際感受，系統服務是否符合業務需求以及相關改善的空間，藉由實際的訪談將使用者提出的改善方案彙整，希望藉此得到更符合使用者需求的服務平台，增進其使用的便利性及普及性，以作為本研究的宗旨。

二、e-GNSS 服務現況

(一)註冊流程

為便利審核會員註冊申請資格，應於 e-GNSS 入口網站會員註冊系統網頁中，線上登錄填載會員基本資料並直接列印書面申請表並加蓋機關關防或大小章，以郵寄或親自臨櫃方式，向國土測繪中心提出申請，註冊流程如圖 1 所示。會員資格以依法成立之機關及本國法人為限。

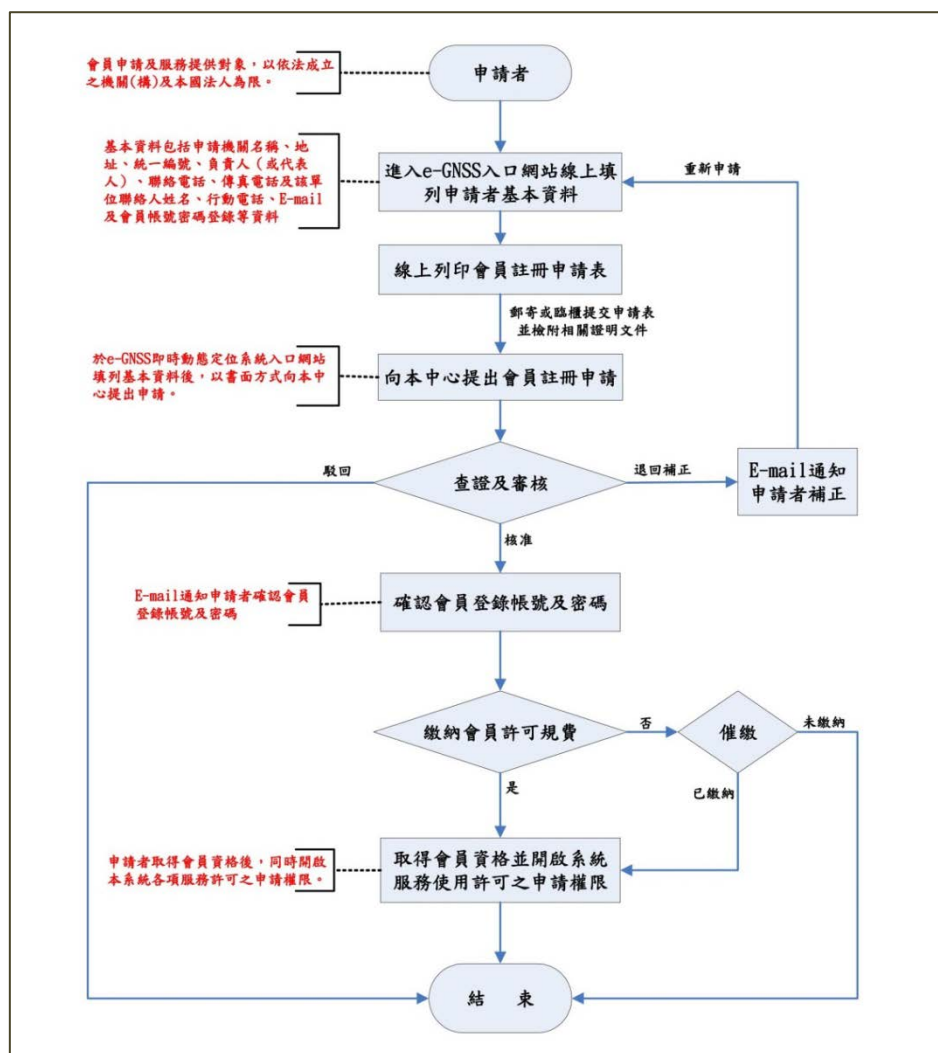


圖 1 會員註冊流程（內政部國土測繪中心，2020）

(二)系統服務規費

系統會員之服務規費由國土測繪中心按月結算後，以書面或電子郵件檢附繳費通知單及使用服務費額明細表等，通知會員繳費。目前提供之繳費方式有親臨國土測繪中心繳費、郵政匯票、機關公庫支票、電匯、離線付費（ATM 轉帳、超商付費、台灣 pay）及線上金流（信用卡、金融帳戶、晶片金融卡）等，e-GNSS 各項目收費標準如表 1 所示。

表 1 e-GNSS 收費標準表（內政部國土測繪中心，2020）

資料項目	費額(新台幣元)	備註
會員許可	二千	會員每次申請收費二千元，有效期限為五年。
虛擬基準站即時動態定位服務	三百	每組帳號每日計價三百元。
網路化電碼差分即時動態定位服務	一百	每組帳號每日計價一百元。
衛星觀測數值資料檔	四十五	服務項目包括提供實體基準站衛星觀測數值資料檔及提供虛擬基準站衛星觀測數值資料檔等二項，每日每站數值資料檔計價四十五元。
衛星觀測資料後處理動態定位服務	三十	經國土測繪中心解算成功並出具成果與精度分析報表者，每點成果計價三十元。

即時動態定位服務亦有年費帳號提供政府機關選擇，年費帳號開通後，除年費金額外，使用年費帳號不需額外繳納服務費。年費帳號收費以年度為單位，金額以原訂服務規定費額百分之五十乘以年度工作日天數計價，為便利作業，年度工作日天數統一以 250 日計。

(三)e-GNSS 各類服務說明

目前 e-GNSS 系統主要提供「即時性衛星動態定位」、「衛星觀測資料後處理動態定位」、「衛星觀測數值資料檔供應服務」等服務，其各項服務說明如表 2。

表 2 e-GNSS 服務說明表

	說明	精度
即時性衛星動態定位	採用虛擬基準站即時動態定位方法，由使用者直接將測點現場接收之坐標概略成果，以無線數據通訊方式傳輸至國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統伺服器主機後，再由工作伺服器主機回饋提供虛擬基準站衛星觀測資料，進行測點即時動態定位成果解算。	1. 虛擬基準站即時動態定位（VBS-RTK）服務，其定位精度可達公分等級。 2. 網路化電碼差分即時動態定位（DGNSS）服務，其定位精度可達次公尺等級。
衛星觀測資	本項服務係提供使用者於測點實	本項後處理動態定位

料後處理動態定位	施靜態衛星定位觀測後，將衛星觀測資料以 FTP 數據傳輸方式，上傳至國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統衛星資料傳輸伺服器主機，由國土測繪中心依據靜態觀測時間段及該測點位置之導航坐標值，產製虛擬基準站觀測量後，再以動態定位方法解算該測點定位坐標成果。	坐標成果之頻率為每秒解算一筆 (Epoch)，其定位精度可達公分等級。
衛星觀測數值資料檔供應服務	本項服務係提供國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統各衛星定位基準站每天二十四小時每秒連續接收之基準站衛星觀測數值資料檔所為之服務。衛星觀測數值資料檔提供實體及虛擬基準站衛星觀測數值資料，觀測數值資料供應頻率區分為每秒一筆及每三十秒一筆等二類。	

(四)使用者統計

統計至 108 年底 e-GNSS 即時動態定位系統的有效會員數為 729 名，其會員組成以私人公司為最大使用類別，統計使用會員數為 408 位，佔整體比例 55.97%，其次才是地政機關，佔整體會員比例 13.44%，學術單位以及測繪業則分別佔整體會員比例 9.60%及 9.05%（如圖 2）。

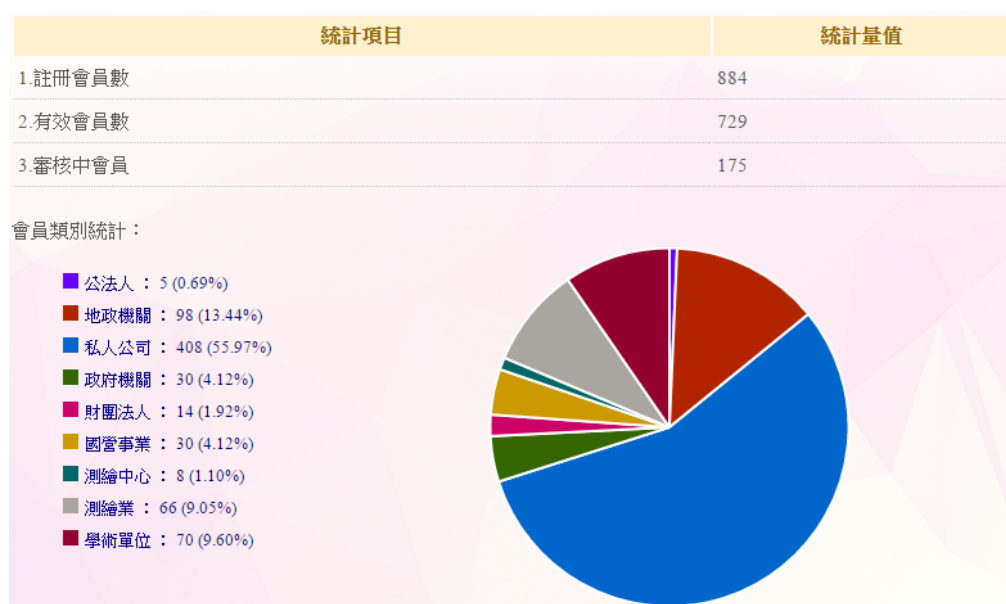


圖 2 e-GNSS 使用者類別統計（內政部國土測繪中心，2020）

(五)e-GNSS 相關成果的文獻回顧

於相關文獻中對於精度的探討，可從觀測時間長短以及觀測不同筆數的固定解，分析不同變因對成果精度的影響。劉榮增等（2011）依觀測量區分 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘、40 分鐘及 60 分鐘間隔進行已知基本控制點變化情形分析，結果在觀測 10 分鐘後成果並未隨著觀測時間增加明顯變化，故可得知滿足一定精度後，延長觀測時間成果精度並不會顯著提升。而在內政部國土測繪中心（2014）分析 e-GNSS 測量成果測試採前 10 筆、前 30 筆及前 180 筆固定解，測試結果 e-GNSS 觀測 10 筆固定解之精度與觀測 180 筆固定解之精度無顯著差異。內政部國土測繪中心（2019）採用 e-GNSS 辦理農地、山地現況測量，研究辦理現況測量應先辦理已知控制點檢核作業，倘控制點與現況點點位較差分別放寬為 ≤ 4 公分與 ≤ 7 公分，則控制點可 100%符合；而現況點亦可達 99.83%的符合比率，可作為農地、山地訂定規範時之參考。國立臺北大學土地與環境規劃研究中心（2019）運用 e-GNSS 於地籍圖重測作業可行性分析，以台南市永康區及楠西區共 108 點探討其定位精度，其平均的定位精度可達到平面 2-3 公分和標準差 1-2 公分，作業方式採取重新初始化 2 測回，每測回觀測 10 筆固定解，並以 2 測回的平均值作為該測點的定位坐標。

關於參數轉化的方式對於精度的分析，陳坤煜（2010）、林偉祥（2011）研究 e-GPS 之應用精度，以南投地區待測圖根點、桃園圖解地籍圖訂正為研究目標，並分別以四參數及六參數轉換方式進行框架整合，研究結果皆顯示在研究區中以六參數轉換之方式優於四參數轉換。葉大綱等（2014）使用 e-GNSS 於地籍測量之精度分析，研究顯示在與 TWD97 坐標相比較時，台北地區均可達到地籍測量規範中最大誤差 6 公分之要求，但宜蘭地區的誤差在 20 公分左右，其精度只能用於山區測量；而經過坐標轉換後（七參數轉換），台北地區平面方向誤差能夠縮減 2 公分以內，但宜蘭地區雖然平面誤差平均可小於 6 公分之誤差，但單筆資料上仍有超過 6 公分之部分，於使用上仍需要小心。葉大綱與張淑娟（2018）探討 e-GNSS 於地籍圖重測作業的簡化型外業施測作法，提出於短時間內重複施測十次，取代現行需間隔 60 分鐘方能進行重複觀測的作法，並加入二參數平移法的適用性分析，測試較嚴謹的六參數轉換加最小二乘配置法。其中，二參數平移法較適用於圖解法地籍圖數值化之區域、農地和山地區域；針對已有數值法地籍圖重測的區域，應採用六參數轉換加最小二乘配置法；小範圍可考慮使用四參數轉換，維持坐標轉換的成果精度。

近年來國際間衛星定位技術蓬勃發展，內政部國土測繪中心為提升 e-GNSS 即時動態定位系統服務之效能，於系統軟硬體方面皆有升級作業，並自 108 年 10 月 1 日正式提供全星系定位服務。內政部國土測繪中心（2019）以全星系服務網測量成功率較雙星系服務網高 11%，全星系服務網定位精度較雙星系服務網提升約 10%，並發現全星系服務網確實可解決點位透空環境影響使用者定獲得固定解之問題，惟其測量成果中誤差明顯較大，建議使用者透過 e-GNSS 辦理測量工作時，務必進行重複觀測檢核，以確保測量成果品質。

三、研究方法

本次研究為了解使用者對於實務操作 e-GNSS 的想法，因此針對此系統設計一套使用者問卷，並以深度訪談的模式進行。訪談採取半結構式深度訪談，亦即研究者在進行訪談之前，根據研究之問題與目的，設計訪談的大綱，作為指引方針。另外在訪談進行的過程中，訪談者可根據實際狀況，對訪談問題做彈性調整。

(一)問卷設計

本研究藉由實際訪談以了解使用者對於 e-GNSS 的使用感受，問卷分別針對「使用者基本資料」、「註冊與繳費」、「即時定位服務」、「其他相關服務」以及「作業手冊的規範」等五大面向設計，根據上述欲探討面向設計以下問卷（如表 3）。

表 3 問卷及其設計目的對照表

問卷題目	設計目的
1. 您的大名？	了解使用者之基本資料。
2. 您服務之單位？	
3. 您服務之職別？	
4. 您於貴單位服務多久？	
5. 您畢業之科系類別？ （土木工程、測量領域、地政系、地理系或其他相關科系）	了解使用者對於本系統的了解度。若為相關科系畢業，有助於後續問題回答之完整性。
6. 您如何得知 e-GNSS 系統？ （是否從其他管道了解此系統，或是因工作上的使用才有進一步的了解）	了解本系統宣傳度是否足夠，有利於後續之推廣與應用。
7. 您對於 e-GNSS 系統之原理用途是否了解？	主要延續上述問題，了解使用者是否真正了解本系統之原理用途，可能影響後續對於第十二題系統穩定度之滿意度，可能因為使用者不了解系統原理，而認為系統穩定度不佳，而未考量到可能是網路訊號問題。
8. 您對於目前 e-GNSS 系統入口網站提供的服務滿意度？有無其他建議？	了解本系統之入口網站介面對於使用者是否便利友善。
9. 您對於目前 e-GNSS 系統申請註冊的服務滿意度？有無其他建議？	本題主要是想了解申請註冊服務流程對於使用者而言，是否清楚簡便，有無需要改善。

10. 您對 e-GNSS 系統現階段的繳費流程是否感到滿意？有無其他建議？	藉此問題了解使用者對於繳費流程的看法，以利於使用者繳費更省時便利。
11. 您對 e-GNSS 現階段提供的付費方案是否感到滿意？有無其他建議？	由於國土測繪中心對於公部門及私部門的使用者分別制定了不同的付費方案，考量此差異，本研究欲了解各領域之使用者對於目前的付費方案是否滿意，或有不同的想法或意見。
12. 您對於 e-GNSS 系統 RTK 服務之系統穩定度是否滿意？有無其他建議？	e-GNSS 的穩定度高低與否關係著使用者使用的意願，故本研究期能從本題得到各方對於 e-GNSS 系統 RTK 服務穩定度之建議，以作為改善該系統穩定度之依據。
13. 您對於 e-GNSS 系統 RTK 服務之儀器操作流程是否滿意？有無其他建議？	欲了解各方使用者於使用儀器時的操作層面是否感到滿意，或是對於儀器操作流程有更好的建議，期能增進儀器操作之便利性。
14. 貴單位通常使用之 e-GNSS 系統服務為何？對其滿意度？ （例如後處理計算、坐標轉換之服務）	欲了解除了廣泛應用之 RTK 服務外，各方使用者對於後處理計算及坐標轉換的使用頻率及滿意程度，並深入了解使用者運用該服務時遇到的情況，期能改善 e-GNSS 系統提供之服務。
15. 請問貴單位平常業務內容為何？通常所需之精度為何？	欲藉由此題了解受訪者主要之業務內容，大致歸納各種業務內容使用 e-GNSS 的時機、方法、精度等資訊，並綜合其他問卷題目的，了解其中之關聯。
16. 請問作業手冊之規範是否有其必要？您認為是否有無其他彈性的空間？	接續前一題的問題。期能藉由此題了解各方使用者對於法定規範之想法，並提出對此規範的實質建議，以作為作業規範制定之參考。
17. 實務上為求效率，若只能維持一個精度影響因素（觀測時間長短、間隔時間長短、透空優劣、仰角大小），通常會捨棄什麼因素？	本題主要是想了解使用者對於其業務內容最重視之精度影響因素，期能得到各使用者於進行外業測量時優先考量之因素及其原因。

(二)訪談對象

本次研究係針對內政部國土測繪中心 e-GNSS 會員進行之訪談，經國土測繪中心徵詢有意願受訪對象，並協助提供系統會員聯絡資料，以供筆者進行本次研究，每位訪談約 1 小時。最後本次訪談共獲得 15 個單位 21 位使用者的回饋，其 15 個單位可大致區分為產、官、學界，並且分布於台灣多個縣市，其分部如圖 3，受訪者多元的背景提供本次研究更為全面的探討。

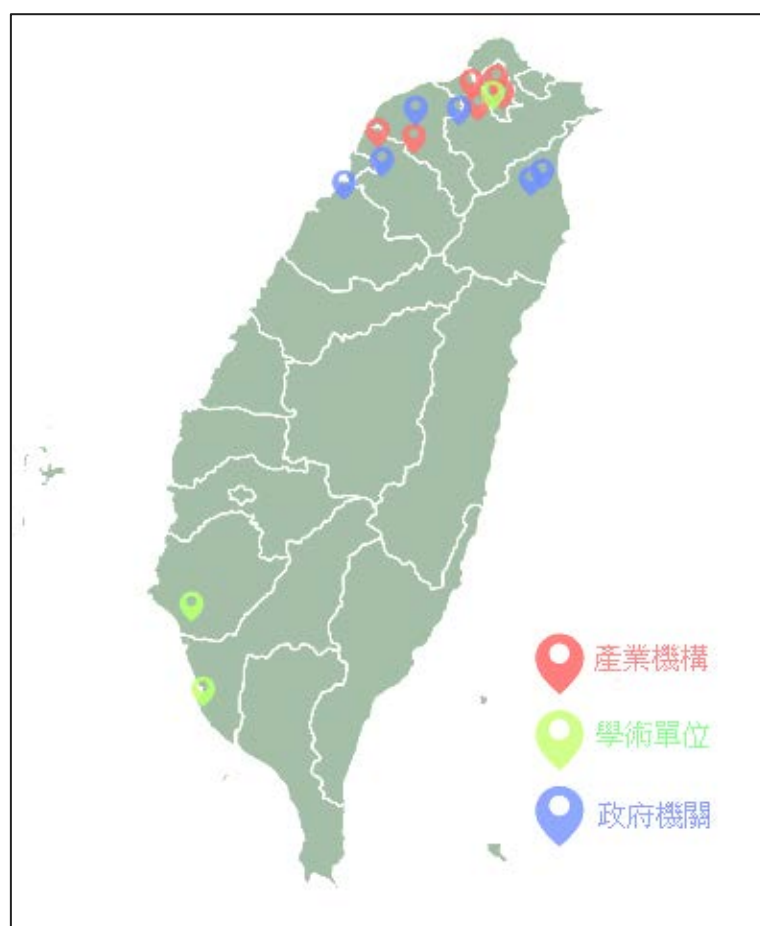


圖 3 訪談對象分布

四、問卷分析

本次問卷共獲得 15 個單位 21 位使用者的回饋，針對受訪者的使用經驗以及建議將本次訪談成果予以整理，並以筆者自身使用的經驗以及國土測繪中心的回覆，作為 e-GNSS 現行問題以及改善策略的參考。

(一)問卷整理

關於受訪者的訪談內容，本研究擷取問卷的八到十七題，即「註冊與繳費」、「即時定位服務」、「其他相關服務」以及「作業手冊的規範」等面向作為分析的主軸，並將使用者的使用經驗及建議重點整理如下。

一、您對於目前 e-GNSS 系統入口網站提供的服務滿意度？有無其他建議？
1. 多數受訪者表示並不常使用 e-GNSS 系統入口網站提供的服務，通常都是直接採用儀器所測得的坐標系統。 2. 一般使用到的時機有三維坐標的轉換、繳費、查看公告、使用電離層資料等。在坐標轉換的部分亦有使用者建議讓無帳號者也可使用。
二、您對於目前 e-GNSS 系統申請註冊的服務滿意度？有無其他建議？
1. 大部分受訪者對於註冊的流程均表示滿意。 2. 有受訪者建議申請流程可以全面線上化，以簡化書面送審的流程。另有受訪者表示會員註冊後所登載之儀器不能自行刪除，便利性不佳。
三、您對 e-GNSS 系統現階段的繳費流程是否感到滿意？有無其他建議？
1. 大部分受訪者對於每月的繳費程序表示滿意，目前國土測繪中心提供多元的繳費方式。對於使用量較大的會員亦提供年費帳號的選擇。 2. 有受訪者表示公家單位底下有許多分層單位，要求一個單位要有一個帳號，無法以統一的單位註冊，須由會計人員先行代墊，於繳費會計流程中有利息之損失，造成不公平的情形。
四、您對 e-GNSS 現階段提供的付費方案是否感到滿意？有無其他建議？
1. 部分受訪者對於目前每日 300 元的訂價認為太貴，希望有更彈性的訂價策略，訂定不同的計費標準，並把使用的時間長短列入收費標準。 2. 受訪者希望對於學術單位或是使用量較大的公務機關可以給予優惠或折扣。
五、您對於 e-GNSS 系統 RTK 服務之系統穩定度是否滿意？有無其他建議？
1. 部分受訪者認為系統穩定度不足，時常會斷線或受到天氣、時段的影響，但受訪者也表示有時不易區分是受到網路問題還是系統的影響。 2. 受訪者建議可以多架設幾個接收基準站或是精進主機房的軟硬體設施來改善系統的穩定度。 3. 依據多數受訪者的經驗中午容易發生不穩定地的狀況，通常早上的訊號較佳。 4. 受訪者表示於偏遠的地區較不易接收訊號或受到遮蔽時，會捨棄使用即時動態服務，而採用單點定位方式，或改以後處理的方式處理。
六、您對於 e-GNSS 系統 RTK 服務之儀器操作流程是否滿意？有無其他建議？
1. 大部分受訪者對於儀器的操作流程均為滿意，並沒有特別問題。
七、貴單位通常使用之 e-GNSS 系統服務為何？對其滿意度？ (例如後處理計算、坐標轉換之服務)
1. 多數受訪者都是使用即時定位的服務，後處理計算以及坐標轉換服務則較少使用。 2. 受訪者建議坐標轉換之服務可提供轉換參數。而後處理計算能夠提供一段

時間的完整資料，而非一個平均值。	
八、請問貴單位平常業務內容為何？通常所需之精度為何？	
1.	因受訪者背景多元，業務內容也有所不同，例如：土地複丈、建物測量、圖根測量、戶地測量、航測、地下水、管線探測、邊坡測量、潮位觀測等。
2.	受訪者表示傳統地籍測量所需精度依據地籍測量實施規則規範，而其他測量業務通常會依照各案子所需精度而定。
九、請問作業手冊之規範是否有其必要？您認為是否有無其他彈性的空間？	
1.	部分受訪者皆表示手冊的規範有其必要性，但於實務上，規範太過嚴格反而不易遵循，應該視不同業務所需的精度制定不同的標準。
2.	另有受訪者建議可以依照測區與基準站的距離以及被基準站所包覆的程度來另訂一套精度。而現今已採多星系系統，精度相較於過去提高很多，故針對作業手冊的規範也應該進行修改。
十、實務上為求效率，若只能維持一個精度影響因素（觀測時間長短、間隔時間長短、透空優劣、仰角大小），通常會捨棄什麼因素？	
1.	大部分受訪者表示會捨棄「時間的因素」，對於間隔時間長短，因規範過於嚴苛不易執行，而現今觀測衛星數眾多，因此即使縮短觀測時間，也能達到精度要求，但也會因測量業務考量不同的情況。

(二)意見回覆

有關訪談內容經重點式整理，筆者以自身於使用 e-GNSS 的經驗回應受訪者所遇到的問題或建議，並將以上問題、建議以及筆者的經驗一併交由國土測繪中心回應，由中央單位協助答覆使用者的問題並將使用者的建議納為未來系統改善的參考。

註冊與繳費	● 建議註冊申請流程可以全面線上化，以簡化書面送審的流程。 ➢ 筆者：現行的會員註冊申請流程，可由 e-GNSS 入口網站線上登錄填載基本資料，惟仍須透過書面申請表並加蓋機關關防或大小章，以郵寄或親自臨櫃方式，向國土測繪中心提出申請，筆者認為，在網路科技日新月異的時代對於註冊審核的過程，可以直接經由網路進行更嚴謹認證，簡化郵寄送審的程序。例如近年來各家銀行所推行的數位帳戶，即可以直接透過網路填寫資料，並透過數位簽章或視訊交談等認證方式，隨時隨地進行開戶。由數位銀行的例子即表示以網路認證的方式其安全性是可被信賴的，再者，會員的資料應不似銀行開戶有被冒用的疑慮，因此對於現行申請須加蓋機關章的流程，可以改以掃描紙本進行網路認證，或以電子郵件傳送的方式進行註冊的審核。 ➢ 國土測繪中心：e-GNSS 目前會員註冊流程中，仍須將會員申請表列印蓋章（公司章或關防）後寄回本中心審核，目的為確保該申請
-------	--

	係為該單位認可，非申請人個人所為。考量縮短作業時間，本中心將先開放使用者以電子郵件回傳用印後之會員註冊申請表電子檔，縮短書面資料郵寄時間；未來將進一步評估利用工商憑證線上驗證機制進行審核之配套措施。 ● 建議將使用時間長短列入收費標準，針對學術單位或是使用量較大的公務機關可以給予優惠或折扣。 ➢ 筆者：目前國土測繪中心針對多數會員較常使用的 VBS-RTK 即時動態定位服務，其所訂定的收費標準為每組帳號 300 元，並以每日為計費單位，筆者認為若是以一般單位在使用上，此價位仍是屬於可負擔及可接受的範圍，另外國土測繪中心針對地政機關以及學校課程使用並與國土測繪中心簽訂合作契約之單位，提供減徵及免徵的優惠，對於一般單位也提供年費帳號的選擇。若是要將使用時間的長短列入收費標準，此計算方式對於國土測繪中心恐增加過多的成本，筆者認為現行的收費標準及減免徵優惠實屬合理之訂定。 ➢ 國土測繪中心：學術機關可與本中心簽署合作契約後，每學期檢送實習課程教學大綱以申請免費教學帳號；針對經常性利用 e-GNSS 服務辦理公務之政府機關，經評估使用量若有需求，亦可與本中心簽署合作協議，申請年費帳號使用（地政機關每組帳號每年 2 萬 6,250 元，其餘政府機關每組帳號每年 3 萬 7,500 元）。
即時定位服務	● 建議在坐標轉換的部分讓無帳號者也可使用。建議坐標轉換之服務可提供轉換參數。 ➢ 筆者：現行國土測繪中心所提供之三維坐標轉換服務，為 e-GNSS 利用 RTCM 3.1 Type 1021 及 Type 1023 之資料格式，分別將坐標轉換七參數，殘差網格修正模型與網格內插計算方法傳送給使用者，讓使用者在外業測量現場可即時將 e-GNSS 測量成果轉換至法定坐標系統，經國土測繪中心的研究，殘差網格的修正模型又以克利金法所建置的精度最佳，然這部分的功能需要已註冊的會員方能使用，若要提供坐標轉換的功能使非註冊會員亦可使用，筆者認為可由國土測繪中心提供殘差網格的修正模型，同時考量由國土測繪中心營運此系統的成本與效益，因此可採用使用者付費的方式達到非會員亦可使用坐標轉換的服務。 ➢ 國土測繪中心：e-GNSS 提供之三維坐標轉換服務係協助使用者由 e-GNSS 坐標轉換至國家法定坐標系統（TWD97 及 TWD97[2010]），目前僅提供系統使用者使用，主要原因為如非 e-GNSS 之使用者，無法取得 e-GNSS 坐標測量成果，理論上應無使用該服務之需求。同時也是避免使用者誤用，例如誤以為可以做

	TWD97 與 TWD97[2010]互轉。 ● 部分受訪者認為系統穩定度不足。 ➢ 筆者：量測作業的穩定度受到使用者、系統、網路等因素影響，於系統無法解算時，並不易區分是受到網路問題或是系統的影響，而系統問題又以受到電離層影響關係最為密切，因此使用者可於 e-GNSS 入口網站查看各基準站即時的電離層誤差指標，作為外業時的參考依據，針對網路問題可以事先準備不同電信業者的服務，於外業時選擇訊號較佳的電信業者做使用，使外業過程更為順利。使用者在無法自行排除問題時，可於系統入口網站向負責該業務的承辦人員聯繫，另外筆者認為，使用者可能於國土測繪中心非上班時段使用此系統，因此國土測繪中心可考慮設定分機的轉接服務，當承辦人員分機無法接聽時，轉接至承辦人員手機，如此用者遇到系統問題時，可以更即時的獲得處理或回應。 ➢ 國土測繪中心：實務上，外業時無法順利求解的可能原因有很多種，本中心依經驗整理較常遭遇的狀況與解決方法，公告於 e-GNSS 入口網站最新消息「RTK 外業障礙檢測建議步驟」供使用者參考，若仍無法排除障礙，歡迎現場即時打電話至本中心確認。
其他服務	● 而後處理計算能夠提供一段時間的完整資料，而非一個平均值。 ➢ 筆者：現行國土測繪中心所提供之後處理定位服務，係採用東京海洋大學研發之 RTKLIB 計算軟體，聯合實測衛星觀測資料及 e-GNSS 軟體所產製之各級基本控制點 VBS 虛擬衛星觀測資料，以 On-The-Fly 整數週波未定值求解技術，進行 RTK 後處理動態定位坐標解算。系統會員可透過 e-GNSS 網站上傳衛星觀測資料，動態定位成果解算後，即會以電子郵件將成果報表寄送該會員，由於筆者本身並無實際使用過後處理定位服務，因此對於該成果報表內容並不清楚，但筆者認為國土測繪中心可在使用者申請後處理服務時，讓使用者自行勾選其所需報表內的內容，以方便需要後處理完整資料的使用者進行資料的運用。 ➢ 國土測繪中心：本項服務係使用者於測點進行靜態衛星定位觀測，事後上傳其觀測資料，本系統再以動態定位方法解算該測點定位坐標成果。主要目的為協助使用者在網路訊號不佳地區作業時，有其他求解的選擇，解算成功者會收到系統發送的成果，包含總解算筆數、Fixed 解筆數、Float 解筆數和坐標值（如下圖 4），應足供使用者評估使用。但因受限於動態定位誤差模組解算功能或其他不可抗力等因素影響，可能會發生無法解算，或無法達到預期定位精度之情形，本服務目前 Fix 解筆數低於總解算筆數之 10%時，該次解算不予收費。

```

*****
* 後處理計算成果 *
*****
總解算筆數: 1202筆
Fix解筆數: 1158筆
Float解筆數: 44筆
-----
經緯度(度)
經度: 121.78504206626
緯度: 24.390517281569
橢球高: 233.646
-----
卡式坐標(公尺)
X: -3061605.240
Y: 4940743.357
Z: 2617834.236
-----
2°TM投影坐標(公尺)
N: 2698498.192
E: 329630.218
h: 233.646
-----
註1: 本次平均成果是由Fix解筆數計算得到。
註2: 請確認0檔檔頭填載正確之天線盤資訊，
    
```

圖 4 後處理解算成果

使用者如需進階的解算成果（如動態軌跡、特定星系或衛星之設定編輯等），建議申請衛星觀測資料檔後，搭配專業軟體自行解算。

作業
手冊
規範

- 現今已採多星系系統，精度相較於過去提高很多，故針對作業手冊的規範也應該進行修改。

➤ 筆者：

現行作業規範

資料記錄速度	1Hz，每秒連續記錄坐標成果
資料記錄筆數	每測回記錄固定解至少 180 筆以上
坐標成果品質控制（QC 值）設定	平面分量<2 厘米 高程分量<5 厘米
點位觀測重複率	100%，不同測回至少需間隔 60 分鐘以上

從多篇相關論文研究對於精度的探討，增加觀測時間長短以及增加觀測固定解的筆數，兩者的變因對於成果的精度並無顯著提升，另外根據蔡明達等人於 108 年台灣土地研究所發表的「e-GNSS 定位作業規範適用性之探討」亦提及 e-GNSS 定位系統提升為多星系系統之後，由於定位系統能力增強、可視衛星數大幅提升，可大幅度提升其定位精度。因此筆者認為現行作業規範實屬有修改之必要，然為了兼顧施測效率以及精度，也應該要有新的作業檢核機制，讓使用者於應用上更為簡便。

- 國土測繪中心：本中心正辦理相關測試與規範的研擬，希望在這 1~2 年內對外提供。

五、結論與建議

- (一) e-GNSS 入口網站提供使用者一個便利的平台，作為系統服務的主要窗口，而從使用者的調查中最常使用的時機有，註冊與繳費、查看公告、三維坐標的轉換、使用電離層資料等。關於註冊的流程建議可改採全面線上化，以簡化紙本送審的流程，國土測繪中心亦考慮先行開放以電子郵件回傳用印後之會員註冊申請表電子檔，未來將進一步評估利用工商憑證線上驗證機制進行審核之配套措施，以縮短作業時間。另外針對多數使用者反應收費的問題，目前國土測繪中心已訂定相關的優惠方案提供使用者作選擇，若再提高優惠的幅度或是將時間長短列入收費標準恐不敷營運的成本。
- (二) 針對即時定位服務的穩定性，因外業時無法解算的原因眾多，使用者若遇到問題可先依公告於 e-GNSS 入口網站「RTK 外業障礙檢測建議步驟」判斷可能發生之狀況，包含登入的問題或是解算的問題，若仍無法排除也可即時打電話至國土測繪中心確認。
- (三) 國土測繪中心所提供的坐標轉換服務，因考量使用者需求以及避免使用者誤用該修正模型，因此目前仍僅提供系統使用者使用。至非系統使用者，倘有坐標轉換需求者，建議國土測繪中心可開發不同時刻國家坐標系統成果轉換工具，如 TWD97 及 TWD97[2010]相互轉換，以利一般使用者辦理各項圖資整合時應用。
- (四) 針對 e-GNSS 系統提供的其他服務，國土測繪中心提供的後處理服務，方便使用者在網路訊號不佳的區域作業時，可以靜態衛星定位觀測事後上傳其觀測資料，以解算該測點定位坐標成果，其解算成果包含總解算筆數、Fixed 解筆數、Float 解筆數和坐標值，若使用者需完整的動態軌跡，建議申請衛星觀測資料檔後，搭配專業軟體自行解算。
- (五) 關於多數受訪者反應的作業手冊之規範，筆者對於其規範的重要性持肯定的態度，但其規範內容隨著觀測精度的提高確實有其修改的必要性，多篇相關文獻研究成果，亦可作為國土測繪中心修改此規範的基石，經國土測繪中心的答覆貴單位目前正辦理相關的測試與規範的研擬。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2019。e-GNSS 系統升級全星系服務效能之研究，台中。
- 內政部國土測繪中心，2014。三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究，台中。
- 王建得、劉虹妤、黃國良、劉冠岳，2019。採用 e-GNSS 辦理農地、山地現況測量之探討，第三十八屆測量及空間資訊研討會。
- 內政部國土測繪中心，2020。e-GNSS 即時動態定位入口網站，<https://egnss.nlsc.gov.tw/HotNews.aspx>，最近檢索時間：2020 年 3 月 24 日。
- 陳坤煜，2010。VBS-RTK 應用於圖根點定位精度之研究—以名間地區為例，逢甲大學環境資訊碩士論文。
- 林偉祥，2011。e-GPS 應用於山區地籍測量之研究：以台電鐵塔用地預為分割測量為例，國防大學理工學院碩士論文。
- 劉榮增、黃立信、何啟佑，2011。e-GPS 系統應用於地籍圖重測加密控制測量之研究，地籍測量，第 30 卷，第 2 期，第 16-31 頁。
- 葉大綱、許育源、崔國強，2014。e-GNSS 與 GPS 相對定位於地籍測量之精度分析，國土測繪與空間資訊，第 2 卷，第 2 期，第 131-146 頁。
- 葉大綱、張淑娟，2018。簡化 e-GNSS 地籍測量作業程序之探討—以北部實驗區為例，國土測繪與空間資訊，第 6 卷，第 2 期，第 117-136 頁。
- 國立臺北大學土地與環境規劃研究中心，2019。e-GNSS 定位技術運用於地籍圖重測作業可行性驗證實務研析，新北。
- 蔡明達、王明志、王柏文、李宜珊，2019。e-GNSS 定位作業規範適用性之探討，台灣土地研究，第 22 卷，第 2 期，第 111-134 頁。

東沙共站封閉型壓力式潮位計觀測值比對

史天元^{1*} 薛憲文² 張智安¹

論文收件日期：109.08.23

論文修改日期：109.11.12

論文接受日期：109.11.15

摘 要

封閉型潮位計將感測器、紀錄器、電源，封裝於一體，安置於水下量測潮位，為蒐集潮位資料時所常用。本研究分析三具安置於東沙潮位站之壓力式潮位計，以了解資料特性。三具潮位計垂直安置於同一具 6 吋管中之同一支架上，各個潮位計感測零點與潮位站參考點之支距於施作時以捲尺量得。由於三具潮位計為因工作推展，先後採購獲得，前一次壓力常數校正時間有別，分別為 2012、2016、2019 年。經分析平均潮位，推算潮位計間之支距後，發現前次校正在 2012 及 2016 年者，分別產生約 0.07 m 及 0.02 m 之飄移。由潮位時序之相關係數比對，前次校正已久者，波形亦有變異。本研究具體呈現，壓力式潮位計定期檢校之必要性。本研究由海水壓力化算水深時，同時比對簡易公式與 UNESCO(1983)公式之差異，在本次蒐集之數據中，最大達 0.0066 m。

關鍵詞：支距、檢校、統計分析、壓力化算水深。

¹ 教授，國立交通大學土木工程學系。

² 教授，國立中山大學海洋環境及工程學系。

*通訊作者，TEL：(03)5712121#54940，E-mail：tyshih@mail.nctu.edu.tw。

On the Comparison of Three Self-contained Pressure Tide Gauges in Dongsha

Tian-Yuan Shih^{1*}, Shiahn-Wern Shyue², Tee-Ann Teo¹

Abstract

The self-contained type tide gauge has the sensor, logger, power supply and other required units sealed into one container. This type of gauge has been widely deployed into the sea for tide information gathering. This study analyzes the data collected by three gauges deployed at the Dongsha tide station. These three gauges were placed vertically on the same staff in a six-inch pipe. The sensor zero of each gauge is taped at the installation and also at the de-installation. Because the gauges were purchased in different years along with the project's progress, the most recent calibration of the instrument pressure constants are not the same. They were calibrated in 2012, 2016, and 2019 respectively. From the average of observed tide with each gauge, it is found that there are 0.07 m and 0.02 m drifts with the gauges calibrated in 2012 and 2016. Observed from the correlation coefficients, the form of the tide collected with these two units is also moderately deformed. This study provides evidence on supporting the need for gauge calibration. In the depth conversion from seawater pressure, this study also found that the deviation between the simplified conversion equation and UNESCO (1983) equation reaches 0.0066m in the data processed.

Keywords: Offset, Calibration, Statistical analysis, Pressure to depth conversion.

¹ Professor, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

² Professor, Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University.

* Corresponding Author, TEL: +886-3-5712121 #54940, E-mail: tyshih@mail.nctu.edu.tw.

一、前言

由於地形與設施之限制，東沙潮位站使用壓力式潮位計(史天元，2018)。原規劃主輔雙系統，均為使用相同規格之潮位計，但因設置初期，發生因訊號線過長，主輔系統訊號線經由相同管道，疑似產生相互干擾，故而改以單系統運作，並另以封閉型潮位計(自計式)為輔系統。為此之故，先後採購封閉型潮位計數具，以因應作業需求。自 2009 年起迄今，早期機具業已故障報廢多具，目前堪用者，計 Sea Bird Electronic SBE39TP 4915、Sea Bird Electronic SBE39plus 8615、與 RBR duet3 81086 三台。本年(2020)初，將三具潮位計一同安置於同一 6 吋管中之支架上，垂直間隔固定，並以捲尺量得各個潮位計感測零點與潮位站參考點間之支距。亦因此，獲得各個潮位計間對應之支距。本研究由紀錄之潮位，計算得平均值，比對使用捲尺所量得者，以了解各潮位計之運作狀況。

封閉型潮位計將感測器、紀錄器、電源，封裝於一體，安置於水下量測潮位，取出後方能下載數據、更改設定、更換乾燥劑、視需要更換電池。由於潮位計之感測部與紀錄部合一，無須另設紀錄裝置，故又俗稱「自記式」。三具潮位計所記錄者均為海水壓力，該海水壓力，計算時為由感測之總壓力扣除標準大氣壓力後獲得。壓力感測系統為採用應變計(Strain gauge)，感應之類比量如電壓，轉換為壓力值時，需使用經校正之模型，以為轉換計算。RBR 與 SBE 類比量轉換壓力之模型不同，但是轉換所得壓力成果均符合其標稱精度。

本研究使用簡易公式與 UNESCO(1983)公式(RBR, 2019b；史與薛，2020)，化算水深。雖然嚴謹之海水壓力，應由海水壓力扣除當時實際大氣壓，化算水深過程中使用 UNESCO(1983)公式時亦應考量比容異常(Specific volume anomaly)，本研究均未曾涵括這兩點於分析中。比容異常對測站而言為該站之加常數，故不影響支距比對。大氣壓問題，因三具「自記式」情況相同，影響亦為相同，故亦可略。

二、潮位站與潮位計安置

東沙潮位站位於東沙島新建碼頭上，靜水井內安置支架，如圖 1。兩具 6 吋管中分別有垂直向支架，分別安置壓力式潮位計。如圖 2 左中置於空地上之支架，即為安置封閉型潮位計之用。圖 1 左方安裝有頂蓋，其上有訊號線之 6 吋管，其內安裝之壓力式潮位計為連接紀錄器之分離式系統，可以即時傳輸潮位訊號者；上方無頂蓋之 6 吋管，為安置封閉型壓力式潮位計者。

三具潮位計，如圖 2 左所示，由上而下依序為，SBE39TP、SBE39plusTP、RBR duet3，感測器零點至參考點之支距，於安置時量測，取出時再度量測。本研究數據蒐集期間為 2020/1/12 09:09 開始，取出時間為 2020/6/6 08:24。但是由於 SBE39TP 之電源為舊式，持續運作能力時間較短，2020/3/26 08:12 時即已因電壓過低停止紀

錄。潮位取樣時間間隔為每 60 秒一筆，故本研究分析之數據分為兩組，第一組有三具潮位計，計 106504 筆；第二組有兩具，計 210196 筆。

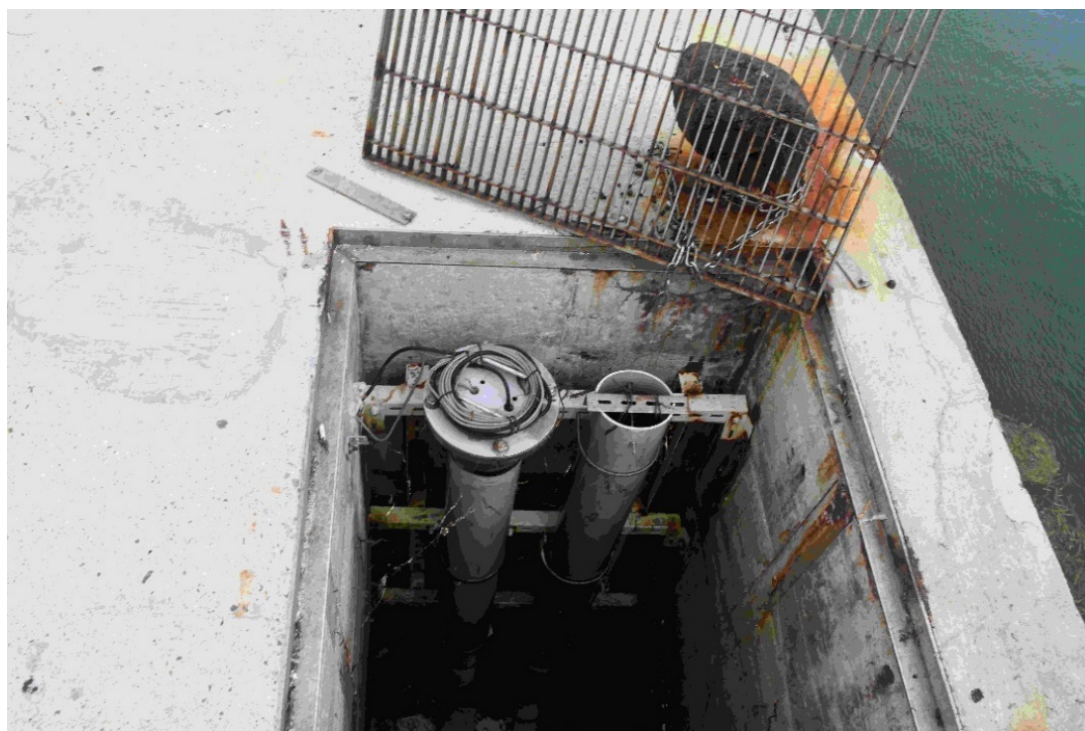


圖1 東沙潮位站靜水井(民國 109 年 6 月 6 日)

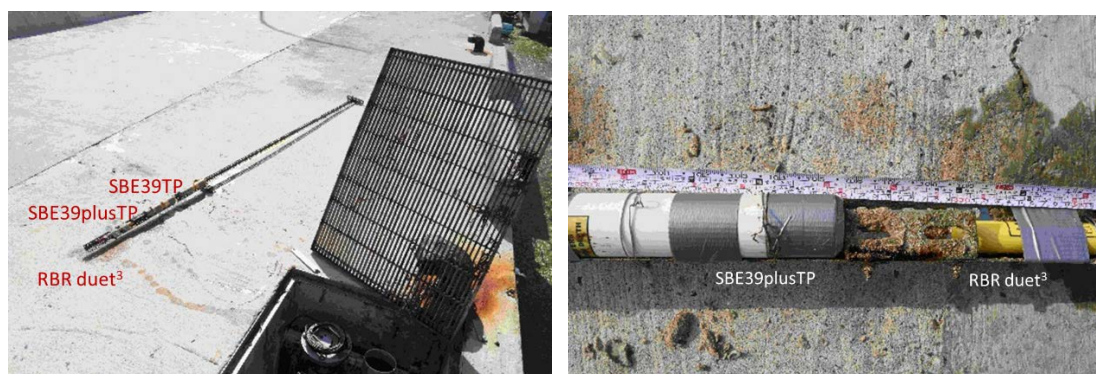


圖2 封閉型潮位計安裝(民國 109 年 1 月 12 日)

三具潮位計之規格與前次壓力常數檢校日期如表 1，其中 SBE39plusTP、RBR duet3 為相對新型之儀器，記憶體與所使用之電池能力均較 SBE39TP 大幅提升，配合使用之電子元件耗電力降低，使得電源之耐久性大增。下載之傳輸能力亦因使用新一代 USB 規格之通訊協定，而較以 RS232 傳輸的 SBE39TP 速度顯著快速，但是 SBE39plusTP 量測解析度與精度規格與 SBE39TP 相同。

表 1 中 FS 代表全域(Full Scale，全尺度)，本研究所使用之潮位計，因為在岸際淺水型潮位站中操作，且追求相對較高精度，採用之全域為 20 m 之機型。因此，0.1% FS 為 0.02 m。

表 1 潮位計規格及前次檢校日期(SBE, 2009; SBE, 2017; RBR, 2019)

	SBE 39 TP	SBE 39plus TP	RBR duet ³
量測區間	20 / 100 / 350 / 600 / 1000 / 2000 / 3500 / 7000 m	20 / 100 / 350 / 600 / 1000 / 2000 / 3500 / 7000 m	20 / 50 / 200 / 500 / 1000 m
起始精度	± 0.1% FS	± 0.1% FS	±0.05% FS
起始精度(導出)	± 0.02 m	± 0.02 m	± 0.01 m
標準穩定度	每年 0.05% FS	每年0.05% FS	每年~0.1%
標準穩定度(導出)	0.01 m	0.01 m	0.02 m
解析度	0.002% FS	0.002% FS	<0.001% FS
計時精度	32,768 Hz TCXO 每年±1 分鐘	32,768 Hz TCXO 每年±1 分鐘	<10 ms
前次檢校	05-sep-2012	03-nov-2016	18-may-2018

時間的紀錄與潮位量測關係重要，三具潮位計均於 2020/1/12 施作時與電腦時間校時。電腦則於潮位計校時前一小時內，以 SNTP 校時通訊協定，使用台灣標準時間伺服器 time.stdtime.gov.tw 網站，以 4G 網路連線校時。使用之校時程式為國家時間與頻率標準實驗室 (<https://www.stdtime.gov.tw/chinese/home.aspx>) 發展之 NTPClock 中文版 V2.1。

由於在烈日下單人操作，為避免讀數、記錄錯誤，兩次支距量測，均以攝影方式記錄，之後於相片上讀取，2020/1/12 攝影時因 RBR 81086 之壓力膜為垂直向，膜前有塑膠罩保護，為期固定，塑膠罩兩邊貼以防水膠布，以固定於機體。攝影時角度不佳，照到膠布，不易準確辨識，故以 2020/6/6 量測者為本研究比對依據，該次攝影時膠布已脫落。表二中第二、三欄，上有日期者，為各潮位計感測零點至支架頂端參考點之支距。潮位計兩兩間感測零點之間距，為表二右方兩欄。

表 2 潮位計安置支距(單位：m)

潮位計	2020/01/12	2020/06/06	起迄	間距 1	間距 2
SBE 4915	2.885	2.884	4915-8615	0.315	0.316
SBE 8615	3.200	3.200	8615-RBR	0.305	0.307
RBR 81086	3.505	3.507	4915-RBR	0.620	0.623

三、以觀測潮位分析支距

壓力式潮位計觀測所得為總壓力，包含大氣壓與海水壓，扣除氣壓後，得到與水深相關之海水壓。由海水壓力化算水深的方法，包含有簡易公式與 UNESCO (1983) 公式(RBR, 2019b)。本研究兩者均採用，比對後，以本研究數據為例，水深約 3 m 時，簡易公式與 UNESCO(1983)公式使用鹽度(S) 35‰、溫度(t) 0°、不考慮比容異常

時，差值達 0.0066 m，為最大。在以平均潮位值比對感測零點間支距時，差值小於 0.012 m。因為 UNESCO(1983)公式較為嚴密，故以 UNESCO(1983)公式化算成果為後續探討。

以第一組資料，計算潮位平均值獲得之支距如表 3 所列，如前所述，簡易公式與 UNESCO(1983)公式所得支距相近，差值在 1 公分內。三個支距中，與 SBE 4915 有關的兩個支距，差值為同號(方向)。

表 3 潮位平均求取之支距(106504 筆；單位：m)

比較儀器	捲尺	UNESCO	簡易	較差(UNESCO)	較差(簡易)
4915-8615	0.316	0.2746	0.2741	-0.0414	-0.0419
8615-81086	0.307	0.3300	0.3294	+0.0230	+0.0224
4915-81086	0.623	0.6047	0.6035	-0.0183	-0.0195

相關係數，顯示兩組潮位數據間，波型的相似程度。本研究使用 Gretl 程式 (Cottrell, 2019)計算，得到第一組以 UNESCO(1983)化算之水深資料相關係數。由表 4 可見，SBE 8165 與 RBR 81806 間之相關係數較高，達 0.9822。由簡易公式化算得之潮位資料，相關係數矩陣亦相同。

表 4 潮位相關係數(106504 筆)

	SBE 4915	SBE 8165	RBR 81086
SBE 4915	1.0000	0.9733	0.9740
SBE 8165		1.0000	0.9822
RBR 81086			1.0000

第二組數據，有兩具潮位計(SBE 8165 及 RBR 81086)，潮位相關係數為 0.9821。詳細之統計指標如表 5 與表 6。兩具潮位計之離散度指標標準偏差甚為接近，變異係數(Coefficient of Variation)因兩時序間有支距差異，致使均值影響其值。

表 5 SBE 8615 潮位統計值(210196 筆，除 CV 外，單位為 m)

平均值 Mean (m)	1.7610	歪度 Skewness	0.3530
中數 Median (m)	1.7381	尖度 Ex. kurtosis	-0.1550
最小值 Minimum	1.0227	5% Perc.	1.2913
最大值 Maximum	2.9927	95% Perc.	2.2786
標準偏差	0.2995	四分位距 IQ range	0.4147
變異係數 C.V.	0.1701	Missing obs.	0

表 6 RBR 81086 潮位統計值(210196 筆，除 CV 外，單位為 m)

平均值 Mean	2.0917	歪度 Skewness	0.3493
中數 Median	2.0691	尖度 Ex. kurtosis	-0.1632
最小值 Minimum	1.3460	5% Perc.	1.6221
最大值 Maximum	3.2760	95% Perc.	2.6084
標準偏差	0.2994	四分位距 IQ range	0.4148
變異係數 C.V.	0.1431	Missing obs.	0

潮位差值時序如圖 3 所示，雖有幾個區間中差值相對較大，但是難以看出系統性，由圖 4 左之分布頻率直方圖觀察，接近正常分布，但是以圖 4 右之 Q-Q 圖(分位圖)觀察，並非理想之正常分布，圖 4 右之橫軸為正常分布分位數，縱軸為潮位差值之分位數。其統計指標如表 7。支距值以潮位差值之平均值-0.3307 m 觀之，與表 3 中之 0.3300 m 相比，差值為 0.0007 m，顯示第一組與第二組觀測之潮位支距幾乎相同。此外，由表 7 之標準偏差，0.0566 m，顯現兩具潮位計觀測值差值之變異量大於儀器精度規格(表 1)。

表 7 (SBE 8165-RBR 81086)潮位差統計值(210196 筆，除 CV 外，單位為 m)

平均值 Mean	-0.3307	歪度 Skewness	-0.0025
中數 Median	-0.3304	尖度 Ex. kurtosis	2.9834
最小值 Minimum	-0.7623	5% Perc.	-0.4219
最大值 Maximum	0.0872	95% Perc.	-0.2391
標準偏差	0.0566	四分位距 IQ range	0.0572
變異係數 C.V.	0.1712	Missing obs.	0

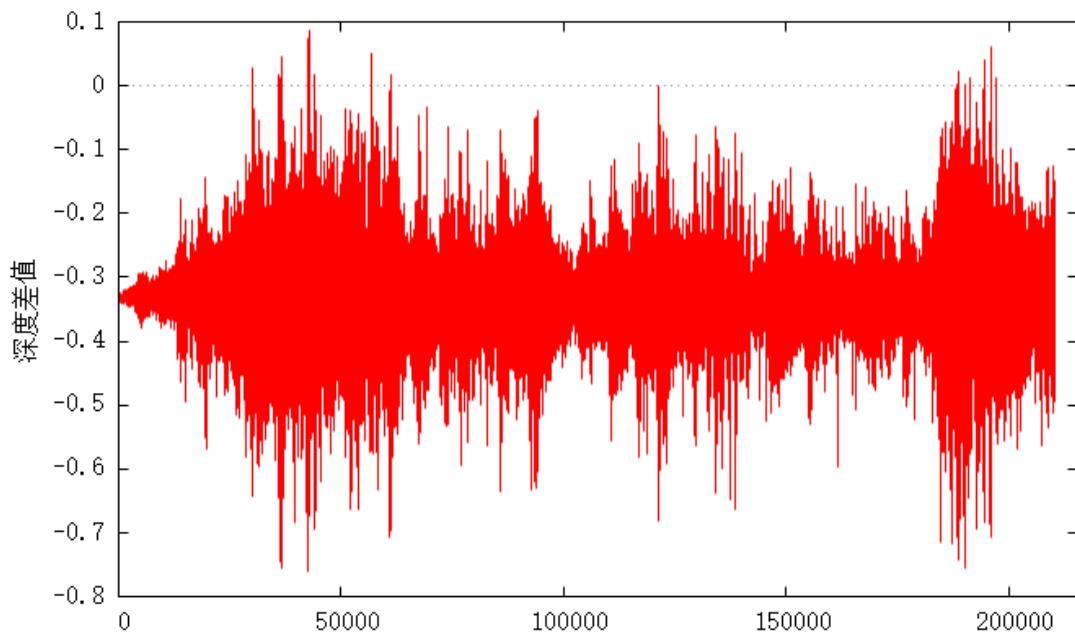


圖3 潮位深度差值時序(縱軸單位：m；橫軸單位：筆)

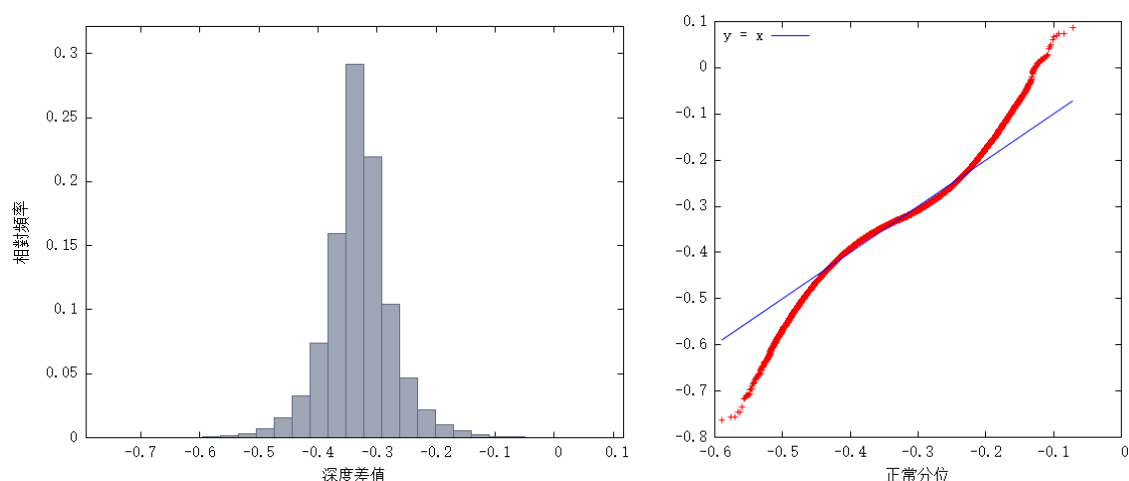


圖4 潮位深度差值(左，單位：m)分布直方圖(右) Q-Q 圖

整理第二組數據之支距如表 8，與表 3 中對應者-0.0195 m，相差 0.0042 m。第二組數據觀測差值之標準誤差為 0.0566 m，以此觀之，此一差異應屬觀測不確定度影響。顯示第一組數據之 106504 筆觀測值，已可充分描述支距。

表 8 SBE 8165-RBR 81086 支距(210196 筆；單位：m)

比較儀器	捲尺	潮位支距	差值
8615-81086	0.3070	0.3307	+0.0237

計算 SBE 8165、RBR 81086，以及兩者差值之相關係數矩陣如表 9，兩者之相關係數 0.9821 與表 4 中之 0.9822 幾乎相同。表 4 中亦呈現差值與兩組潮位值之相關係數，如果差值與潮位值相關，顯現潮位值大則差值亦大，在本探討中，差值與兩組潮位值相關性均低。

表 9 SBE 8165-RBR 81086-差值相關矩陣(210196 筆)

	SBE 8165	RBR 81086	差值
SBE 8165	1.0000	0.9821	0.0963
RBR 81086		1.0000	-0.0927
差值			1.0000

四、成果與討論

在三具壓力式潮位計中，前次校正在兩年內的為 RBR 81086，如果以 RBR 81086 為固定，SBE 8615 有 0.0230 m(表 3)往上變淺之飄移；SBE 4915 有-0.0183 m(表 3)往下變深之飄移。這兩個飄移合計 0.0413 m，與由潮位觀測平均值中計算所得之 SBE 8615 與 SBE 4915 支距差值-0.0414 m 幾乎完全吻合。SBE 8615 前次校正距數據蒐集時間約 4 年，SBE 4915 約 8 年，兩者發生不同方向的飄移的可能性似乎很高。而且，時間愈久，飄移量愈大。

如以相關係數觀察，以 RBR 81086 為參考，SBE 4915 之 0.9740 與 SBE 8615 之 0.9822，顯示所得潮位波型，亦有變形。而且，4 年前檢校的 SBE 8615，較 8 年前檢校的 SBE 4915，型態相似度略高。

根據規格(表 1)，SBE 39 TP、SBE 39plus TP 之穩定度為每年 0.05% FS，FS 為 20 m，亦即穩定度為每年 0.01 m。以 8 年計算，SBE 4915 的 -0.0183 m，小於標稱的 0.08 m；以 4 年計算，SBE 8615 的 0.0230 m，小於標稱的 0.04 m，均是符合所宣稱之穩定度的。需注意的是，本研究所顯示的飄移，為由長期觀測量平均得到，單一觀測量之飄移是否穩定，並非本研究所可探究。而由相關係數的降低，似乎顯示飄移並非單一一個穩定的加常數。可是相關係數的降低，亦有可能來自於環境，因為 SBE 4915 位於相對淺水處，距離 RBR 81086 較 SBE 8615 遠些。

五、結語

壓力式潮位計以觀測海水壓力，化算海水深度，由而量測潮位，由於多採用電子機械式壓力量測元件，感測之電壓、電容、或電阻等值，與壓力值之間的轉換關係需要定期的檢校。本研究以三具前次檢校年份不同的潮位計，實際施作於東沙潮位量測，顯示的確檢校過久，極可能發生飄移。除均值以外，量測所得潮汐變化的型態，亦可能發生改變。Freeman et al. (2004)針對壓力式水位計，建議每 4 至 8 週檢查一次，現代較高階之儀器有較佳之穩定度，中央氣象局維護之潮位站本島每四個月維護檢校一次，外島每六個月一次。封閉型潮位計檢校頻率通常又更低，因為不如感測、紀錄分離型者，可以使用標準壓力量測件做為檢校標準，如有開發之接口套件，易於施作，封閉型潮位計之檢校需要寄送原廠進行。在此情況下，寄送所需時間與經費，致使送檢意願低落，往往久未送檢。如何解決此一問題，或許是值得探討的課題。同時，雖然使用橢球高測深之「高程現代化」作業方式，已無須觀測瞬間潮位。但是相對應地，使用傳統作業方式之測深作業，仍需同步進行潮位觀測，以修正測量所得水深，而且往往使用封閉型壓力式潮位計於岸際設置臨時潮位站。如未注意現有潮位計檢校效力，衍生之誤差亦可能成為測深之誤差來源。

後記

本研究所顯示之 SBE 39 TP 與 SBE 39plus TP，有飄移現象，應純粹為檢校時間過久之故，與儀器廠牌型號無關。實際上，SBE 4915、8615 之飄移程度均小於其標稱穩定度甚多，堪稱穩定。

致謝

本研究進行中過程中內政部地政司黃鉅富博士的支持與指正，實為本研究完成的主因，敬此表達謝意。本研究獲得內政部經費資助，計畫名稱「109 年度三維國土形變及空間智能分析技術發展工作案」，本文為該計畫工作之一部分，謹此敬謝。

參考文獻

- 史天元，2018。東沙潮位站設施與運作，地籍測量，37(4):1-17。
- 史天元、薛憲文，2020。由海水壓力化算海水深度討論，地籍測量，39(3):1-7。
- Cottrell, Allin, 2019. Gretl User's Guide, Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library, <http://gretl.sourceforge.net/gretl-help/gretl-guide.pdf>, last accessed on 2020/06/12.
- Freeman, Lawrence A., Michael C. Carpenter, Donald O. Rosenberry, Joseph P. Rousseau, Randy Unger, and John S. McLean, 2004. Use of Submersible Pressure Transducers in Water-Resources Investigations, Chapter A of Book 8, Instrumentation Section A, Instruments for Measurement of Water Level, U.S. Geological Survey.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300107469>, last accessed on 2020/0612.
- RBR, 2019. RUSKIN User Guide, RBR-Global, RBR#0006106revE, <https://rbr-global.com/support/documentation>, last accessed on 2020/06/12.
- RBR, 2019b. Small Two Channel Recorder, RBR duet3, <https://rbr-global.com/products/compact-loggers/rbrduet-td>, last accessed on 2020/06/12.
- SBE, 2009. SBE 39 Temperature (Pressure Optional) Recorder User Manual, Version 021, https://www.comm-tec.com/prods/mfgs/SBE/manuals_pdf/SBE39_012.pdf, last accessed on 2020/06/12.
- SBE, 2017. SBE 39plus Temperature (P) Recorder Product Manual, <https://www.seabird.com/asset-get.download.jsa?id=54627862502>, last accessed on 2020/06/12.
- Schulz, Jan., 2008. Calculating the depth from pressure, Algorithms – Seawater, http://www.code10.info/index.php?option=com_content&view=article&id=67:calculating-the-depth-from-pressure&catid=54:cat_coding_algorithms_seawater&Itemid=79, last accessed on 2020/06/07.
- UNESCO, 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO technical papers in marine science 44:1-55.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000059832>, last accessed on 2020/06/07.

運用超高解析衛星進行疏濬高程控制可行性研究

林莉珊¹ 劉建良² 吳益裕³ 鄭詠祥⁴ 楊亞臻⁵ 陳繼藩⁶ 蔡富安⁷ 曾國欣^{8*}

論文收件日期：109.10.24

論文修改日期：109.12.10

論文接受日期：109.12.25

摘 要

臺灣河川受地質及地形之影響，中下游土石堆積快速，常須經由適當的疏濬或河道整理以維持河川水文流徑並保障河道週邊生命財產安全，然而過去在疏濬工程過程中產生的有價土石常有違法的情事發生。為杜絕超深越界等情形，主管機關訂定相關機制做為防堵的手段，然而過程中仍須地面監測作為輔助資料。隨著遙測科技的進步，新一代次米級超高解析度衛星在軌道運行過程拍攝之立體像對，結合數值地表模型(digital surface model, DSM)產製技術，可解決傳統現地測量點狀施測需耗費較高的時間及人力成本，以及河道中高程落差大與砂質鬆軟區域難以量測之問題。因此本研究以高屏溪主要支流荖濃溪做為研究區域，採用超高解析度 Pléiades 衛星立體像對配合影像匹配技術產製數值地表模型，並以無人飛行載具系統(UAS)及地面高程測量所提供之獨立數據進行精度驗證，將 Pléiades 衛星及 UAS 產製 DSM 進行高程套合比對，探討其作為土方濬深高程控制檢核的依據，檢驗河川疏濬過程河道變化。在比對兩者所產製之 DSM 後，可計算 Pléiades 相對高程精度為 0.70 公尺。而經由主管機關提供的地面檢測，驗證 Pléiades 在河道斷面平均高程的相對精度為 0.47 – 0.84 公尺，控制精度約為衛星影像 1 – 2 像元。衛載遙測方式可有效率的產製面狀地形，彌補地面測量空間密度不足問題，故後續建議針對各大型疏濬區可辦理遙測方式配合地面測量，而達到實際監測之目的。

關鍵詞：河道斷面、數值高程模型、立體像對、無人飛行載具系統。

¹ 碩士生，國立中央大學土木工程學系。

² 助理工程師，國立中央大學太空及遙測研究中心。

³ 組長，經濟部水利署水利行政組。

⁴ 科長，經濟部水利署水利行政組。

⁵ 專任助理，國立中央大學太空及遙測研究中心。

⁶ 專案教授，國立中央大學太空及遙測研究中心。

⁷ 教授兼任中心主任，國立中央大學太空及遙測研究中心。

⁸ 副教授，國立中央大學太空及遙測研究中心。

*通訊作者，TEL：(03)4227151#57690，E-mail：khtseng@csr.sr.ncu.edu.tw。

Potential of Elevation Control in River Channel

Dredging with Super High-Resolution Satellite Images

Li-Shan Lin¹, Chien-Liang Liu², Yi-Yu Wu³, Yung-Hsiang Cheng⁴, Ya-Chen Yang⁵, Chi-Farn Chen⁶, Fuan Tsai⁷, Kuo-Hsin Tseng^{8*}

Abstract

As formed by the steep terrain and fragile geological conditions, river channels in Taiwan have long been required to dredge deposited sand and gravel and to ensure the safety along the river banks. However, the dredging works are sometimes loomed by the alleged illegal operations including overstepping and over-dredging along the designated profiles. To prevent the illegal activity, remote sensing technology has a great potential to monitor the work. Spaceborne images are considered superior in coverage and efficient in contrast to conventional ground surveying. Hence, this study investigates the possibility of monitoring the dredging work by using satellite data. We analyze the temporal evolution of the digital surface model (DSM) through the super high-resolution Pléiades stereopairs, and examine the model accuracy by other data such as unmanned aerial system (UAS) DSM and ground measurements. The vertical accuracy of Pléiades DSM, as compared with UAS DSM and ground points, reaches 0.70 m and 0.47–0.84 m, respectively, which is about the order of 1–2 image pixels. We conclude that the spaceborne data is a feasible approach in company with ground leveling to keep track of the procedure of gravel removal works, especially for those large and remote areas.

Keywords: River Cross-Section, Digital Surface Model, Stereopairs, Unmanned Aerial System.

¹ Master Student, Department of Civil Engineering, National Central University.

² Assistant Engineer, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

³ Director, Water Administration Division, Water Resource Agency, Ministry of Economic Affairs.

⁴ Water Administration Chief, Water Administration Division, Water Resource Agency, Ministry of Economic Affairs.

⁵ Research Assistant, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

⁶ Project Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

⁷ Professor and Director, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

⁸ Associate Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

* Corresponding Author, TEL: +886-3-4227151 #57690, E-mail: khtseng@csrr.ncu.edu.tw.

一、前 言

1.1 研究背景

臺灣西部受地質及地形影響，河川呈現流域面積小、長度短、河床坡陡的特徵，加上回春地形顯著及季節性劇烈天氣，導致山區溪流與下游河道內洪枯水量懸殊，常見河流湍急、上游侵蝕旺盛並導致下游土石快速堆積的現象(石再添,1987)。為避免過量淤積之砂石影響河川水文流徑並保障河道週邊生命財產安全，藉由適當的疏濬及河道整理有助於雨季排洪效率，並維持河防、水利建造物及取水設施之設計功能。然而過度開採可能會造成河川動態平衡的系統性破壞，若上游土石過量挖掘，甚或引起下游河床因缺乏土石填補而刷深、基腳裸露，進而危及橋樑、堤防等河川建造物之安全，並有向源侵蝕、加速上游崩塌及海岸線侵蝕之虞(李鴻源,1999)。

長久以來，有價土石開採的成本低廉且潛在利益可觀，加上河川區域內的使用行為日趨複雜，導致砂石過度開採的問題層出不窮，疏濬工程也因監控不易，早年常有超挖、越區、合法掩護非法等盜濫採砂石行為，導致社會風評不佳。以單價每公噸（約 0.6 立方公尺）300 元約略計算，一百公尺見方且深度 0.6 公尺的超挖（共 6000 立方公尺），其市場價格可達 300 萬元。有鑑於此，自 95 年起中央管河川砂石疏濬工程改採「採售分離」機制，將工程、土石、保全、檢測等標案獨立辦理，並透過體積及斷面檢測、管制站及地磅設置、監視系統及保全人員 24 小時監管等方式掌握實際外運土石數量(經濟部水利署,2019)，且為求開採過程公開透明，亦設置如「河川便利通」(<http://iriver.wra.gov.tw/>)等即時開放資訊供民眾閱覽監督。隨著工作規範日益成熟且成效顯著，逐步拓展成為各主管機關的辦理作業參考，行政院也於 98 - 100 年逐步核定修正「加強河川野溪及水庫疏濬方案」，整合中央與地方政府權責，加強野溪、河川與水庫之疏濬效能與效益。透過監控機制的落實，不但讓疏濬工程期程合理縮短，土石資源有效運用，在提升透明度的過程中增進管理效率並杜絕不法情事。

目前在工區的檢核方式仍以現地測量為主，相對耗費較高的時間及人力成本，對於河道中高程落差大與砂質鬆軟區域也難以量測。近年得利於各式遙測工具的蓬勃發展，除了傳統地面測量，航空攝影測量(aerial photography)、衛星遙測影像(satellite remote sensing)、光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)、全球衛星定位系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)等資料紛紛導入於產製數值地表模型(digital surface model, DSM)，對於較大範圍變異區域的三維模型建構，提供即時、精確且具成本優勢的解決方案。相較於人力地面量測，多元遙測工具可降低現地環境與人員到訪的限制，減緩人力需求並可觸及交通不便的偏遠地區。

1.2 河道變遷測量方法

回顧過往文獻，多時序遙測分析法常被使用於河川地形變遷的研究上(Croke et al., 2013)，透過收集長時期測量數據並以不同演算法進行數據分析，可計算地形的時空變化量，了解研究區高低落差分佈。為監測河川疏濬地形的變化過程，可藉由產製數值高程模型進行地表高程空間及時間的測量分析，而航照影像在傳統上一直是被用於大範圍產製數值高程模型的方法，如許進忠(2007)使用航拍影像建製數值地表模型進行河川砂石疏濬土方量評估及精度分析，認為以航測建置高程模型的方式能彌補傳統地面測量的不足並有效評估土方量，然而，儘管航測飛機裝載了可以拍攝高精度影像的新型數位航空照相機，但主要限制在於飛行前需要特別訂定詳細的飛行任務和處理大量的圖幅、價格高昂且航拍頻率不高。以農林航測所為例，飛行規劃於平地約每年兩次，而山區因地形及天候限制僅能 2-3 年拍攝一次(李治逸、王韻皓,2012)，對照疏濬常見的期程，從竣工至雨季來臨前往往往只有數週的時間窗口，在任務目的與拍攝對象的折衷下往往難以針對河道進行紀錄。值得一提的是，現今蓬勃發展的無人飛行載具系統(unmanned aerial system, UAS)對與地表建模的垂直精度通常可優於 $\pm 0.1\text{m}$ ，然而其較適用於小區域的觀測(Lejot et al.,2007)，且受限於空域申請、禁飛管制、天氣條件等因素，對於位處山谷中的疏濬區拍攝有諸多限制。有鑑於此，透過衛星遙測科技於短時間內取得大範圍數據及高時空解析度的優勢，除了能有效監測、提高資料收集的時效性及降低困難度外，更能舒緩大量的人力與經費負擔，因此利用高解析度衛星代替航拍影像進行監測為值得研究的方向(詹水性，2006)。

目前新一代次米級的超高解析度衛星不僅提供傳統天底拍攝影像，也能在軌道運行過程拍攝立體像對，得以產製數值高程模型並用於空間測量，只要使用均勻分布的控制點(ground control points, GCPs)並搭配良好的地理定位(georeferencing)，能提供十分精確的表面形貌，趨近光達測量的產製成果 (Stumpf et al., 2014)，且成本更低，可用性更高。如文獻研究，Pléiades 衛星立體像對影像所產製的 DSM 在監測冰川地形高程變化上總體精度能達到 $\pm 1\text{m}$ ，甚至在其中的冰舌地形其精度能達到 $\pm 0.5\text{m}$ (Berthier et al., 2014)。因此，為驗證超高解析衛星應用於地表高程建模之精度，本研究以高屏溪主要支流荖濃溪做為研究區域，採用 Pléiades 衛星立體像對配合影像匹配技術產製數值地表模型，並以 UAS 及地面高程測量所提供之獨立數據進行精度驗證，探討其作為土方濬深高程控制檢核的依據，檢驗河川疏濬過程之河道變化。

二、研究區域

高屏溪原名下淡水溪，由上游的荖濃溪、旗山溪及隘寮溪匯流而成，全長約 170 公里，流域面積廣達 3,257 平方公里，為全台流域面積最廣之溪流，輸砂量更為世界河川前 20 名，每平方公里的輸砂量高達 1 萬公噸(Chen et al., 2004)，亦為國內歷年來疏濬砂石量最大的河川，平均每年約 700 - 1200 萬立方公尺，為其次濁水溪的

1.5~2 倍之多(<http://iriver.wra.gov.tw/>)，在全台佔有將近四分之一的疏濬量。其支流荖濃溪源於南投縣信義鄉，經高雄梅山、桃源、寶來、六龜後於里港匯流隘寮溪並續流旗山溪。荖濃溪河長 133 公里，位於新生代新造山帶中，天然地質與構造條件惡劣，當支流上游大規模崩塌，透過颱風雨或強降雨事件的沖刷，挾帶而下的土石於河口沖積扇堆積，土石來源不絕，河床堆高則易造成災害。荖濃溪屬於枯水期長的荒溪型河川，為典型固定辦理疏濬區域，加上河口沖積扇堆積與氣候特性，在各大疏濬辦理區域具有代表性，故在此區選擇新威大橋上游河口沖積扇疏濬工程段做為試驗區域。



圖1 研究區域相關地理位置，紅線為行政區界，藍色為河道邊界，黃色星號為新威大橋北側疏濬辦理位置

新威大橋上游斷面 20-28 河段於近期辦理疏濬作業(左岸)，施工期程為 108 年 10 月至 109 年 6 月。本研究於 109 年 2 月 26 日與 4 月 29 日透過中央大學資源衛星接收站，分別向法國 Airbus 公司訂購兩組任務型 (tasking) Pléiades 影像，範圍為以疏濬作業區為核心向外延伸至 100 平方公里之最小訂購面積，拍攝參數為基線航高比 0.3 - 0.5，最高雲遮 10%，後於 109 年 3 月 4 日與 5 月 9 日分別獲得拍攝預覽圖並確認訂購一式兩幅(前後視)。109 年 3 月 4 日拍攝之後視影像如圖 2A 所示，圖中藍色圓點為施工界樁點位，另 109 年 5 月 9 日之影像如圖 2B 所示。由預覽圖中可見在兩次拍攝期間於界樁南北中段有明顯的地貌特徵改變，若基於傳統彩色影像判釋能萃取工程施作的平面位置，檢視砂石的採取與暫置是否依規定限縮在計畫範圍內。

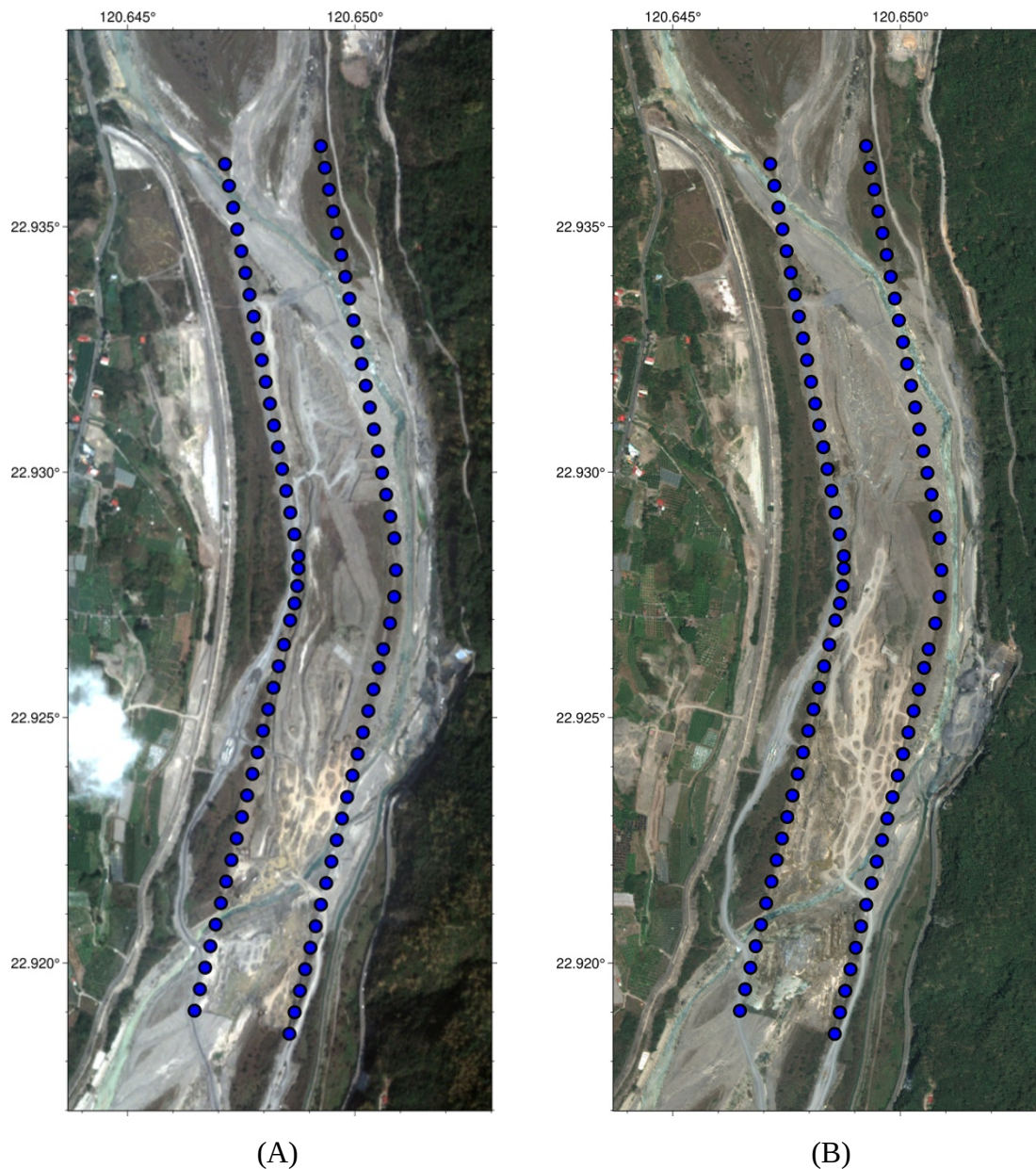


圖2 研究區域荖濃溪新威大橋上游。圖 A 為 109 年 3 月 4 日拍攝影像，圖 B 為 109 年 5 月 9 日拍攝影像。圖中可見在此時段內主要疏濬區域為緯度 22.919°–22.927° 內之下游區段

三、觀測資料與處理方法

3.1 研究流程

本研究流程主要包含資料收集、控制點選取、衛星產製數值高程模型、UAS 產製數值高程模型，並利用河川局高程檢驗資料進行驗證，將不同時期數據相減及剖面擷取高程之方法獲取高程變化，進行 Pléiades 數值高程模型監測疏濬可行性評估等步驟(圖 3)。在衛星產製 DSM 過程中，利用影像方位重建及影像金字塔匹配建立

DSM，並參考國土測繪中心圖資雲，以後處理的方式加入控制點降低影像絕對地理定位誤差。另使用遙控無人機系統(UAS)拍攝影像辦理地表建模作業，最後將地面量測數據與 UAS DSM 根據剖面線擷取高程值之方法，繪製出剖面線進行比對檢驗，另以多時序高程數據相減之方法，分析探討河川疏濬期程內高程變化之情形。

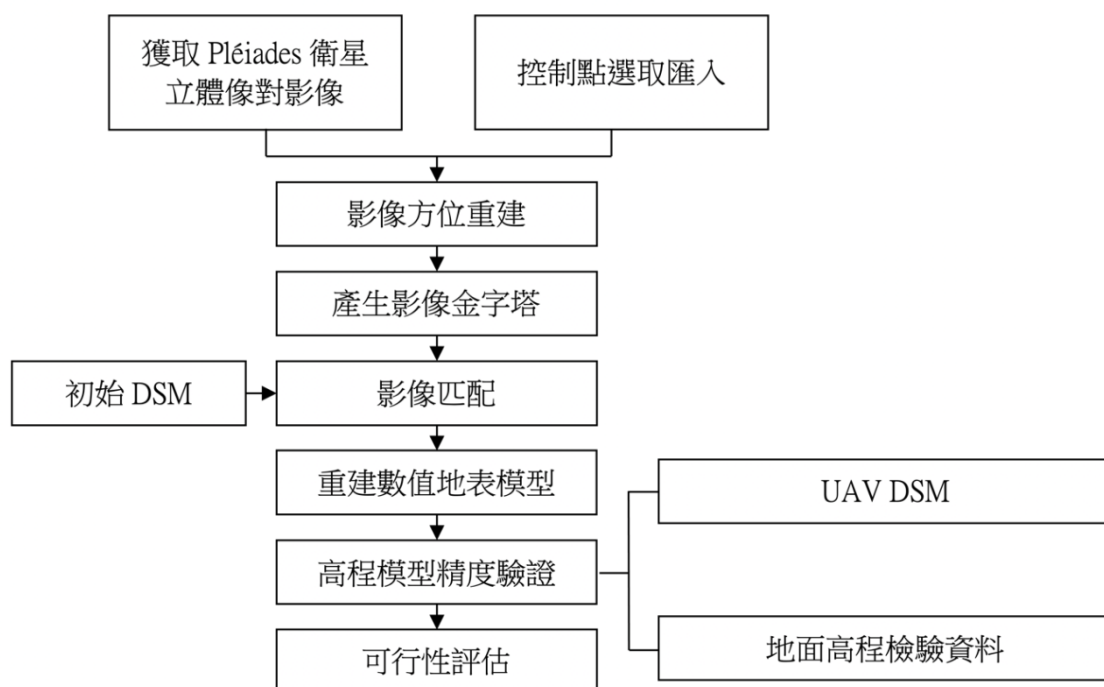


圖3 利用超高解析影像產製數值地表模型並與現地檢測比對流程

3.2 Pléiades 衛星立體對影像

Pléiades 衛星 1A/1B 為超高解析度衛星，提供 0.5 公尺解析度全色態影像，2 公尺解析度多光譜影像，由於再訪時間短及具備快速本體旋轉能力，可用於拍攝多重疊立體像對影像(Gleyzes et al., 2012)，因此可以快速進行 3D 建模。然而衛星產製立體對之拍攝資源有限，取像方式與高重疊率的航照不同，Pléiades 衛星通常能提供同軌前後二重疊及三重疊立體像，依 Bernard et al. (2012)研究顯示，在開放、沒有嚴重遮蔽物且較平緩的地形(如河道)中，拍攝規劃以同軌前後的二重疊立體像對為主，即能得到不錯的結果。而為提升最終定位品質，本研究在影像下訂過程中考量拍攝時間、地物遮蔽、定位精度、匹配成功率等因素，設定核心區域最高雲遮 10% 及基線航高比(B/H)0.3-0.5 等影像交會條件限制。

在取得立體像對後，配合影像匹配技術產製數值地表模型，主要處理程序包括將影像方位重建，使用地面控制點以及共軌像點修正衛星星曆資料誤差後，產生影像金字塔，利用多重解析度之影像匹配程序提高匹配成功率，並將影像進行匹配，先以標準化互相關係數法匹配概略位置，再用最小二乘匹配法匹配精確位置，最後重建數值地表模型，匹配所得之地面三維點位為離散點雲，以內插方式產製網格數值地表模型。上述步驟中，利用較粗層影像金字塔所產生之數值地表模型，作為匹

配參考高度資訊，進行細層影像金字塔之影像匹配程序。經由此過程可獲取河川區域內之地形模型，並經由前後期比對，可獲得地形差異以判斷疏濬施作過程是否存在超深越界情形。

3.3 UAS 影像建模

運用遙控無人機系統(UAS)以及運動恢復結構(structure from motion, SfM)技術重建地表三維模型已在近年日趨成熟，這種基於航空攝影測量原理的演算法隨著日益普及的消費級無人機以及快速提升的電腦運算，能夠非常有效率地透過低成本及少數人力進行施作。陳靜茹等(2016 年)研究以離地 60m、影像前後及左右重疊率為 70%的情況下，於海岸地區產製解析度 2.75cm/pixel 正射影像及 DSM，其 DSM 與光達量測之高程值相比精度多優於 60 – 70 公分。而張崴等(2017)使用四旋翼 UAS 搭載 GoPro 錄影式相機，並利用 Pix4Dmapper 軟體建立河道數值表面模型，其空間解析度達 15 公分，平面精度為 11.1 公分，而高程精度平均可達 5.2 公分。為驗證 Pléiades 衛星產製之 DSM 精度，本研究亦於衛星拍攝後的數日內至現地使用 UAS 進行研究區域之拍攝，所使用的無人飛行載具為四軸旋翼式空拍機，搭載 2000 萬像素 CMOS 感測器，其垂直定位精度為 ± 0.5 公尺，水平定位精度為 ± 1.5 公尺，參考前人之施測流程，以離地高 60 公尺、沿徑影像重疊率 70%與跨徑影像重疊率 60%的參數進行拍攝，後續以 Pix4Dmapper 軟體運用 UAS 拍攝影像產生 3D 點雲結合原始空拍影像，產製具地理參考位置之三維地表地形進行驗證。

3.4 DSM 相對高程套合

Pléiades 與 UAS 兩組影像在產製初期皆參考國土測繪中心圖資雲的航照影像作為控制點進行校正，其 3 月份正射影像平面精度 Pléiades 為 0.84 公尺，UAS 為 0.76 公尺，5 月份正射影像平面精度 Pléiades 為 0.45 公尺，UAS 為 0.44 公尺。而在垂直精度比較上，雖在 DSM 產製初期已參考一組初始高程模型作為高程參考值，然而受限於控制點與匹配過程的特徵點分佈，兩組 DSM 經校正後局部區域仍存在高程差，無法直接進行比對，若與現場地面測量的高程相比可明顯看出其系統性偏差。如下表所示，欄位 A – H 分別為 3 月與 5 月兩期 DSM 與時間上最近的地面測量比對均方根誤差(RMSE)，其中 A、C、E、G 為校正前，B、D、F、H 為校正後，可見在未施作高程套合前，Pléiades 與 UAS 的精度在兩期皆約 0.88 – 1.00 公尺，且前後期的偏差不盡相同，如 A 比 E 存在 0.12 公尺的系統性差異。此差異除可能造成前後期相減時的誤差，也代表了 DSM 本身在絕對高程座標上並不可靠，因此接續利用地面檢測點的高程測量值作為 DSM 修正的依據。

修正過程以圖 4A 為例，將 3 月 4 日 Pléiades 產製之 DSM 與作為基準的 2 月 18 日 418 個地面高程測量點(紅點)之差異計算殘差，將殘差值於空間分佈中以最小二乘平差擬合三維多項式曲面(圖 4B)，並利用該曲面作為高程修正值，將 Pléiades DSM 修正至與地面測量點的高程基準。在經由內部以試誤法測試一到四階的多項

式曲面後，以三階的成果最佳，故在此選用三階的三維多項式曲面進行擬合。相同的，針對 3 月 8 日 UAS DSM 亦利用相同的地面檢核點進行修正。然而對於 5 月份拍攝的第二組 DSM 因主要作用為計算與前期 DSM 的地形變化，故將 5 月份的 Pléiades 與 UAS 兩組 DSM 分別與 3 月份的 DSM 以同樣方式進行高程校正，以降低系統性誤差。在未進行套合前，若比較 Pléiades 與 UAS 經高程修正後 DSM 前後期差異，包含明顯施工區時精度為 1.11 公尺，而從後續的分析(圖 11)可得，經套合後包含明顯施工區時精度為 0.87 公尺，移除明顯施工區後為 0.70 公尺，優於修正前以及表 1 中各單期的精度驗證(欄位 B、D、F、H)，故可證明經套合修正後有助於判斷前後期實際變異區位，避免系統性差異造成的雜訊。

表 1 Pléiades 與 UAS DSM 於高程修正前後與地面測量點進行精度驗證

欄位	高程驗證比對資料	點位數量	校正前後	RMSE(m)
A	3 月 4 日 Pléiades DSM	720	校正前	1.00
B	3 月 22 日 地面測量		校正後	0.73
C	3 月 8 日 UAS DSM		校正前	0.93
D	3 月 22 日 地面測量		校正後	0.75
E	5 月 2 日 Pléiades DSM	370	校正前	0.88
F	5 月 11 日 地面測量		校正後	0.82
G	5 月 8 日 UAS DSM		校正前	0.98
H	5 月 11 日 地面測量		校正後	0.82

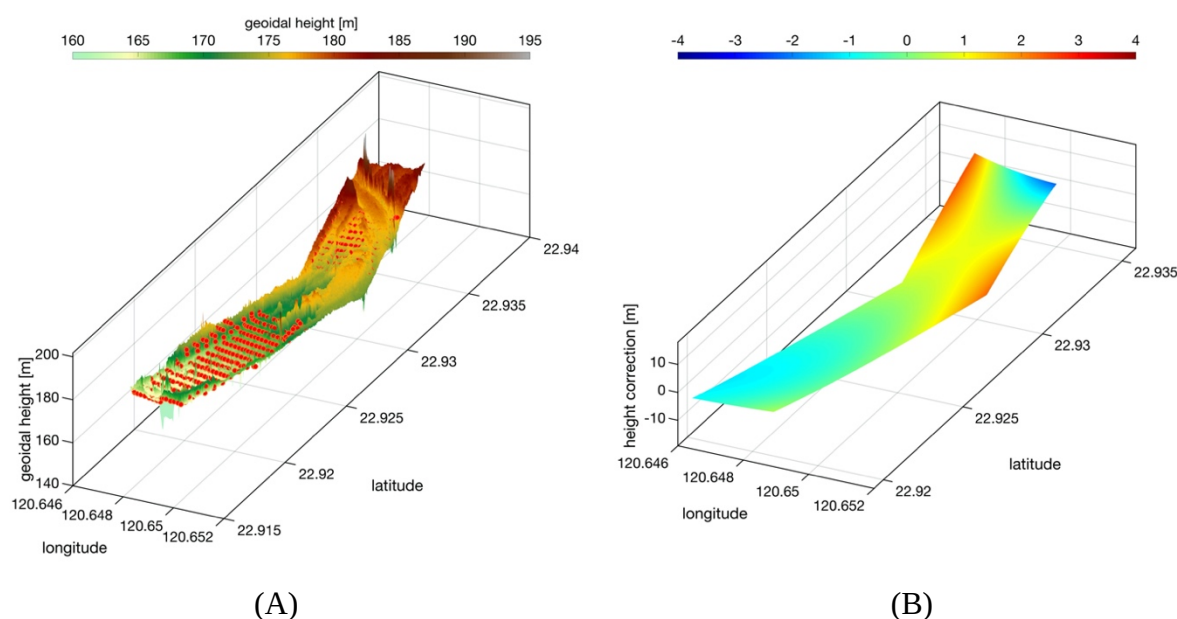


圖4 (A) Pléiades 產製 DSM 與地面量測高程(圖中紅點)示意圖。(B)以兩者高程差擬合三維多項式曲面作為高程修正值

四、地形模型成果檢核

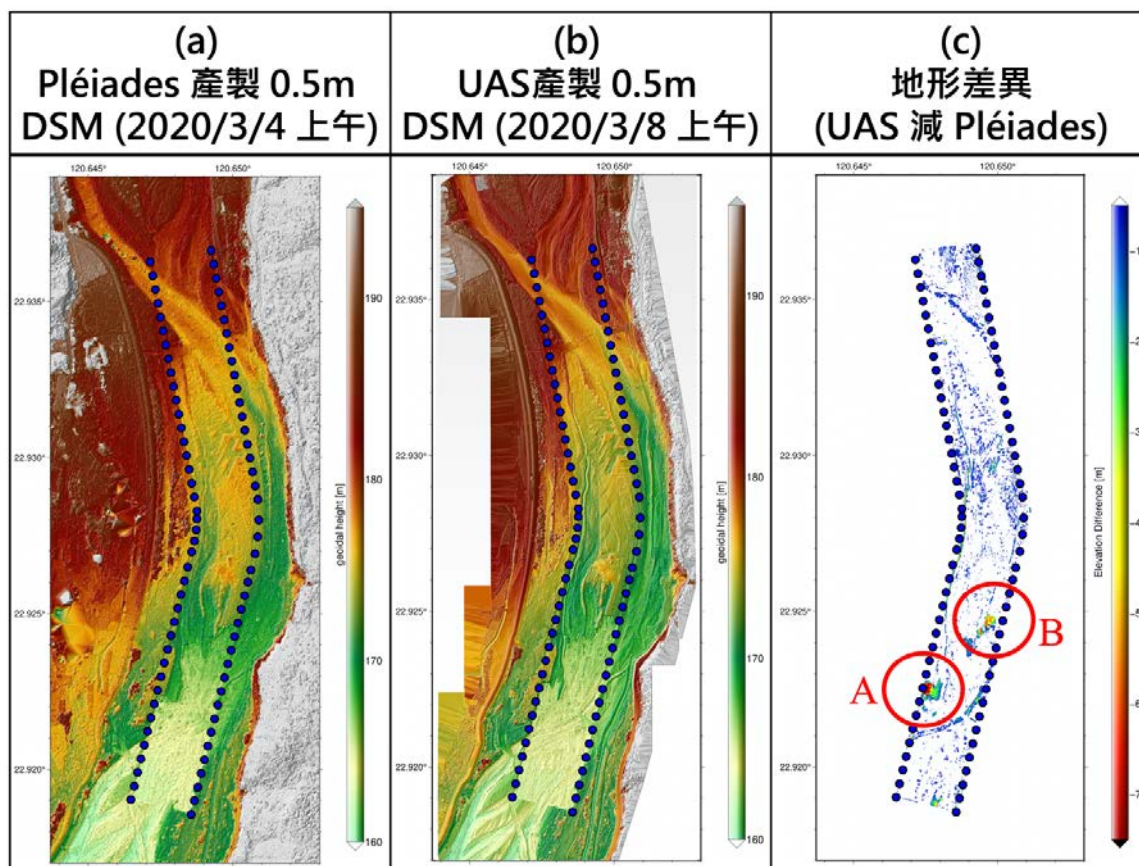


圖5 3 月份 Pléiades 與 UAS 產製之目標區地形與差異

以遙測方式產製兩組基準相同的 DSM 可在空間中利用高程將減的方式估算差異。首先將 3 月份的 Pléiades 與 UAS 地形相減，可獲得兩種 DSM 在高程上的誤差分佈 (圖 5c)，圖中可見兩者差異除河道外多數地區皆小於 0.5 – 1m，而較大差異 (大於 5 公尺) 主要集中於 A、B 紅圈處。接著針對圖 5(c) 中標記的 A、B 兩區域進行局部放大分析，放大後的影像差異可見於圖 6，圖中各欄位分別為 Pléiades 於 3 月 4 日上午拍攝影像 (圖 6a)、UAS 於 109 年 3 月 8 日上午拍攝影像 (圖 6b)，以及兩者地形差異以等高線形式套合至 UAS 影像 (圖 6c)。由 UAS 影像可見拍攝當日在兩處皆有挖土機與砂石車頻繁作業 (圖 6b 藍圈處)，相較於 109 年 3 月 4 日衛星影像，有明顯地貌變化與高程落差，由於兩者高程差異等高線 (圖 6c)，不論在 A、B 兩區皆為平整且規則的多邊形，且最大高程差皆約 7 公尺，初判造成 A、B 兩區差異皆為拍攝時間差 (109 年 3 月 4 日至 3 月 8 日) 期間所移除土方。因此，可推論 Pléiades 在經地面控制校正後可獲得良好的地表模型，與降解析至 0.5m 的 UAS DSM 相比，Pléiades 僅具有小於 1 公尺的隨機誤差，且可反映實際變異處的顯著高程差。

後續依同樣方式驗證 5 月份 Pléiades 衛星產製之 DSM 精度 (圖 7a，地面解析度 0.5m)，以及於衛星拍攝 6 日後 (109 年 5 月 8 日) 至現地辦理 UAS 地表建模外

業，與第 1 次相同作業流程產製三維地表地形 (圖 7b，降解析至 0.5m)。由圖 7(a)、(b) 子圖同樣可見兩者產製之地形變化在空間中大致相同，將 Pléiades 與 UAS 地形相減後可獲得地形差異(圖 7c)。兩者差異除河道外多數地區皆小於 0.5 – 1m，較大差異 (大於 5 公尺) 存在於 C 紅圈處。

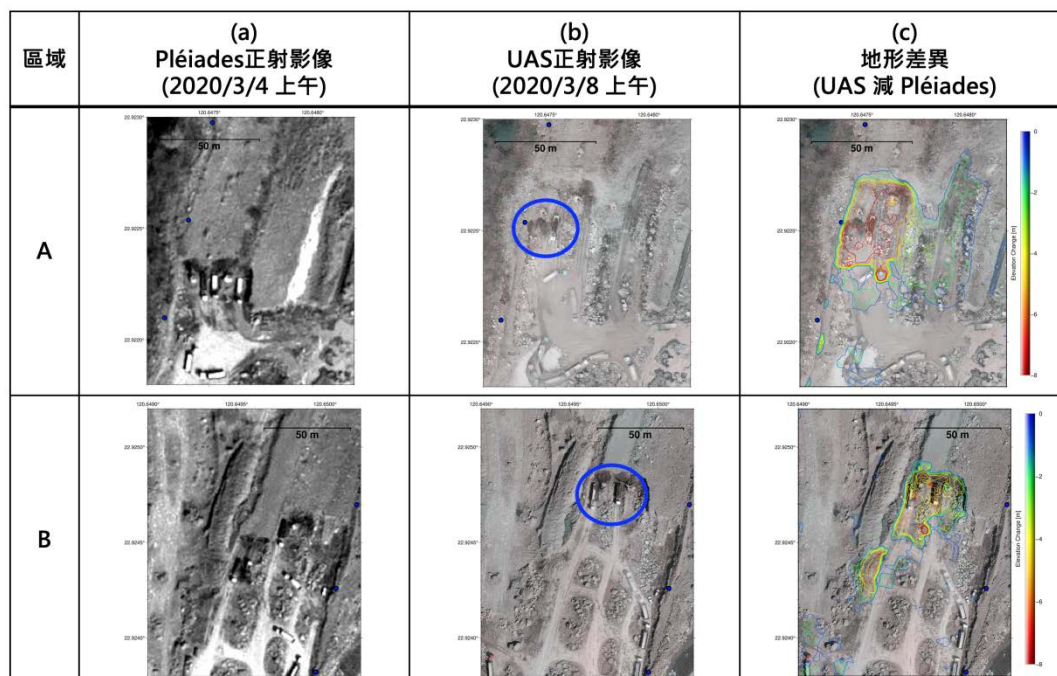


圖6 3 月份 Pléiades 與 UAS 產製之目標區地形與差異(局部放大)

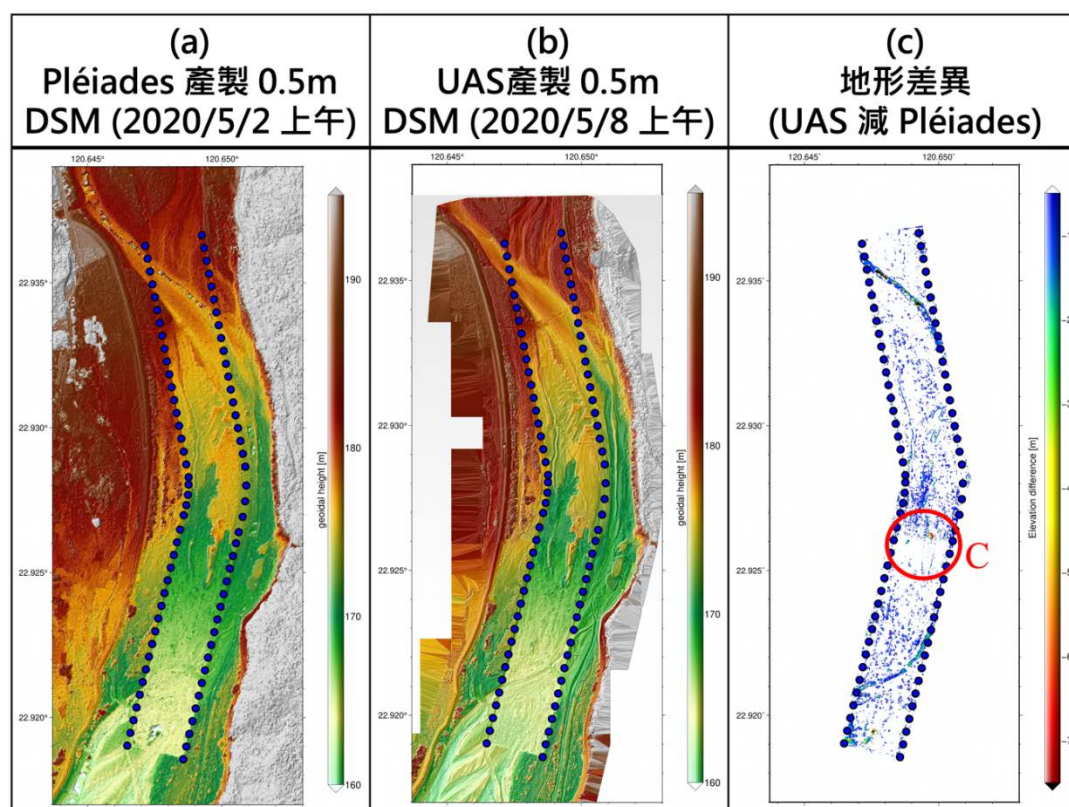


圖7 5 月份 Pléiades 與 UAS 產製之目標區地形與差異

接著針對圖 7(c)中 C 區域進行局部放大分析，放大後的影像差異可見圖 8，各欄位分別為 Pléiades 於 109 年 5 月 2 日上午拍攝影像 (圖 8a)、UAS 於 109 年 5 月 8 日上午拍攝影像 (圖 8b)，以及兩者地形差異以等高線形式套合至 UAS 影像 (圖 8c)。由兩張影像皆可見在拍攝時間段有挖土機在附近作業 (圖 8b 藍圈處)，相較於 109 年 5 月 8 日 UAS 影像，該處在期間內 (109 年 5 月 2 日至 5 月 8 日) 仍有採取與整平作業，因此判斷造成 C 區差異亦為拍攝時間差期間所移動的土方。

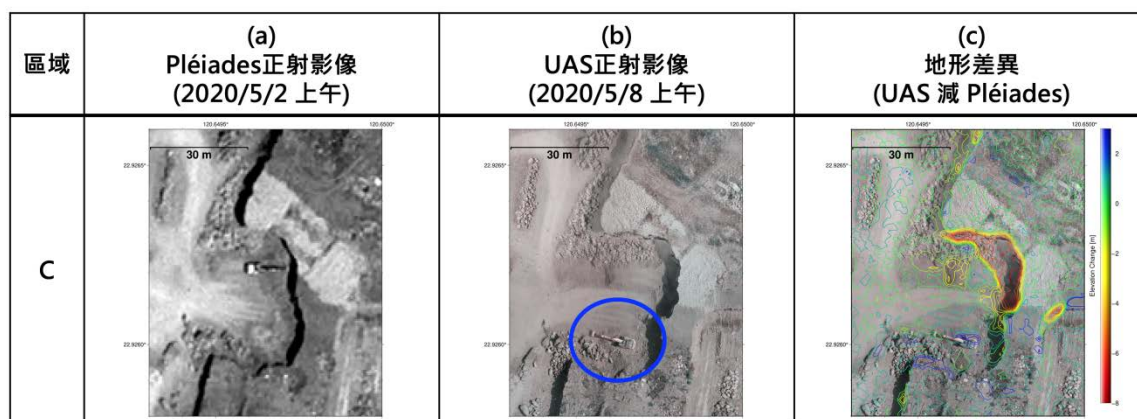


圖8 5 月份 Pléiades 與 UAS 產製之目標區地形與差異(局部放大)

若假設相對高精度之 UAS 量測為真值，則可量化評估 Pléiades 產製之 DSM 品質，因此接續分析 Pléiades 前後期所產製的 DSM 地形差異與現地 UAS 觀測到的地形差異，Pléiades 前期如圖 9(a)、後期如圖 9(b) 與兩者地形差異如圖 9(c)，其中圖 9(c)中已透過 Pléiades 多光譜影像計算改良常態差異水指數 (modified normalized difference water index, MNDWI)，將任一張影像出現水體之像元移除，故在河道與部分積水區無資料顯示。由圖 9(c)中可見，此期間內濬深範圍主要集中在作業區的中段至下游，多數濬深高程約 2 至 6 公尺，亦有部分地區超過 6 公尺。進一步對照 UAS 產製之地形資料，UAS 前期如圖 10(a)、後期如圖 10(b) 與兩者地形差異如圖 10(c)，可見其疏濬範圍與高程差異與 Pléiades 十分雷同。

為量化 Pléiades 對於高程控制的精度，將前後期 Pléiades 地形差異 (圖 9c) 與 UAS 地形差異 (圖 10c) 相減，可獲得兩組 DSM 高程差的差異 (圖 11a)，由此圖中可以觀察到除因拍攝時間差所造成 A、B、C 三區之差異外，多數疏濬區內的地形變化差異甚微，多數落在 ± 1 公尺區間。最終將兩筆地形差異資料計算統計數字，如圖 11 (b) 密度散布圖所示，橫軸為 Pléiades 前後期地形差異，縱軸為 UAS 前後期地形差異，圖內色碼為像元數 (單位為 10^n 次方)，由此可見 Pléiades 對於前後期高程變化之監測成果與 UAS 相當吻合，若包含拍攝時間差之高程變化因素，兩者之相關係數為 0.83，標準差為 0.87 公尺，而在移除 A、B、C 三區後重新計算統計數值，則相關係數達 0.85，標準差為 0.70 公尺，符合 Pléiades 1~2 像元 (0.5 - 1 公尺) 之先期精度評估，亦可作為高程控制時的誤差估值。

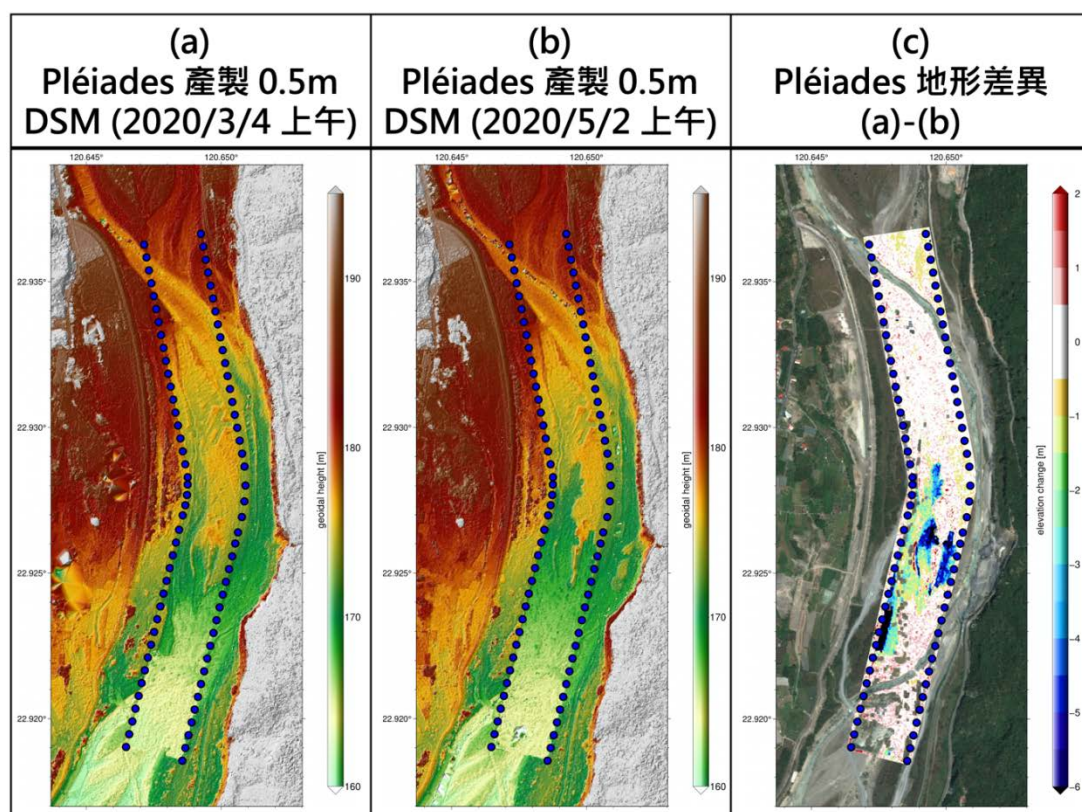


圖9 前後期 Pléiades 產製之目標區地形與差異

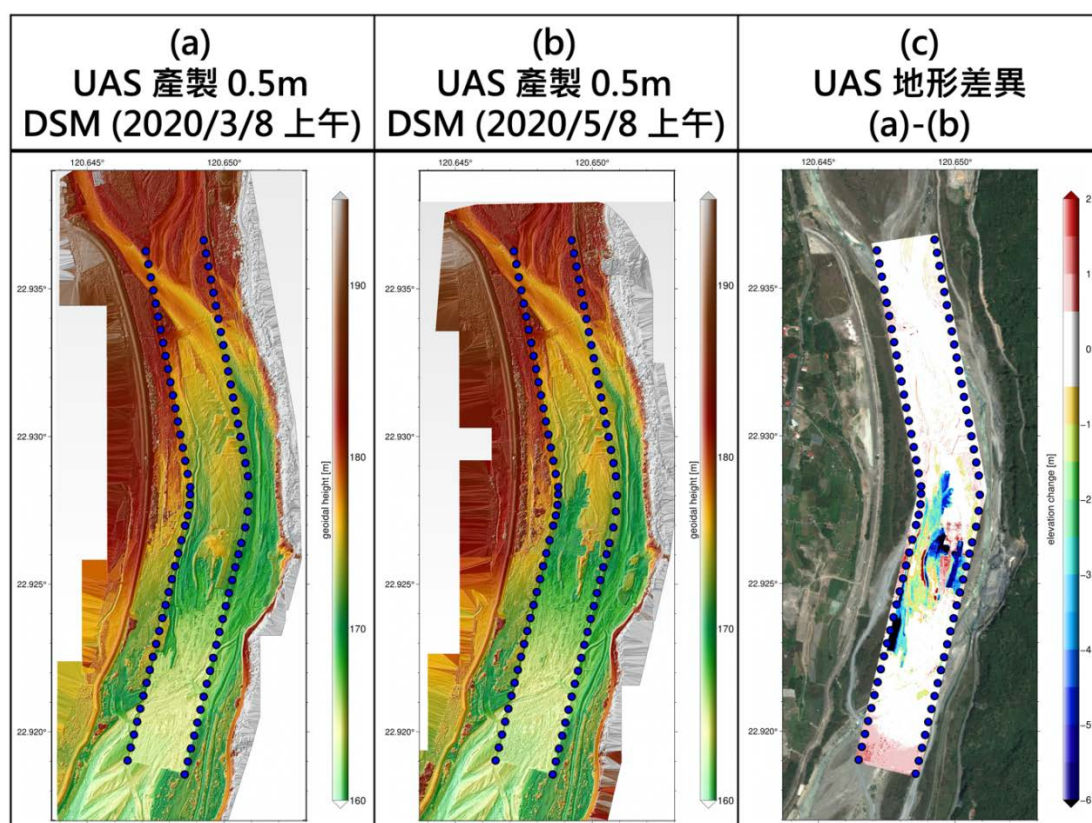


圖10 前後期 UAS 產製之目標區地形與差異

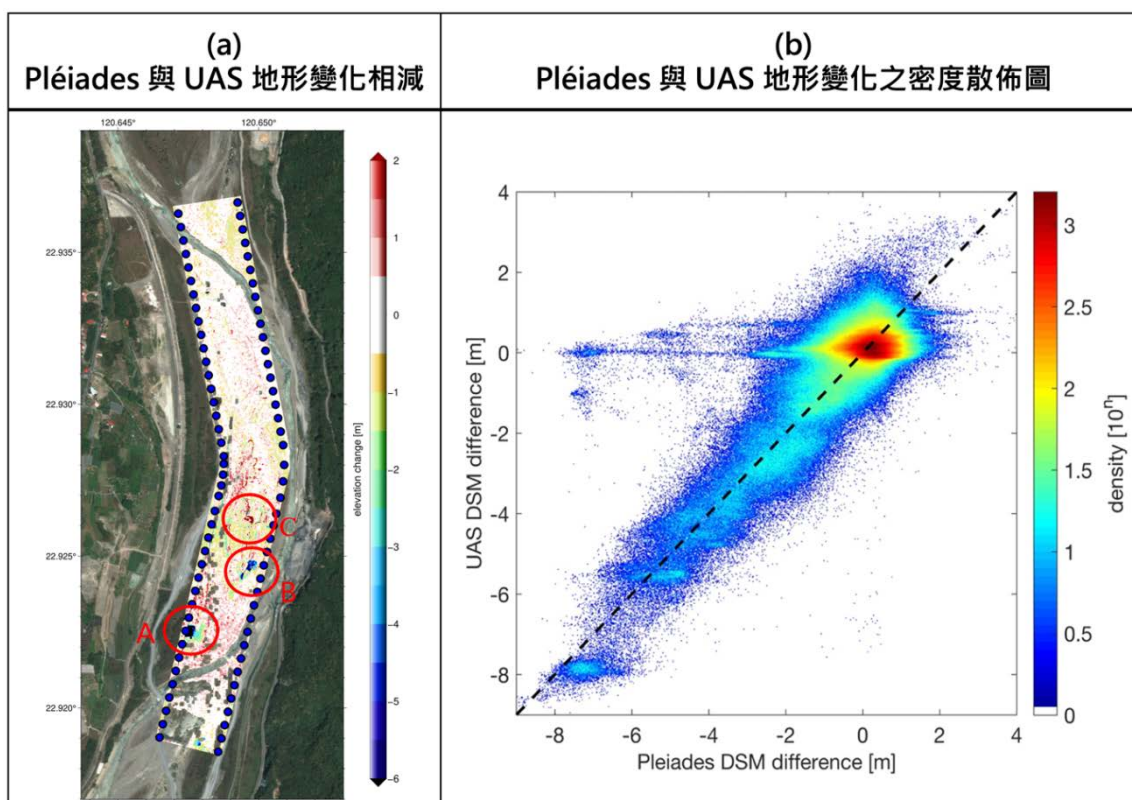


圖11 (a)Pléiades 與 UAS 於 3 月至 5 月間觀測 DSM 變化量之差異。(b)DSM 變化量差異散佈圖

五、高程控制精度討論

針對疏濬工程的高程檢核，因驗收規範中主要針對斷面平均高程作為檢核基礎，故在此計算各斷面的平均高程進行精度比較，分別計算各斷面平均高程的標準差 σ 與平均偏差 β ，其公式如下：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{P}_i - \bar{G}_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$\beta = \bar{P}_i - \bar{G}_i \quad (2)$$

其中 $\bar{P}_i$ 為利用遙測資料(Pléiades 或 UAS)於當期計算第 i 斷面的平均高程，在河道兩岸界樁間以 50 公分作為高程線性內插取樣點， $\bar{G}_i$ 為第 i 斷面的界樁間地面平均量測高程，間隔約 10 公尺。因每期量測的斷面數量不同，因此斷面數量 n 介於 26 - 60 不等。各期計算的統計數值整理於表 2。

從表 2 可見在三月份因疏濬工程仍持續施作，地形變化持續，若各種量測方法中有數日至數週的時間差，地表變化較為明顯，因此平均斷面高程的標準差約 0.70 - 0.84 公尺，而利用 Pléiades 或 UAS 的平均斷面高程通常較地面測量低 0.25 至 0.36 公尺，其中可能原因為經高程套合後仍有一系統性偏差待改善。而由 Pléiades 與 UAS 在 5 月產製的第二期 DSM 與鄰近時間點的地面量測比較則明顯趨於符合，平均斷面高程的標準差降至 0.47 - 0.53 公尺，係因五月份後多數工程趨近尾聲，河床變化較為穩定，不同測量方法的估計值也較為貼近，然而在 5 月份遙測 DSM 仍帶有約 0.38 至 0.49 公尺低估的平均偏差，因此後續仍值得探討高程基準修正的方式。

表 2 各時期利用遙測資料與地面測量計算斷面平均高程比較

平均高程比對時間	斷面數量 n	標準差 σ / 平均偏差 β [公尺]
3 月 4 日 Pléiades 2 月 18 日地面測量	26	0.84/-0.36
3 月 8 日 UAS 2 月 18 日地面測量		0.74/-0.33
3 月 4 日 Pléiades 3 月 22 日地面測量	52	0.72/-0.33
3 月 8 日 UAS 3 月 22 日地面測量		0.70/-0.25
3 月 4 日 Pléiades 3 月 26 日地面測量	27	0.77/-0.28
3 月 8 日 UAS 3 月 26 日地面測量		0.76/-0.24
5 月 2 日 Pléiades 4 月 9 日地面測量	60	0.49/-0.48
5 月 8 日 UAS 4 月 9 日地面測量		0.51/-0.49
5 月 2 日 Pléiades 5 月 11 日地面測量	33	0.47/-0.38
5 月 8 日 UAS 5 月 11 日地面測量		0.53/-0.41

由於本疏濬區辦理期程至 109 年 6 月，於 5 月拍攝時已屆完工階段，因此以五月份所量測到高程值與設計斷面進行放大檢視，將疏濬區上游邊界(0K+000)至下游邊界(2K+000)平均選取五個斷面(S1: 0K+350, S2: 0K+750, S3: 1K+150, S4: 1K+550, S5: 1K+950)，分別比較 Pléiades、UAS 與地面測量高程。如圖 12 所示，在各個斷面中的三組高程值大致符合，從上游約正高 178 公尺緩降至下游約正高 164 公尺。從不同測量方法也可看出其優缺點，如遙測方法因受限於水體造成的錯誤移除，在

紅、藍兩線段可見多處資料空缺，而利用地面測量方式則因人力、物力與規範需求，在斷面中的測點較為分散，在人員難以施測的點位無法反映地形細節。很顯然的，個別監測方法都會受限於先天限制，無法充分還原現場狀況，因此若能結合多種方法，可望補足彼此在時空上的資料空缺，提升監測數據的公平與合理性。

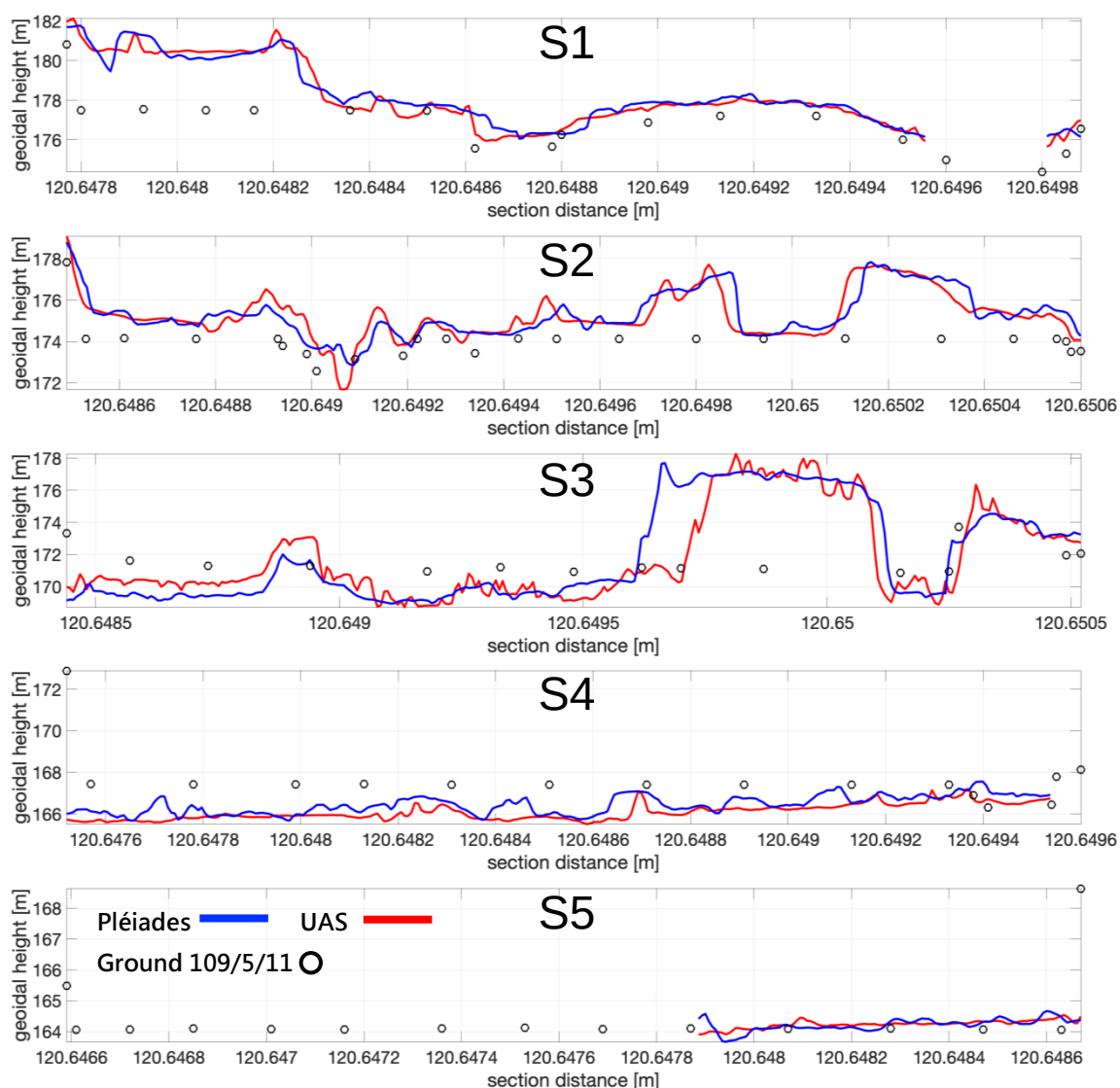


圖12 五月份於河道斷面量測之地表高程，紅色線為5月2日 Pléiades DSM，藍色線為5月8日 UAS DSM，黑圈為5月11日地面量測點

六、結論

得力於近年衛星影像的快速發展，商用衛星可在短時間內提供超高解析度影像立體對，亦可產製近即時的地表數值高程模型 DSM。本研究透過荖濃溪於 109 年度的疏濬工程，測試 Pléiades DSM 產品與 UAS 現地產製的 DSM 進行高程比對，驗證相對高程精度為 0.70 公尺。經由主管機關提供的地面檢測，驗證 Pléiades 在河道斷面平均高程的相對精度為 0.47 – 0.84 公尺，控制精度約為衛星影像 1 – 2 像元。

然而值得一提的是，衛星產製之 DSM 在水體像元易有明顯錯誤，須透過後處理移除，過程中可能造成資料空缺。另一方面，UAS 具靈活機動特性，亦可產製即時 DSM，但產製過程需考量空域、人力風險及設備成本，大面積拼接亦有高程控制與色彩平衡問題。經高程約制後 Pléiades、UAS、地面測量之高程基準皆為 TWVD97 正高，唯各高程模型間仍存在高程系統性差異，須再進行套合研究。此外，因 Pléiades DSM 精度(0.70 公尺)相較於驗收規範中對超深判定的 0.50 公尺要大，尚未足以作為獨立的檢核機制，建議後續各大型疏濬區仍需維持地面測量，但可辦理遙測方式定期進行面狀施測，警示異常區域，彌補地面測量空間密度不足的問題。

誌謝

本研究受內政部營建署/城鄉發展分署、經濟部水利署、行政院農業委員會水土保持局委託「國土利用監測整合作業委託專業服務案」UR-10809 補助執行，部分資料及現場作業受內政部計劃 109CCL042C 補助完成。

參考文獻

- 石再添，1987，《臺灣地理概論》，初版，臺北市：台灣中華。
- 李治逸、王韻皓，2012，航空攝影技術應用於農業資訊調查之介紹，《農政與農情》，第 214 期，頁 79-82。
- 李鴻源，1999，河川砂石濫採所引起之工程問題，《河川與水資源管理問題研討會》。
- 經濟部水利署，2019，疏濬制度沿革，河川便利通，
http://iriver.wra.gov.tw/dredge_mileage.aspx
- 張崴、蕭宇伸、張榮傑，2017，UAV 航拍技術應用於河道變遷土砂監測和山區地形製圖之可行性分析，Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 48(1), 1-13
- 許進忠，2007，《應用航空攝影測量於河川土石估算精度分析之研究》，臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
- 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》。
- 李治逸、王韻皓，2012，航空攝影技術應用於農業資訊調查之介紹，《農政與農情》，第 214 期，頁 79-82。
- 詹水性，2006，《應用數值高程模型推估河川砂石疏濬量可行性之評估》，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文。

- Bernard, M., Decluseau, D., Gabet, L., & Nonin, P., 2012, 3D capabilities of Pleiades satellite. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(B3).
- Berthier, E., Vincent, C., Magnússon, E., Gunnlaugsson, Á. Þ., Pitte, P., Le Meur, E., ... & Wagnon, P., 2014, Glacier topography and elevation changes derived from Pléiades sub-meter stereo images. *The Cryosphere*, 8(6), pp. 2275-2291.
- Chen, C. T. A., Liu, J. T., & Tsuang, B. J., 2004, Island-based catchment—The Taiwan example. *Regional Environmental Change*, 4(1), pp.39-48.
- Croke, J., Todd, P., Thompson, C., Watson, F., Denham, R., & Khanal, G. ,2013, The use of multi temporal LiDAR to assess basin-scale erosion and deposition following the catastrophic January 2011 Lockyer flood, SE Queensland, Australia. *Geomorphology*, 184, pp.111-126.
- Gleyzes, M. A., Perret, L., & Kubik, P., 2012, Pleiades system architecture and main performances. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(1), pp. 537-542.
- Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H., Fournier, T., Trémélo, M. L., & Allemand, P., 2007, Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(11), pp.1705-1725.
- Stumpf, A., Malet, J. P., Allemand, P., & Ulrich, P., 2014, Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 95, pp.1-12.
- Zhou, Y., Parsons, B., Elliott, J. R., Barisin, I., & Walker, R. T., 2015, Assessing the ability of Pleiades stereo imagery to determine height changes in earthquakes: A case study for the El Mayor-Cucapah epicentral area. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(12), pp. 8793-8808.

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：

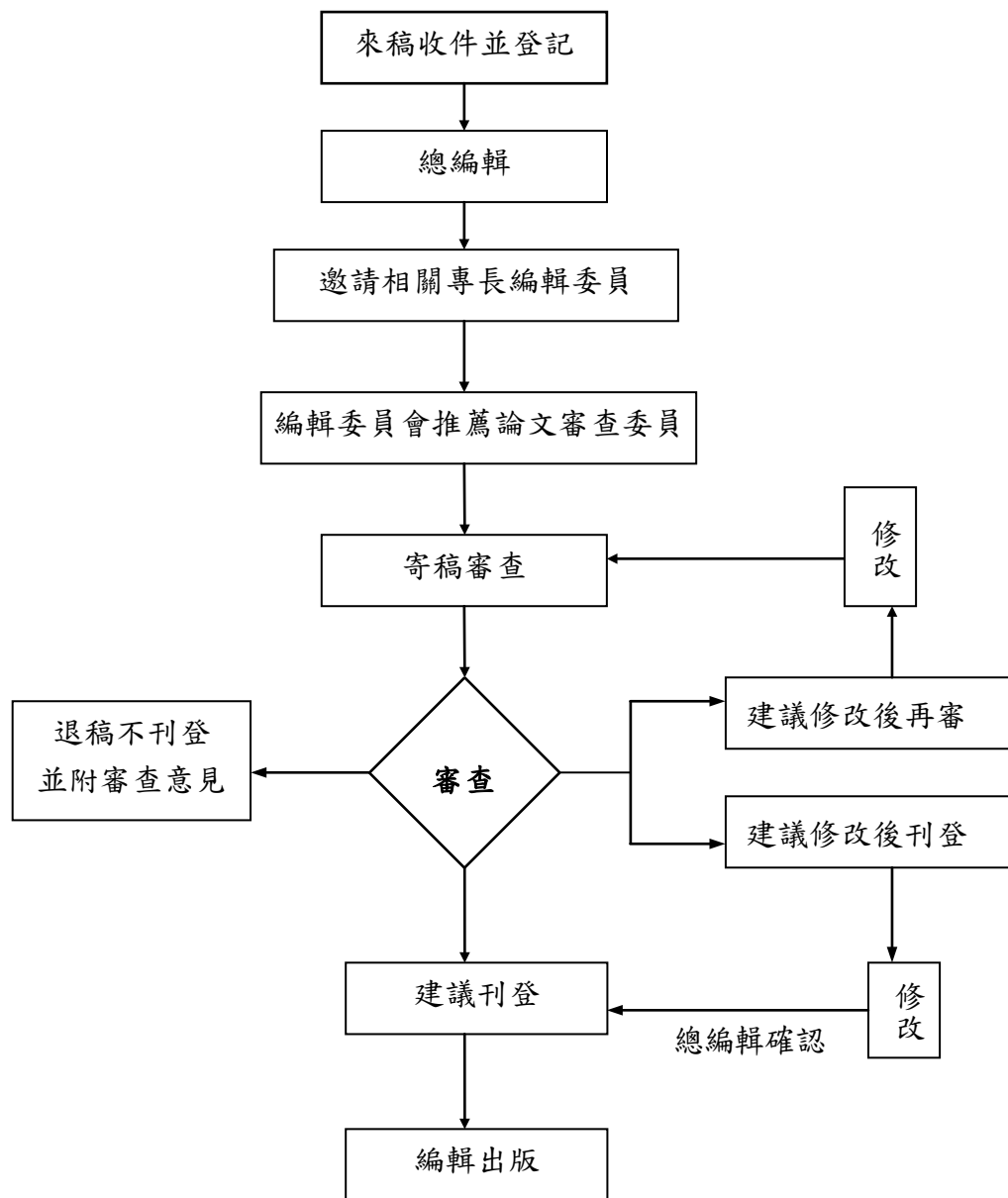
1. 刊登。
2. 修改後刊登（應列明審查意見及建議事項）。
3. 修改後再審（應列明審查意見及建議事項）。
4. 不適刊登（應列明審查意見）。

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 史天元 國立交通大學土木工程學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

周天穎	逢甲大學土地管理學系
甯方璽	國立政治大學地政學系
曾國欣	國立中央大學太空及遙測研究中心
張智安	國立交通大學土木工程學系
楊 名	國立成功大學測量及空間資訊學系
蔡慧萍	國立中興大學土木工程學系
韓仁毓	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	周天穎	逢甲大學土地管理學系
	陳國華	國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

編 輯	葉美伶	逢甲大學地理資訊系統研究中心
	陳鶴欽	內政部國土測繪中心

發 行 人	洪本善	理事長	逢甲大學土地管理學系
	劉正倫	主任	內政部國土測繪中心

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

第九卷第一期

民國一一〇年一月

Vol. 9, No. 1

January 2021

目 錄

CONTENTS

犯罪熱點分析方法及其應用：以 2015-2018 年桃園市機車竊盜犯罪為例

溫重翰、張智安、史天元.....1

Crime Hotspot Analysis: A Case Study of Vehicle Theft in Taoyuan City, 2015-2018

Tsung-Han Wen, Tee-Ann Teo, Tian-Yuan Shih

以深度訪談探討 e-GNSS 之使用者回饋

葉大綱、陳品融、蕭世民、陳鶴欽.....21

Exploration on User Feedback of e-GNSS Using Depth Interview Method

Ta-Kang Yeh, Pin-Jung Chen, Shih-Min Hsiao, He-Chin Chen

東沙共站封閉型壓力式潮位計觀測值比對

史天元、薛憲文、張智安.....39

On the Comparison of Three Self-contained Pressure Tide Gauges in Dongsha

Tian-Yuan Shih, Shiahn-Wern Shyue, Tee-Ann Teo

運用超高解析衛星進行疏濬高程控制可行性研究

林莉珊、劉建良、吳益裕、鄭詠祥、楊亞臻、陳繼藩、蔡富安、曾國欣.....49

Potential of Elevation Control in River Channel Dredging with Super High-Resolution Satellite Images

Li-Shan Lin, Chien-Liang Liu, Yi-Yu Wu, Yung-Hsiang Cheng, Ya-Chen Yang, Chi-Farn Chen, Fuan Tsai, Kuo-Hsin Tseng