

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

第十三卷 第一期

中華民國一十四年一月



VOLUME 13, NO. 1

January 2025

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22屆組織表

1.理事會

理事長：楊名

副理事長：史天元

常務理事：蕭輔導、高書屏、江渾欽

理事：曾耀賢、洪本善、劉正倫、駱旭琛、紀聰吉、王啟鋒、邱仲銘、周天穎、白敏思、邱俊榮、
邱式鴻、王定平、梁崇智、陳國華、李文聖、吳相忠

秘書長：梁旭文(兼任)

副秘書長：陳鶴欽(兼任)

秘書：黃華尉(兼任)、何依屏(兼任)、謝博丞(兼任)

幹事：何美娟(兼任)

2.監事會

常務監事：崔國強

監事：陳典熙、蕭介峰、徐百輝、洪榮宏

3.服務委員會 (設委員5-9人，幹事2-4人)

主任委員：王啟鋒

委員：王定平、黃仰澤、邱俊榮、張瑞隆、劉正倫、黃建華、李文聖、吳智維

幹事：陳俊德

4.編輯委員會 (設委員7-11人，總編輯1人，編輯2-4人)

主任委員：陳國華

委員：史天元、林士淵、曾子榜、曾國欣、張智安、景國恩、蕭宇伸、儲豐宥、韓仁毓、陳惠玲

總編輯：周天穎

編輯：洪翎嘉、葉美伶、黃筱晴

5.研究發展委員會 (設委員7-11人，總幹事1人，幹事2-4人)

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：秘書處兼辦

幹事：李孟娟

6.獎章審查委員會 (設委員5-7人，幹事1-2人)

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：秘書處兼辦

7.教育訓練委員會 (設委員5-7人，總幹事1人，幹事1-2人)

主任委員：崔國強

委員：吳宗寶、李文聖、黃建華、陳俊達、林登建、蕭介峰

總幹事：蕭泰中

幹事：林以恆

8.國際事務委員會 (設委員4-7人，總幹事1人，幹事2-4人)

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、陳家卉

9.界址鑑定及諮詢委員會 (設委員13-21人，總幹事1人，幹事1-3人)

主任委員：盧鄂生

委員：邱仲銘、洪本善、謝福勝、王啟鋒、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、梁崇智、黃玉鐘、劉育儒、
杜仲楹、李志宏

總幹事：王建得

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

利用多元資料評估臺灣深度基準及深度系統之精度

藍文浩^{1*} 李啟民² 郭重言³

論文收件日期：113.04.29

論文修改日期：113.07.26

論文接受日期：113.09.25

摘 要

近年來隨著海洋空間規劃、國土劃界以及電子航行圖測製與發行等發展需求，內政部已完成我國深度基準及深度系統建置，模式內容包含台灣周圍海域無縫 5 個潮位面、新版大地起伏模型、平均海水面網格模型以及高精度 MOI.18v1 潮位模式，能提供陸海域數據於不同垂直基準面間進行相互轉換。本研究利用臨時潮位站、全球導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)浮標以及船測水深資料等多元測繪資料分析臺灣深度基準及深度系統之精度。成果顯示，臨時潮位站資料(港內)和龍洞 GNSS 浮標(港外)分別與 MOI.18v1 潮位模式之正高以及約最低低潮位面(Indian Spring Low Water, ISLW))水位高比較，其差值均方根誤差為 0.20~0.22 m (港內/正高)、0.14 m (港外/正高)以及 0.12~0.14 m (港內/ISLW)，而 MOI.18v1 潮位模式於港內和港外之精度分別為 0.10~0.11 m 和 0.13 m。另外，水深資料轉換至橢球高、ISLW 與正高等基準面，並與船測公司成果相比較，各基準差值平均值和標準偏差之平均值範圍分別為-0.225~0.177 m 和 0.130~0.226 m，表示水深資料和深度基準及深度系統之基準面間約有 10~20 cm 差異。

關鍵字：GNSS 浮標、水深資料、平均海水面、深度基準及深度系統、潮位站、潮位模式

¹ 助理教授，國立高雄科技大學土木工程系。

² 博士候選人，國立成功大學測量及空間資訊學系。

³ 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

*通訊作者，TEL: (07)3814526#15257，E-mail: whlan74@nkust.edu.tw

Accuracy evaluation of depth datum and system for Taiwan using multi-data

Wen-Hau Lan^{1*}, Chi-Ming Lee², Chung-Yen Kuo³

Abstract

In recent years, in order to fulfill the requirement for the development of marine spatial planning, boundary demarcation, and the survey and publication of electronic navigational charts, the Ministry of Interior has established a depth datum and system for Taiwan, including five seamless gridded tidal surfaces, an updated geoid undulation model, a gridded mean sea surface model, and a high-precision MOI.18v1 ocean tide model, allowing users to convert land/sea data to shift elevations/depths from one vertical datum to another. The study analyzed the accuracy of the depth datum and system for Taiwan using multi-data, including temporary tide gauge records, Global Navigation Satellite System (GNSS) buoy, and shipboard bathymetric data. Results showed that the root mean square errors of the differences between the observed data from the temporary tide gauge records (inner harbor) and the GNSS buoy (outer harbor) in Longdong, respectively, and the water levels of MOI.18v1 ocean tide model above a geoid and Indian Spring Low Water (ISLW) were 0.20-0.22 m (inner harbor/orthometric height), 0.14 m (outer harbor/orthometric height), and 0.12~0.14 m (inner harbor/ISLW height). The accuracy of the MOI.18v1 ocean tide model is 0.10~0.11 m for inner harbor and 0.13 m for outer harbor, respectively. Furthermore, bathymetric data were converted to ellipsoidal, ISLW, and orthometric datums, respectively, and then compared with the hydrographic survey results. The mean differences of individual datums and the mean standard deviations were -0.225~0.177 m and 0.130~0.226 m, respectively, indicating that there is a difference of about 10~20 cm between the bathymetric data and the depth datum and system for Taiwan.

Keywords : Bathymetric Data, Depth Datum Transformation Model, GNSS Buoy, Mean Sea Surface, Ocean Tide Model, Tide Gauge

1 Associate Professor, Department of Civil Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

2 Ph.D. candidate, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

3 Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

* Corresponding Author, TEL: (07)3814526#15257, E-mail: whlan74@nkust.edu.tw

一、研究動機與目的

近年來海岸和海洋管理、海域多元使用與國土劃界等各項議題的多元發展，以及船測海域地形測量(亦稱水深測量)和電子航行圖(Electronic Navigational Charts, ENC)等測繪工作之需求[呂建興等人，2022]，並且不同時期或不同技術(如聲納、光達(LiDAR)或高解析度衛星影像等技術)獲取海域資料之基準並非完全相同，因此急需建立臺灣周圍海域的深度基準轉換模式(depth datum transformation model)，此轉換模式的建置可提供不同垂直基準面間之陸海域數據相互轉換，對於 ENC、海域水深測量、海水面變化、海洋管理和海岸防災等研究發展具有重要意義，並且能夠做為未來實現陸海空間資訊統一表現之基礎。

我國內政部為整合國內外各單位資料數據和資源，解決陸、海交界處不連續現象、不同海域觀測資料銜接以及水深測量之海潮改正等問題，並發展臺灣「高程現代化 (height modernization)」技術，近年來積極推動我國深度基準轉換模式建置，並在 2022 年公告「深度基準及深度系統」成果，提供給使用者使用。該成果中主要利用衛星測高、潮位站紀錄、實測重力資料(包括船測、陸測和空載等重力資料)、水深地形數值資料、水準以及 GNSS 等多元資料進行建置，建置內容包含臺灣周圍海域無縫 5 個潮位面(如最低天文潮位面(Lowest Astronomical Tide, LAT)、最高天文潮位面(Highest Astronomical Tide, HAT)、平均高潮位面(Mean High Water, MHW)、平均低潮位面(Mean Low Water, MLW)、ISLW、新版大地起伏模型(Geoid)、平均海水面(Mean Sea Surface, MSS)網格模型以及高精度 MOI.18v1 潮位模式(ocean tide model)[呂建興等人，2022]。深度基準及深度系統對於沿海區域之國土規劃和多元資料整合極為重要，可供各種陸海域測繪資料進行基準面間轉換使用，使我國海域歷史多元數據能轉換至相同基準，以利後續應用。此外，若觀測載具上放置高精度 GNSS 接收儀和測深儀，利用 GNSS 定位即可獲得橢球高水深值，無需進行潮位改正，此方式業界又稱之為 GNSS-tide 修正，而結合內政部公告深度基準及深度系統即可轉換至不同垂直基準(如正高或 LAT)，此方法為水深高程現代化[內政部，2023a]，能省去架設臨時潮位站及引測鄰近一等水準點高程的人力與時間，也可使量測水深資料基準一致，提高水深測量作業效率與精度，並將觀測數據轉換成至不同基準面。

深度基準及深度系統誤差來源主要包含四個部分，包含 MOI.18v1 潮位模式、MOI.18v1 潮位模式計算之各潮位面、MSS 和大地水準面模型等[內政部，2023a]。前人研究[內政部，2018; 2020a; 2020b; 2021]已分別評估上述四個模型之精度，MOI.18v1 潮位模式平均精度為 8.3 cm [內政部，2020a]、各潮位面平均精度為 4.6 cm [內政部，2021]，MSS 模型精度為 4.0 cm [內政部，2020b]，而大地水準面模型精度為 3.6 cm [內政部，2018]。然而，上述主要評估該系統各基準面之精度，為確保該系統之完整性，應對於 MOI.18v1 潮位模式相對於除 MSS 外的其他基準面(如正高或 ISLW 等基準)進行精度分析，並利用實測資料比較不同基準面間轉換之差異分析。

本研究將利用臨時潮位站紀錄、船測水深資料和 GNSS 浮標(buoy)等多元資料評估臺灣深度基準及深度系統之精度，其中臨時潮位站資料包含正高(臺灣本島: 2001 台灣高程基準(TaiWan Vertical Datum 2001, TWVD2001); 離島: 當地正高)及 ISLW 兩起算基準，而 GNSS 浮標僅包含正高水位資料，因此主要將對於深度基準及深度系統產生的正高和 ISLW 潮位資料進行比較評估。另外，實測水深資料包含橢球高、ISLW 與正高等基準，比較時將利用深度基準及深度系統將水深資料轉換至其他基準，並與船測公司提供成果相比較，此種方式可對於傳統船測水深資料基準和深度基準及深度系統產製基準間差值比較。研究結果將有助於作為深度基準及深度系統精度之參考依據，可提高海域水深測量效率和精度以及將現有海洋資料進行整合，以利後續海岸管理、海域規劃與海洋劃界等各項研究的發展以及電子海圖航行之應用，提升海上航行安全。

二、研究資料

(一) 臺灣深度基準及深度系統

內政部已完成臺灣深度基準及深度系統建置，並於 2022 年公告，其建置內容包含更新內政部 2014 年公告的臺灣地區大地起伏模型(TWHYGEO2014)，並且擴大涵蓋範圍至金門、馬祖海域；結合多任務型測高衛星與長期觀測潮位站(tide gauge)資料建置臺灣周圍海域無縫網格 MSS 高(相對於 2012 年)[內政部，2020a; 2020b]，而衛星測高主要監測開闊海域海水面，沿岸部分將由潮位站結果進行約制，MSS 範圍涵蓋北緯 21. -27.、東經 118. -125.，網格空間解析度為 1'× 1'，此方式與英國離岸垂直參考框架(Vertical Offshore Reference Frames, VORF)建置 MSS 方法相似 [Illiffe et al., 2007]; 高精度 MOI.18v1 潮位模式利用美國普林斯頓大學所發展的 Princeton Ocean Model (POM) [Blumberg and Mellor, 1987]為基礎的海洋動力數值模式，並結合臺灣當地潮位站資料以及高解析度海底地形資料進行建置，為目前台灣地區精度最高之潮位模式[內政部，2020a]。MOI.18v1 潮位模式主要包含 26 個分潮 (M2、S2、N2、K2、2N2、Mu2、Nu2、L2、T2、K1、O1、P1、Q1、S1、J1、NO1、OO1、M4、MS4、MN4、Mm、Mf、Msf、Msm、Ssa、Sa)，該模式除了可模擬天文潮外，亦可計算出大氣變化與海洋環流等影響機制所產生的海水面變化。此外，深度基準及深度系統還包括利用 MOI.18v1 潮位模式計算出 LAT、HAT、MHW、LLW 以及 ISLW 等 5 個潮位面，其空間解析度為 1/24。(約 4.5 公里) [內政部，2020a]，提供使用者於不同垂直基準面間轉換。

(二) 臨時潮位站資料

[內政部 2020a]利用 34 個潮位站評估 MOI.18v1 潮位模式近岸平均精度約為 8.3 cm。上述評估潮位模式精度之 15 個潮位站資料亦同時作為 MOI.18v1 潮位模式之融合資料，因此需以獨立潮位站資料來驗證。本研究欲利用內政部地政司方域科(之後簡稱方域科)提供之 16 個臨時潮位站觀測資料(表 1)進行港內精度評估，臨時潮位

站位置分佈如圖 1 所示。方域科提供的臨時潮位站資料包含正高及 ISLW 兩基準，其中正高高程是利用水準測量引測附近檢測後之水準點高程值所得，而 ISLW 基準需要經過 4 個步驟：1. 利用調和分析擬合正高潮位站資料求得 M_2 、 S_2 、 K_1 與 O_1 等四分潮振幅，2. 利用潮位站計算之平均海水位正高值(平均海水位亦可由調和分析中求得)，3. 步驟 2 求得之平均海水位正高值減去上述四分潮振幅總和，求得 ISLW 基準，4. 將潮位站正高資料減去步驟 3 結果，即可獲得潮位站資料之 ISLW 高程。故需利用 MOI.18v1 潮位模式產生相對於平均海水位之潮位變化資料，結合深度基準及深度系統中各基準面關係，將潮位變化之基準分別轉換至相對於正高及 ISLW 兩基準，即可和臨時潮位站資料相比較。分析比較時，以兩種方式進行計算(1)MOI.18v1 潮位變化和臨時潮位站資料直接進行比較、(2)利用調和分析(harmonic analysis)法計算出臨時潮位站觀測資料的調和常數後，並利用調和常數進行天文潮水位重建，並與 MOI.18v1 潮位變化相比較。調和分析公式如下[Foreman et al., 2009]:

$$h(t_i) = Z_0 + a(t_i) + \sum_{k=1}^n f_k(t_i) A_k \cos(\omega_k(t_i) + V_k + u_k(t_i) - g_k) \quad (1)$$

其中 h 為潮位站水位高度資料; t_i 為觀測時間; Z_0 為潮位資料平均高程; n 為分潮個數(本研究依潮位資料長度採用 20 或 37 個分潮[Parker, 2007]); a 為斜率; f_k 和 u_k 為對應分潮 k 的振幅和相位之節點潮改正參數; A_k 、 g_k 、 ω_k 為各分潮之振幅、相位、角頻率; V_k 為各分潮的時間引數(argument) [張憲國和史天元, 2022]。

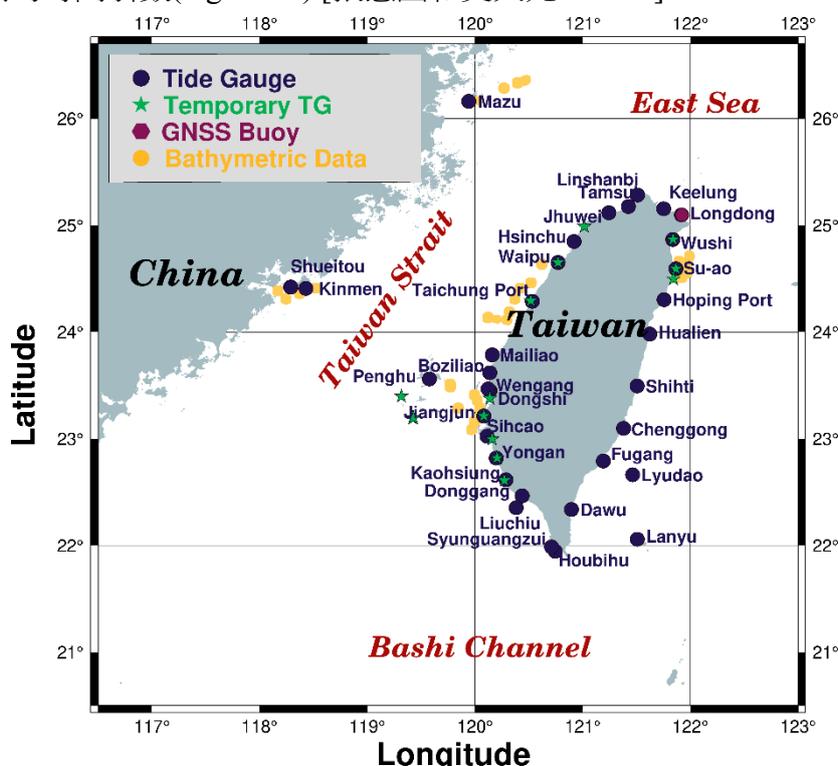


圖 1 內政部[2020a]用以評估 MOI.18v1 潮位模式精度的 34 個潮位站(藍色圓點)以及臨時潮位站(綠色星號)、GNSS 浮標(紅色六角形)和船測水深資料(橘色圓點)分佈圖(修改自呂建興等人[2022])

表 1 方域科提供臨時潮位站資料之資訊

年度	站號	測站	緯度 (°)	經度 (°)	觀測頻率 (分鐘)	觀測時間段
104	TD06	梧棲漁港	24.2933	120.5185	6	2015/05- 2016/03
104	TD09	布袋港*	23.3785	120.1383	6	2015/05- 2016/03
105	TD09	布袋港	23.3785	120.1383	1	2016/07- 2016/11
105	TD10	將軍港	23.2125	120.0832	1	2016/07- 2016/11
105	TD11	安平港	22.9964	120.1601	1	2016/05- 2016/11
105	TD12	永新港	22.8194	120.2060	1	2016/05- 2016/11
105	TD13	高雄港	22.6088	120.2735	1	2016/05- 2016/11
106	HYTD01	澎湖花嶼港	23.3985	119.3169	2	2017/05- 2017/09
106	NHTD03	七美南滬港	23.1940	119.4216	2	2017/05- 2017/09
106	YLTD04	七美月里港	23.1942	119.4297	2	2017/05- 2017/09
107	TD02	永安漁港	24.9891	121.0153	1	2018/06- 2018/09
107	TD04	外埔漁港	24.6515	120.7714	1	2018/05- 2018/09
107	TD06	梧棲漁港	24.2933	120.5185	1	2018/05- 2018/09
108	ETD03	烏石漁港	24.8681	121.8397	6	2019/05- 2019/09
108	ETD04	蘇澳港	24.5925	121.8658	1	2019/05- 2019/09
108	ETD05	粉鳥林漁港	24.4979	121.8435	1	2019/06- 2019/09

(三) GNSS 浮標

本研究將利用氣象署提供的小琉球、龍洞、臺中等 3 個 GNSS 浮標高程觀測資料來評估 MOI.18v1 潮位模式之港外正高水位精度。由於浮標觀測地點位於港外，容易受到較大風浪影響，浮標上同時裝設有加速度-傾角-電羅經(accelerometer-tilt-compass, ATC)波浪儀，ATC 波浪儀內的傾角計可輸出縱搖(pitch)與橫搖(roll)角度觀測數據，可修正觀測時浮標傾斜角度[林演斌和黃清哲, 2018]。三個浮標測站資料僅龍洞 GNSS 浮標改正天線高(天線盤至浮標水線之距離)和浮標傾斜角度，並化算至正高基準(表 2)。小琉球和臺中的 GNSS 浮標高程解為每 3 秒 1 筆(表 2)，無改正浮標天線高、浮標傾斜角以及風浪影響，因此觀測到的水位變化包含高頻震盪訊號，不能夠直接相比較。在進行比較計算前，為降低高頻訊號影響以及保留當地半日潮和其他低頻率潮汐特性，分別將兩數據(浮標和 MOI.18v1 潮位模式之正高高程)進行 5 小時移動平均(moving average)平滑處理，使兩水位資料之相位和振幅一致[內政部, 2023b]，才能進行差值比較。圖 2 為 2020/10 小琉球 GNSS 浮標高程和 MOI.18v1

潮位模式之正高高程相比較，由圖可知，GNSS 浮標水位高度變化和 MOI.18v1 潮位模式相當一致，兩資料差值標準偏差為 0.076 m，符合 MOI.18v1 潮位模式精度 (~8.3 cm) [內政部，2020a]，但仍然有部分時間段的高程差可達數 10 公分以上，其原因為浮標高程解係由國土測繪中心 e-GNSS 直接提供，而浮標皆位於外海，高程解精度可能較差及不穩。另外，兩資料差值平均值為 4.119 m，差值較大主要因為觀測水位資料並未改正浮標天線高(天線盤至浮標水線之距離)，表示兩資料基準並不一致，因此小琉球和臺中 GNSS 浮標高程解並不適合做為評估 MOI.18v1 潮位模式之正高高程精度。後續僅龍洞浮標資料可用於評估深度基準及深度系統產生的正高潮位資料之精度，龍洞浮標位置如圖 1 所示。

表 2: 本研究使用 GNSS 浮標之資訊[內政部，2023a]

測站	緯度(°)	經度(°)	觀測頻率	觀測時間段
小琉球	22.314	120.363	3 秒	2019/01-2022/12
龍洞	25.096	121.922	1 小時	2019/09-2022/01
臺中港	24.237	120.409	3 秒	2022/07-2022/08

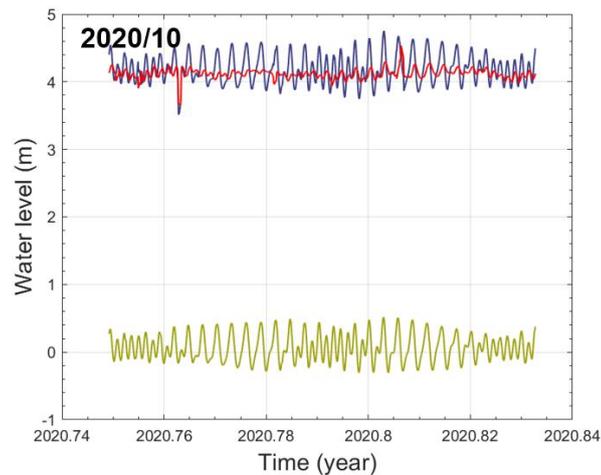


圖 2 2020/10 小琉球 GNSS 浮標高程(藍線)和 MOI.18v1 潮位模式之正高高程(黃線)相比較，並計算差值(紅線)[內政部，2023b]。兩數據分別進行 5 小時移動平均平滑處理。

(四) 實測水深資料

本研究利用方域科提供之實際水深調查資料，利用深度基準及深度系統將水深資料轉換至橢球高、ISLW 與正高等基準，並與船測公司提供成果相比較，以評估深度基準系統精度。該資料是自內政部 105 年至 109 年水深測量調查區域之內選定檢核區，檢核區域如圖 1 所示。測試項目如下[內政部，2021]:

1. 將船測 WGS84 橢球基準之海域地形轉換為 ISLW 基準，並與船測 ISLW 基準之海域地形進行精度評估。
2. 將船測 WGS84 橢球基準之海域地形轉換為正高基準，並與船測正高基準之海域地形進行精度評估。
3. 將船測正高基準之海域地形轉換為 ISLW 基準，並與船測 ISLW 基準之海域地形進行精度評估。
4. 將船測正高基準之海域地形轉換為 WGS84 橢球基準，並與船測 WGS84 橢球基準之海域地形進行精度評估。
5. 將船測 ISLW 基準之海域地形轉換為正高基準，並與船測正高基準之海域地形進行精度評估。
6. 將船測 ISLW 基準之海域地形轉換為 WGS84 橢球基準，並與船測 WGS84 橢球基準之海域地形進行精度評估。

三、研究成果

(一) 以臨時潮位站資料評估深度基準及深度系統精度

利用方域科提供之 104~108 年臨時潮位站資料(表 1 和圖 1)分別和深度基準及深度系統產生之正高與 ISLW 潮位資料相比較，成果如表 3 和表 4 所示。差值平均值可用來表示高程基準間差異以及實測水位變化和 MOI.18v1 潮位模式間差值平均數，標準偏差表示 MOI.18v1 潮位模式之精度，而均方根誤差包含高程基準間差異及 MOI.18v1 潮位模式之全部誤差，可做為整體精度[內政部，2023a]。由成果可知，相較於原始資料直接比較，利用調和分析法計算出各分潮之調和常數後重建天文潮位與 MOI.18v1 潮位模式比較成果更加一致，差值標準偏差之平均值由 0.12m 和 0.14 m 降至 0.10m 和 0.11 m (表 3 和表 4)，其原因為產製 MOI.18v1 潮位模式所同化之潮位站資料為調和分析後成果。各臨時測站中僅 104 年梧棲漁港和布袋港臨時潮位站之差值標準偏差變大，其原因為兩測站觀測資料皆僅有 3 天，不易準確計算出各分潮之調和常數。MOI.18v1 潮位模式與臨時潮位站差值標準偏差之平均值為 0.10m 和 0.11 m，此數據可做為 MOI.18v1 潮位模式之近岸精度，與利用 34 個潮位站評估 MOI.18v1 潮位模式精度(8.3 cm) [內政部，2020a]相近。

臨時潮位站資料分別和 MOI.18v1 潮位模式之水位正高與 ISLW 高計算差值，正高差值平均值範圍為-0.23m~0.47 m，而 ISLW 差值平均值範圍為-0.89m~0.98 m，其中 4 個臨時潮位站之差值平均值超過 30 cm，分別為 104 和 105 年布袋港、106 年澎湖花嶼港以及 107 年梧棲漁港等臨時潮位站(表 3 和表 4)。為分析差值平均值較大之原因，將此 4 個臨時潮位站原始觀測數據分別和 MOI.18v1 潮位模式之正高與 ISLW 高相比較，如圖 3~圖 6 所示。圖 3 和圖 4 分別為 104 和 105 年布袋港臨時潮位站，其中 104 年布袋港臨時潮位站與 MOI.18v1 潮位模式之正高和 ISLW 高差值平均值分別為 0.26 m 和 0.98 m，而 105 年差值平均值變為 0.47 m 和 0.03 m(表 3 和表 4)，雖然觀測時間不同，但數據變化已超過合理範圍。另外，將同年度潮位站 ISLW

和正高資料相減，可獲得兩基準面間垂直距離，104 和 105 年布袋潮位站之兩基準面間垂直距離分別為 1.80 m 和 0.67 m，表示相隔一年，兩基準面垂直距離變化超過 1 m，應屬不合理資料。

圖 5 為澎湖花嶼港臨時潮位站資料。離島正高基準應由各自離島潮位站計算之平均海水位起算，因此臨時潮位站水位變化應該於 0 米水線上下振盪。圖 5 中澎湖花嶼港臨時潮位站正高水位值和 MOI.18v1 潮位模式之正高水位相當一致，差值平均值約為 -0.07 ± 0.10 m，然而 ISLW 水位差值平均值約為 -0.89 ± 0.10 m。將澎湖花嶼港臨時潮位站 ISLW 和正高數據相減，獲得兩基準面間垂直距離約為 -0.772 m，而本研究利用 60 分潮計算 2007~2022 澎湖潮位站 ISLW 相對於當地基準垂直距離為 -1.632 m，而七美南滬港和七美月里港臨時潮位站之基準面垂直距離(ISLW 和正高)分別為 -1.129 m 和 -1.247 m，表示澎湖花嶼港臨時潮位站 ISLW 資料基準不甚合理，進行精度評估時應不採用該站資料。圖 6 為梧棲漁港臨時潮位站，其觀測時疑受到外力干擾，導致潮位資料於 2018.45~2018.5 間有顯著基準偏移，因此在未準確修正此基準偏移前，並不適合用於評估深度基準及深度系統精度。將有問題資料移除後，MOI.18v1 潮位模式之正高和 ISLW 高精度分別為 0.08 ± 0.16 m 和 -0.01 ± 0.10 m，而兩基準之均方根誤差(Root Mean Squared Error, RMSE)平均值分別為 0.20m 和 0.22 m 以及 0.12 m 和 0.14 m (表 3 和表 4)。

表 3: 104-108 臨時潮位站資料與 MOI.18v1 潮位模式正高高程之差值平均值 (Mean)、標準偏差(STD)及均方根誤差(RMSE)[內政部，2023a]。

年度	測站	Harmonic analysis (m)			Raw data (m)		
		Mean	STD	RMSE	Mean	STD	RMSE
104	梧棲漁港*	0.13	0.15	0.20	0.13	0.20	0.24
104	布袋港*	0.26	0.17	0.31	0.26	0.20	0.33
105	布袋港	0.47	0.11	0.48	0.47	0.13	0.49
105	將軍港	0.14	0.07	0.16	0.14	0.12	0.19
105	安平港	0.28	0.08	0.29	0.28	0.16	0.32
105	永新港	0.18	0.11	0.21	0.18	0.13	0.22
105	高雄港	0.16	0.06	0.18	0.16	0.08	0.18
106	澎湖花嶼港**	-0.07	0.07	0.10	-0.07	0.10	0.13
106	七美南滬港**	-0.20	0.04	0.21	-0.20	0.07	0.21
106	七美月里港**	-0.23	0.11	0.26	-0.23	0.17	0.29
107	永安漁港	0.24	0.11	0.26	0.24	0.12	0.27
107	外埔漁港	-0.03	0.23	0.23	-0.03	0.25	0.25
107	梧棲漁港	0.47	0.20	0.51	0.47	0.21	0.52
108	烏石漁港	0.06	0.07	0.09	0.06	0.09	0.11
108	蘇澳港	0.08	0.06	0.10	0.08	0.08	0.11
108	粉鳥林漁港	0.17	0.07	0.18	0.17	0.09	0.19
Mean		0.13	0.11	0.24	0.13	0.14	0.25
STD		0.20	0.05	0.12	0.20	0.05	0.12
Mean (移除紅字數據)		0.08	0.10	0.20	0.08	0.13	0.22
STD (移除紅字數據)		0.16	0.05	0.07	0.16	0.06	0.07

*正高與 ISLW 基準之潮位站觀測時間段不一致，正高基準之 104_梧棲漁和 104_布袋港皆為 2015/05/27~2016/03/31，而 ISLW 基準之 104_梧棲漁和 104_布袋港皆為 2015/09/03~2015/09/05。 **

澎湖 3 個臨時潮位站資料已根據「107 年離島一等水準點水準測量成果說明」[內政部國土測繪中心，2019] 修正其基準 0.408 m。

表 4: 104-108 臨時潮位站資料與 MOI.18v1 潮位模式 ISLW 高程之差值平均值 (Mean)、標準偏差(STD)及均方根誤差(RMSE) [內政部，2023a]。

年度	測站	Harmonic analysis (m)			Raw data (m)		
		Mean	STD	RMSE	Mean	STD	RMSE
104	梧棲漁港*	0.07	0.15	0.17	0.07	0.08	0.11
104	布袋港*	0.98	0.11	0.99	0.98	0.05	0.99
105	布袋港	0.03	0.11	0.11	0.03	0.13	0.14
105	將軍港	0.01	0.07	0.07	0.01	0.12	0.12
105	安平港	-0.07	0.08	0.11	-0.07	0.16	0.18
105	永新港	-0.01	0.11	0.11	-0.01	0.13	0.13
105	高雄港	-0.05	0.06	0.08	-0.05	0.08	0.10
106	澎湖花嶼港**	-0.89	0.07	0.90	-0.89	0.10	0.90
106	七美南滬港**	-0.01	0.04	0.04	-0.01	0.07	0.07
106	七美月里港**	0.09	0.11	0.14	0.09	0.17	0.20
107	永安漁港	0.12	0.11	0.16	0.12	0.12	0.17
107	外埔漁港	-0.28	0.23	0.36	-0.28	0.25	0.37
107	梧棲漁港	0.38	0.20	0.43	0.38	0.21	0.43
108	烏石漁港	-0.03	0.07	0.08	-0.03	0.09	0.10
108	蘇澳港	0.01	0.06	0.06	0.01	0.08	0.08
108	粉鳥林漁港	0.00	0.07	0.07	0.00	0.09	0.09
Mean		0.02	0.10	0.24	0.02	0.12	0.26
STD		0.37	0.05	0.29	0.37	0.05	0.29
Mean (移除紅字數據)		-0.01	0.10	0.12	-0.01	0.12	0.14
STD (移除紅字數據)		0.10	0.05	0.08	0.10	0.05	0.08

*正高與 ISLW 基準之潮位站觀測時間段不一致，正高基準之 104_梧棲漁和 104_布袋港皆為 2015/05/27~2016/03/31，而 ISLW 基準之 104_梧棲漁和 104_布袋港皆為 2015/09/03~2015/09/05。 **澎湖 3 個臨時潮位站資料已根據「107 年離島一等水準點水準測量成果說明」[內政部國土測繪中心，2019] 修正其基準 0.408 m。

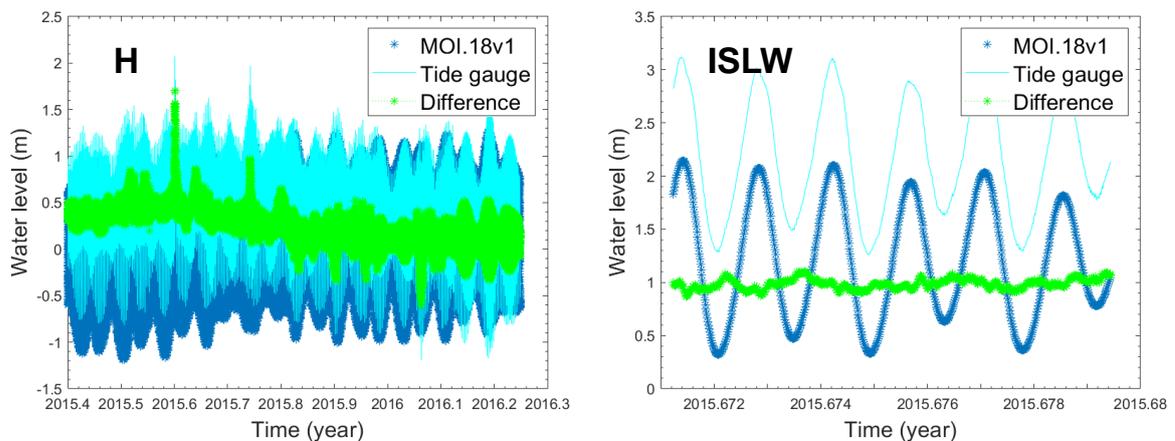


圖 3: 104 年布袋港臨時潮位站(青藍線)分別和 MOI.18v1 潮位模式正高(H;左圖)與 ISLW(右圖)高程相比較[內政部，2023a]。

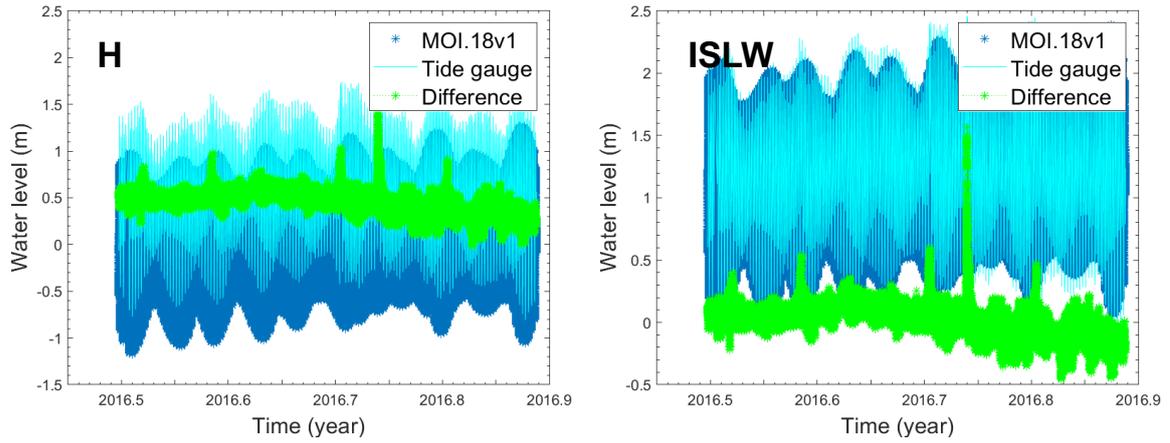


圖 4: 105 年布袋港臨時潮位站(青藍線)分別和 MOI.18v1 潮位模式正高(H;左圖)與 ISLW(右圖)高程相比較[內政部，2023a]。

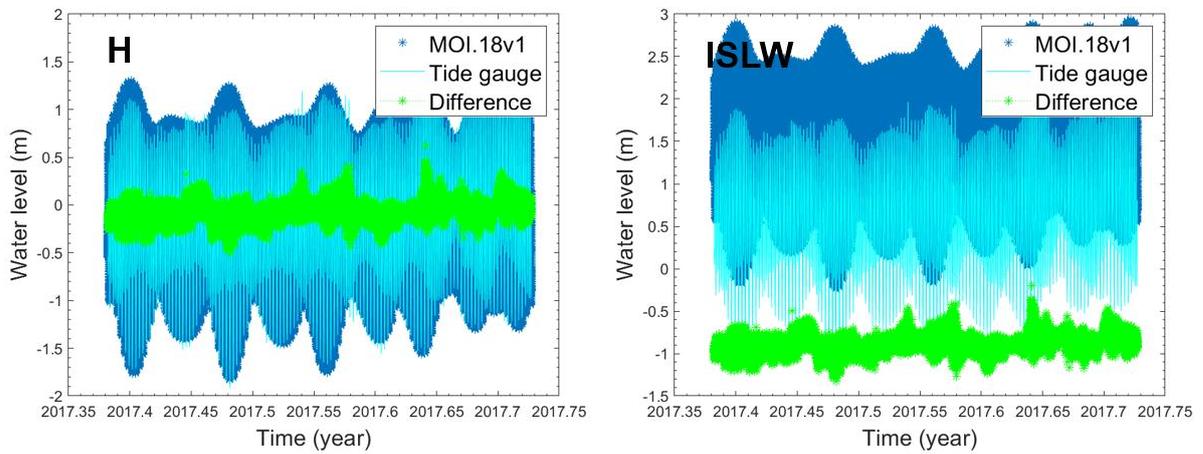


圖 5: 106 年澎湖花嶼港臨時潮位站(青藍線)分別和 MOI.18v1 潮位模式正高(H;左圖)與 ISLW(右圖)高程相比較[內政部，2023a]。

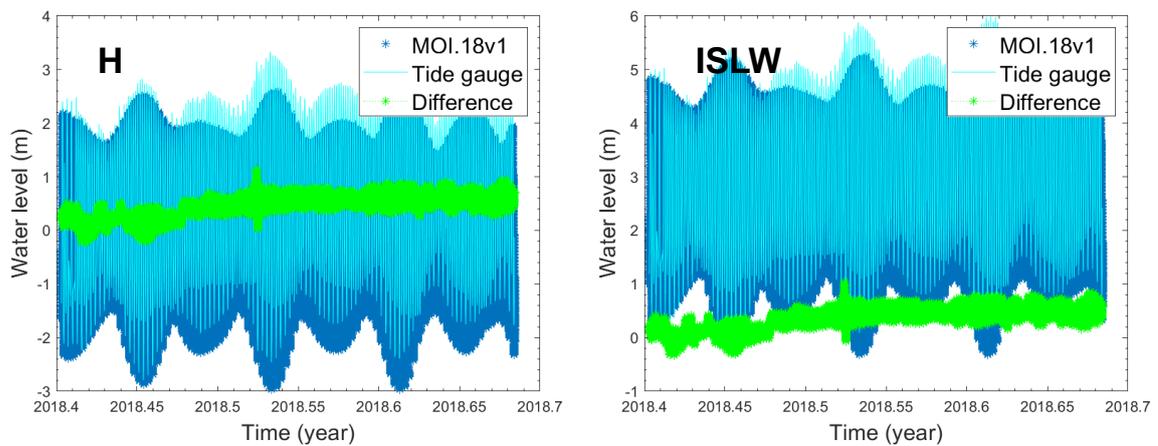


圖 6: 107 年梧棲漁港臨時潮位站(青藍線)分別和 MOI.18v1 潮位模式正高(H;左圖)與 ISLW(右圖)高程相比較[內政部，2023a]。

(二) GNSS 浮標評估深度基準及深度系統之精度

龍洞 GNSS 浮標 TWVD2001 正高水位資料和深度基準及深度系統產生之正高潮位資料比較如圖 7 所示。由圖可知，龍洞浮標觀測水位變化和 MOI.18v1 潮位模式 TWVD2001 正高水位相當一致，差值平均值及其標準偏差以及 RMSE 分別為 0.06 ± 0.13 cm 以及 0.14 m，顯示 MOI.18v1 潮位模式之 TWVD2001 正高高程於龍洞周圍海域精度佳(~6 cm)，整體精度 RMSE 為 14 cm，而差值標準偏差為 13 cm，略大於前人研究估算之精度(~0.083 m) [內政部，2020a]，其原因推測為浮標觀測地點位於港外，容易受到風浪影響，有較大起伏，而潮位模式僅模擬天文潮汐變化，故導致浮標水位變化和 MOI.18v1 潮位模式差異較大。

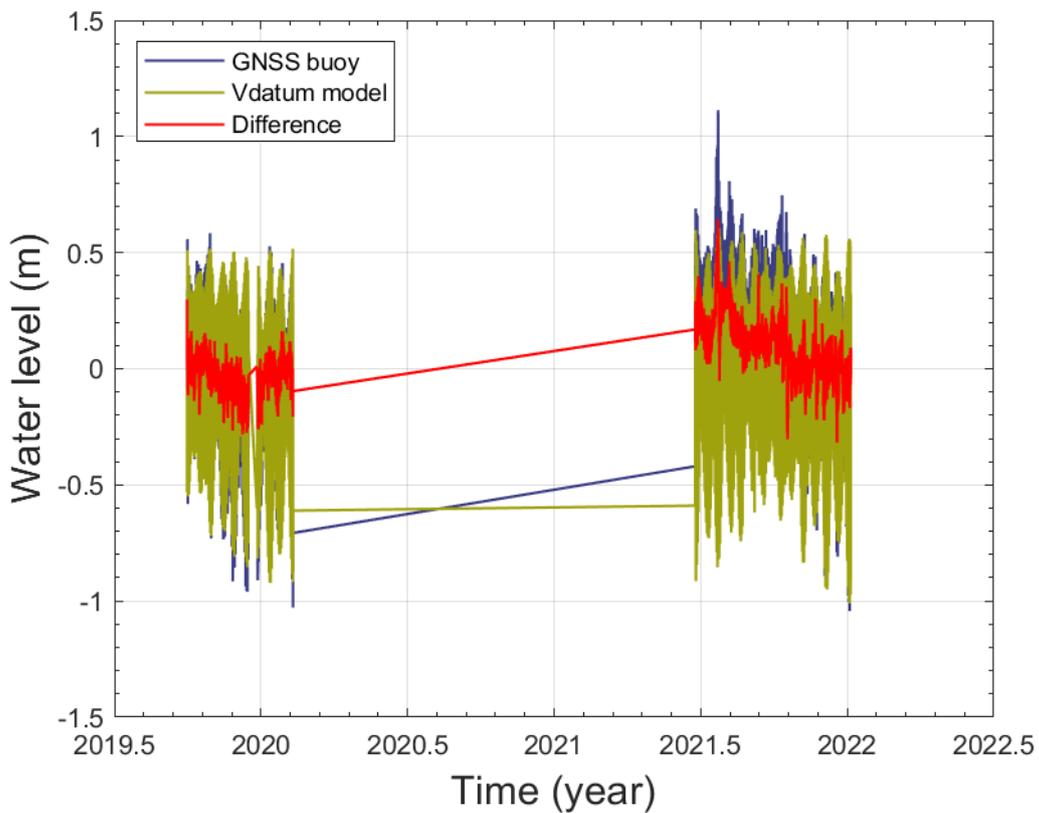


圖 7: 龍洞 GNSS 浮標 (藍線)和 MOI.18v1 潮位模式正高水位變化(Vdatum model; 土黃色線)相比較，並計算差值(Difference; 紅線)。

(三) 實測水深資料和深度基準及深度系統之基準面相比較

本研究利用深度基準及深度系統將方域科提供 105~109 年水深成果轉換至其他基準面，並與船測公司成果相比較，以評估深度基準及深度系統精度。由於不同基準之水深資料點位坐標不一定相同，因此比較時選擇距離最近的點位進行比較，然而部分點位位於圖幅邊緣附近，可能會選擇到較遠距離的點位，因此在比較時，需

計算各圖幅最近點位距離平均值與標準偏差，並將兩點距離超過三倍標準偏差的水深差值移除[內政部，2021]。

將水深資料正高基準轉換至橢球高，並與船測公司橢球高水深成果相比較，差值平均值的最大值為 0.552 m，最小值為-0.338 m，平均值為 0.177 m，標準偏差為 0.226 m，而差值標準偏差之平均值為 0.123 m(表 5); 將水深資料 ISLW 基準轉換至橢球高，並與船測公司橢球高水深成果相比較，差值平均值的最大值為 0.385 m，最小值為-0.178 m，平均值為 0.158m，標準偏差為 0.135 m，而差值標準偏差之平均值為 0.100 m(表 5); 將水深資料橢球高基準轉換至正高，並與船測公司正高成果相比較，差值平均值的最大值為 0.210 m，最小值為-0.579 m，平均值為-0.225 m，標準偏差為 0.180 m，而差值標準偏差之平均值為 0.123 m(表 6); 將水深資料 ISLW 基準轉換至正高，並與船測公司正高成果相比較，差值平均值的最大值為 0.500 m，最小值為-0.296 m，平均值為-0.105 m，標準偏差為 0.159 m，而差值標準偏差之平均值為 0.040 m(表 6); 將水深資料橢球高基準轉換至 ISLW，並與船測公司 ISLW 成果相比較，差值平均值的最大值為 0.229 m，最小值為-0.378 m，平均值為-0.161 m，標準偏差為 0.130 m，而差值標準偏差之平均值為 0.100 m(表 7); 將水深資料正高基準轉換至 ISLW，並與船測公司 ISLW 成果相比較，差值平均值的最大值為 0.411 m，最小值為-0.510 m，平均值為 0.109 m，標準偏差為 0.169 m，而差值標準偏差之平均值為 0.050 m(表 7)

整體而言，各基準差值平均值和差值標準偏差之平均值範圍分別為-0.225~0.177 m 和 0.130~0.226 m，表示水深資料和深度基準及深度系統之基準面間約有 10~20 cm 差異，而部分圖幅水深差值平均值遠超過 20 cm，此問題本團隊未來將與資料產製單位後續進行探討分析。

表 5: 以深度基準及深度系統將船測正高與 ISLW 水深資料轉換至橢球高基準，並與船測公司水深成果計算差值平均值及其標準偏差[內政部，2021; 2023a]

年度	區域	No	橢球高					
			正高轉換至橢球高			ISLW 轉換至橢球高		
			Mean	STD	Number	Mean	STD	Number
105	西南部	93192040	x	x	x	x	x	x
105	西南部	93192069	x	x	x	x	x	x
105	西南部	94193021	x	x	x	x	x	x
105	西南部	94194082	x	x	x	x	x	x
105	金門	90211055	x	x	x	0.301	0.055	38321
105	金門	90214047	x	x	x	0.159	0.077	65712
105	金門	90214080	x	x	x	0.385	0.116	9349
105	金門	91214031	x	x	x	0.285	0.069	278082
106	馬祖	94251059	-0.036	0.120	171814	0.298	0.089	169741
106	馬祖	94251066	-0.216	0.076	275914	0.292	0.069	275519
106	馬祖	94251081	x	x	x	0.249	0.070	274733
106	馬祖	94253031	x	x	x	0.175	0.081	60472
107	西部	95214011	0.085	0.189	281858	-0.093	0.185	281828
107	西部	95223045	0.552	0.080	275191	0.256	0.081	275297
107	西部	94211037	0.256	0.048	272007	0.088	0.048	271736
107	西部	94211075	0.176	0.039	269244	0.025	0.039	269321
107	西部	94212023	0.401	0.058	267050	0.283	0.061	267443
107	西部	94212052	0.278	0.056	217703	0.238	0.046	207090
107	西部	94213058	x	x	x	0.214	0.085	33804
108	西部	94213045	0.341	0.063	277942	0.168	0.055	272625
108	東北	97222020	0.344	0.217	206751	0.266	0.217	206740
108	東北	97222036	0.165	0.074	273262	0.165	0.079	273311
108	東北	97222048	0.171	0.062	271267	0.126	0.058	271133
108	東北	97222059	0.300	0.088	268564	0.171	0.089	268679
108	東北	97222069	0.243	0.108	266803	0.095	0.107	266745
108	東北	97222079	0.356	0.233	274242	0.196	0.229	274238
108	東北	97222085	0.213	0.065	127407	0.053	0.065	127403
108	東北	97222087	0.373	0.200	279014	0.237	0.199	279021
108	東北	97222089	0.377	0.156	63364	0.202	0.158	63360
108	東北	97222095	0.277	0.066	276837	0.094	0.065	276806
108	東北	97222097	0.340	0.158	268195	0.166	0.159	268200
109	澎湖	93191001	-0.317	0.196	285242	-0.174	0.091	276670
109	西南部	93191040	0.104	0.158	286550	0.227	0.136	278438
109	西南部	93191084	-0.026	0.224	285990	-0.044	0.092	273523
109	澎湖	93202091	-0.338	0.199	286668	-0.178	0.140	279704
109	西南部	94194051	0.000	0.140	287403	0.122	0.092	282761
		平均值	0.177	0.123	252651	0.158	0.100	219306
	統計值	標準偏差	0.226	0.064	55407	0.135	0.051	92057
		最大值	0.552	0.233	287403	0.385	0.229	282761
		最小值	-0.338	0.039	63364	-0.178	0.039	9349

x 表示產製單位沒有提供資料。

表 6: 以深度基準及深度系統將船測橢球高與 ISLW 水深資料轉換至正高基準，並與船測公司水深成果計算差值平均值及其標準偏差[內政部，2021; 2023a]

年度	區域	No	正高					
			橢球高轉換至正高			ISLW 轉換至正高		
			Mean	STD	Number	Mean	STD	Number
105	西南部	93192040	x	x	x	-0.205	0.052	152231
105	西南部	93192069	x	x	x	-0.145	0.047	277814
105	西南部	94193021	x	x	x	-0.229	0.008	10424
105	西南部	94194082	x	x	x	-0.218	0.005	9511
105	金門	90211055	x	x	x	x	x	x
105	金門	90214047	x	x	x	x	x	x
105	金門	90214080	x	x	x	x	x	x
105	金門	91214031	x	x	x	x	x	x
106	馬祖	94251059	0.025	0.118	171448	0.318	0.077	172058
106	馬祖	94251066	0.210	0.076	275930	0.500	0.022	271978
106	馬祖	94251081	x	x	x	x	x	x
106	馬祖	94253031	x	x	x	x	x	x
107	西部	95214011	-0.111	0.185	281837	-0.179	0.010	278981
107	西部	95223045	-0.579	0.082	274795	-0.296	0.005	278465
107	西部	94211037	-0.257	0.048	272058	-0.167	0.005	278868
107	西部	94211075	-0.177	0.039	269318	-0.152	0.002	280214
107	西部	94212023	-0.401	0.058	267031	-0.118	0.008	281024
107	西部	94212052	-0.279	0.047	207240	-0.041	0.004	212380
107	西部	94213058	x	x	x	x	x	x
108	西部	94213045	-0.362	0.064	277810	-0.193	0.028	275052
108	東北	97222020	-0.314	0.219	206441	-0.078	0.008	208441
108	東北	97222036	-0.165	0.075	273158	0.000	0.014	281938
108	東北	97222048	-0.170	0.061	271413	-0.045	0.016	283870
108	東北	97222059	-0.300	0.082	268573	-0.129	0.015	283884
108	東北	97222069	-0.240	0.102	267227	-0.147	0.012	282078
108	東北	97222079	-0.349	0.226	273928	-0.161	0.012	281593
108	東北	97222085	-0.212	0.065	127363	-0.160	0.008	130651
108	東北	97222087	-0.364	0.190	278703	-0.135	0.011	283697
108	東北	97222089	-0.400	0.239	66492	-0.175	0.007	66608
108	東北	97222095	-0.275	0.065	275772	-0.182	0.005	279113
108	東北	97222097	-0.338	0.103	259538	-0.174	0.011	270678
109	澎湖	93191001	-0.316	0.198	283592	-0.140	0.185	284392
109	西南部	93191040	0.106	0.157	285327	-0.122	0.137	284000
109	西南部	93191084	-0.013	0.225	284837	0.023	0.203	284495
109	澎湖	93202091	-0.336	0.200	285299	-0.160	0.141	283741
109	西南部	94194051	0.003	0.141	285844	-0.122	0.090	283337
		平均值	-0.225	0.123	251639	-0.105	0.040	236259
	統計值	標準偏差	0.180	0.068	55029	0.159	0.057	83705
		最大值	0.210	0.239	285844	0.500	0.203	284495
		最小值	-0.579	0.039	66492	-0.296	0.002	9511

x 表示產製單位沒有提供資料。

表 7: 以深度基準及深度系統將船測橢球高與正高水深資料轉換至 ISLW 基準，並與船測公司水深成果計算差值平均值及其標準偏差[內政部，2021; 2023a]

年度	區域	No	ISLW					
			橢球高轉換至 ISLW			正高轉換至 ISLW		
			Mean	STD	Number	Mean	STD	Number
105	西南部	93192040	x	x	x	0.184	0.049	152806
105	西南部	93192069	x	x	x	0.127	0.047	278503
105	西南部	94193021	x	x	x	0.411	0.313	16709
105	西南部	94194082	x	x	x	0.218	0.005	9226
105	金門	90211055	-0.299	0.055	38264	x	x	x
105	金門	90214047	-0.158	0.076	65584	x	x	x
105	金門	90214080	-0.378	0.114	9324	x	x	x
105	金門	91214031	-0.285	0.068	277918	x	x	x
106	馬祖	94251059	-0.296	0.089	169685	-0.334	0.077	172251
106	馬祖	94251066	-0.291	0.069	275453	-0.510	0.022	272113
106	馬祖	94251081	-0.248	0.071	274601	x	x	x
106	馬祖	94253031	-0.174	0.080	60438	x	x	x
107	西部	95214011	0.068	0.182	281815	0.179	0.010	278965
107	西部	95223045	-0.283	0.084	274892	0.296	0.005	278466
107	西部	94211037	-0.089	0.048	271836	0.167	0.005	278865
107	西部	94211075	-0.025	0.039	269431	0.152	0.002	280212
107	西部	94212023	-0.283	0.061	267410	0.118	0.008	281024
107	西部	94212052	-0.238	0.046	207129	0.040	0.016	217601
107	西部	94213058	-0.214	0.085	33797	x	x	x
108	西部	94213045	-0.171	0.056	272465	0.172	0.028	274954
108	東北	97222020	-0.236	0.220	206442	0.078	0.008	208442
108	東北	97222036	-0.165	0.079	273186	0.000	0.014	281938
108	東北	97222048	-0.126	0.058	271271	0.045	0.016	283870
108	東北	97222059	-0.171	0.085	268726	0.129	0.015	283884
108	東北	97222069	-0.093	0.101	267185	0.147	0.012	282078
108	東北	97222079	-0.189	0.222	273955	0.161	0.012	281593
108	東北	97222085	-0.052	0.065	127350	0.160	0.008	130648
108	東北	97222087	-0.229	0.190	278711	0.135	0.011	283697
108	東北	97222089	-0.225	0.240	66493	0.175	0.007	66608
108	東北	97222095	-0.093	0.064	275733	0.182	0.005	279114
108	東北	97222097	-0.163	0.102	259541	0.174	0.011	270678
109	澎湖	93191001	-0.174	0.090	276179	0.142	0.183	285857
109	西南部	93191040	0.229	0.135	278498	0.125	0.138	285303
109	西南部	93191084	-0.043	0.093	273619	-0.010	0.202	285656
109	澎湖	93202091	-0.177	0.140	279719	0.162	0.138	285095
109	西南部	94194051	0.124	0.092	282567	0.125	0.089	284892
	統計值	平均值	-0.161	0.100	219038	0.109	0.050	236933
		標準偏差	0.130	0.054	91719	0.169	0.075	83212
		最大值	0.229	0.240	282567	0.411	0.313	285857
		最小值	-0.378	0.039	9324	-0.510	0.002	9226

x 表示產製單位沒有提供資料。

四、結論與建議

深度基準及深度系統可提供陸海域數據於不同垂直基準面間(高程和深度基準)進行相互轉換，能夠作為未來實現陸海空間資訊統一整合之基礎，而評估此系統精度為確保其可應用性之關鍵。本研究首先簡單介紹我國深度基準及深度系統建構內容，並利用臨時潮位站紀錄、船測水深資料和 GNSS 浮標等多元測繪資料評估深度基準及深度系統之精度。結論和建議如下：

- (1). 臨時潮位站資料分別和深度基準及深度系統產生之正高與 ISLW 潮位資料相比較，計算之差值平均值分別為 0.08 ± 0.16 m 與 -0.01 ± 0.10 m，而整體精度 RMSE 分別為 0.20m 和 0.22 m 與 0.12 m 和 0.14 m。
- (2). 龍洞 GNSS 浮標和深度基準及深度系統產生之正高潮位資料計算差值平均值和標準偏差為 0.02 ± 0.13 m，而整體精度 RMSE 為 0.14 m。
- (3). 利用臨時潮位站(港內)和龍洞 GNSS 浮標(港外)資料評估 MOI.18v1 潮位模式精度，成果表示港內精度為 0.10 m 和 0.11 m，港外潮位模式精度為 0.13 m，顯示港內潮位模式精度符合前人研究成果(~ 0.083 m) [內政部，2020a]。
- (4). 水深資料轉換至橢球高、ISLW 與正高等基準面，並與船測公司成果相比較。整體而言，各基準差值平均值和差值標準偏差平均值數據範圍分別為 $-0.225 \sim 0.177$ m 和 $0.130 \sim 0.226$ m，表示水深資料和深度基準及深度系統之基準面間約有 10~20 cm 差異。
- (5). 由於欠缺外海實測水位觀測數據，建議可選擇潮位站較稀少或潮差較大等地點，架設臨時潮位站或 GNSS 浮標，增加水位觀測地點，以期能完整評估深度基準及深度系統之精度

致謝

本研究承蒙內政部委託研究計畫案「垂直基準面時變精度檢核評估工作案」之支持，謹此致謝。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2019。107年離島一等水準點水準測量成果說明。
- 內政部，2018。我國垂直基準轉換模式建置工作案第四期成果報告。
- 內政部，2020a。我國近岸平均海面與海潮模式精進工作案。
- 內政部，2020b。我國垂直基準轉換模式精進工作案。
- 內政部，2021。109年我國垂直基準轉換模式測試及評估工作案第四期成果期末報告。
- 內政部，2023a。垂直基準面時變精度檢核評估工作案工作總報告書。

- 內政部，2023b。垂直基準面時變精度檢核評估工作案工作第二期成果報告。
- 史天元、薛憲文，2022。高程現代化於海洋測量之實踐，*國土測繪與空間資訊*，10(1)，第21-36頁。
- 呂建興、黃金維、藍文浩、王成機、郭重言，2022。建置我國垂直基準轉換模式，*國土測繪與空間資訊*，10(1)，第37-64頁。
- 林演斌、黃清哲，2018。近岸海域潮位與波浪觀測GNSS浮標開發，*海洋及水下科技季刊*，28(1)，第4-12頁。
- 張憲國、史天元，2022。最低天文潮位計算標準作業程序探討，*國土測繪與空間資訊*，10(1)，第1-19頁。
- Blumberg, A. F., and G. L. Mellor, 1987, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, edited by N. Heaps, pp. 208, American Geophysical Union, Washington, D.C..
- Foreman, M.G.G., J.Y. Cherniawsky, and V.A. Ballantyne, 2009, Versatile Harmonic Tidal Analysis: Improvements and Applications, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26(4), 806-817, doi:10.1175/2008JTECHO615.1.
- Illiffe, J.C., M.K. Ziebart, and J.F. Turner, 2007, A new methodology for incorporating tide gauge data in sea surface topography models, *Mar. Geod.*, 30(4), 271-296.
- Parker, B., 2007, *Tidal Analysis and Prediction*, NOAA Special Publication NOS COOPS 3. U.S. Department of Commerce, Silver Spring, 1-378.

利用基隆和長潭里潮位站資料估算平均海水位

藍文浩^{1*} 高煥欽² 郭重言³

論文收件日期：113.05.02

論文修改日期：113.08.12

論文接受日期：113.04.29

摘要

臺灣採用正高高程系統，係利用 1957 年至 1991 年基隆潮位站資料計算求得之平均海水位(mean sea level)，此系統命名為 2001 臺灣高程基準 (TaiWan Vertical Datum 2001, TWVD 2001)，並以水準原點 K999 作為起算點、K998 為副點。然而，民國 99 年(西元 2010 年)副點 K998 滅失，且周圍環境已無法滿足地質穩固之需求。民國 103 年(西元 2014 年)內政部同意將水準原點遷至新建置之水準原點 K997，同時間在附近建置長潭里潮位站和全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 連續觀測站，該潮位站之平均海水位可作為日後水準零點，以利後續建置一正高高程系統。本研究評估基隆和長潭里潮位站資料品質後，使用 1991 年後近 30 年基隆潮位站水位資料，計算不同時期平均海水位，分析與 TWVD2001 水準零點差異之變化；亦考慮長潭里潮位資料之節點潮、逆氣壓、基準偏移影響，並計算平均海水位。此外，本研究亦利用歷年水準檢測成果和 GNSS 連續觀測量計算長潭里潮位站之地表垂直變動量，分析其周圍地質是否穩固。成果顯示四種方法(算術平均法、調和分析法、六參數擬合及多參數線性擬合)計算之 2004-2022 年(時間中點 2013.5)基隆平均海水位平均值高於 TWVD2001 水準零點約 67.3 mm，故現今基隆平均海水位與 TWVD2001 水準零點已有顯著差異變化。而計算之 2015-2022 年(時間中點 2019.15)長潭里平均海水位高於 TWVD2001 水準零點為 121.0 mm，和利用基隆潮位站資料推估時間中點 2019.15 之平均海水位(82.0 mm)有 39.0 mm 差異，其差值可能是長潭里潮位站資料涵蓋時間較短(2015-2022)且資料品質較差(前期資料未進行氣象署品管處理)、兩潮位站海水面地形不同、基隆潮位站參考基準未釐清(如基隆潮位站資料無法呈現水準檢測之每年 5 mm 地表下沉量)等所致。最後，2015~2023 長潭里 GNSS 解呈現地表高程變化速率為 0.3 ± 0.1 mm/yr，與歷年水準檢測成果相符，顯示長潭里潮位站周圍地表穩定平穩。因此建議未來持續監測基隆和長潭里平均海水位高。

關鍵字：GNSS、水準原點、正高、平均海水位、潮位站

^{1*} 助理教授，國立高雄科技大學土木工程系。

² 助理教授，正修科技大學土木與空間資訊系。

³ 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

*通訊作者，TEL: (07)3814526#15257，E-mail: whlan74@nkust.edu.tw

Estimation of mean sea levels derived from Keelung and Zhangtanli tide gauge data

Wen-Hau Lan^{1*} Huan-Chin Kao² Chung-Yen Kuo³

Abstract

The vertical datum adopted by Taiwan is orthometric height, which is based on the mean sea level derived from Keelung tide gauge records covering from 1957 to 1991. This datum is named the TaiWan Vertical Datum 2001(TWVD 2001) and the original benchmark is K999, with the associate datum benchmark designed as K998. However, K998 was lost in 2010, and the surrounding environment no longer meets the requirements for geological stability. In 2014, the Ministry of the Interior consented to move the original benchmark to the newly established K997. Concurrently, a tide gauge station and a continuously operating Global Navigation Satellite System (GNSS) station were instituted at Zhangtanli, proximate to K997. The mean sea level derived from this tide gauge can serve as a future reference (zero level) for establishing a subsequent orthometric height system. The study evaluates the data quality of Keelung and Zhangtanli tide gauge records. The Keelung tide gauge records covering the past 30 years after 1991 were used to calculate the mean sea level at different time spans, and then we analyze the differences compared to the TWVD2001 original benchmark. Additionally, this study also considers the effects of nodal tide, inverse barometer, and datum offset on the Zhangtanli tide gauge data, and calculate the mean sea level. Furthermore, the study also uses levelling results and GNSS continuous observation data to calculate the vertical motion of the Zhangtanli tide gauge and analyzes whether the surrounding geological environment is stable. The results indicate that the mean sea surfaces in Keelung, as calculated by four different algorithms (arithmetic mean, harmonic analysis, six-parameter linear regression, multiple-variable linear regression) using tide gauge records from 2004 to 2022 (midpoint in time being 2013.5), are approximately 67.3 mm above the TWVD2001 zero level. The computed mean sea surface at Zhangtanli tide gauge from 2015 to 2022 (midpoint in time being 2019.15) is 121.0 mm higher than the zero level of TWVD2001. Compared to the estimated mean sea level of 82.0 mm at the Keelung tide station for the same midpoint in time, a discrepancy of approximately 39.0 mm is observed. The discrepancy may be due to several factors such as the shorter time span (2015-2022) and lower quality of the

¹ Associate Professor, Department of Civil Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

² Associate Professor, Department of Civil Engineering and Geomatics, Cheng Shiu University

³ Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

* Corresponding Author, TEL: (07)3814526#15257, E-mail: whlan74@nkust.edu.tw

Zhangtanli tide gauge records (the preliminary data were not subjected to quality control by the Central Weather Administration), variations in sea surface topographies between the two tide gauge stations, and unclarified reference datum for the Keelung tide gauge station (for example, the Keelung tide gauge records do not reflect the annual ground subsidence of -5 mm measured by levelling). Lastly, the GNSS solutions at Zhangtanli from 2015 to 2023 show a vertical land motion rate of 0.3 ± 0.1 mm/yr, which is identical to the levelling results, suggesting a consistent and stable surface elevation surrounding the Zhangtanli tide gauge station. Therefore, it is recommended that the mean sea surfaces at Keelung and Zhangtanli tide gauges be continuously monitored in the future.

Keywords : GNSS, mean sea level, original benchmark, orthometric height, tide gauge

一、研究動機與目的

臺灣水準點之高程採用正高系統，其水準零點係定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境情況下，由基隆潮位站 1957 年至 1991 年之潮位資料計算求得之平均海水位(mean sea level)，並命名為 2001 臺灣高程基準 (TaiWan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD 2001)。TWVD2001 是以水準原點(datum benchmark) K999 (圖 1)作為起算點，所謂水準原點是國土測繪法規規定地表高程(俗稱海拔高度)之起算原點[史天元，2016]。為配合基隆港東岸聯外道路工程興建，民國 103 年(西元 2014)於內政部同意下將臺灣水準原點遷移至國立海洋科技博物館對面的公園綠地，點號 K997 (圖 1)為主點，屬地下點位，點號 K996 為副點，屬地面點位，仍是雙水準原點設計；原水準原點主點 K999 樁位原地保留，原水準原點副點 K998 則已拆遷 [史天元，2016；國土測繪中心，2022]，並同時間在新水準原點 K997 附近建置一新潮位站(長潭里潮位站)，潮位站水準點為 TG997 (圖 1)，該潮位站資料計算之平均海水位可作為日後水準零點，以利後續建置一新正高高程系統。

傳統上水準測量是以平均海水位作為水準零點，因為長期海水面高平均值和重力等位面大致吻合[劉啟清，1998]，亦為一個長期穩定之參考面。若潮位站位於岩盤穩固之處，且潮位站紀錄涵蓋足夠的時間長度 (>18.6 年)，直接平均潮位資料將能消除各項影響海水面的地球物理因子，求得一穩定的平均海水位，以作為正高高程系統之水準零點。劉啟清[1998]在考量長周期如海面上升以及溫度、壓力、降水量等多項因素影響下，利用回歸模式計算 1990 年 1 月 1 日之平均海水位，而非以算術平均計算潮位資料求得平均海水位，內政部於民國九十年(西元 2001)公布 TWVD2001 高程系統。近年來由於板塊變動、超抽地下水以及海面上升等物理現象，至今基隆潮位站之平均海水位與 TWVD2001 水準零點是否已有差異性變化，乃是高程基準的重要課題，故本研究將使用 1991 年後近 30 年基隆潮位站潮位資料，分析 TWVD2001 是否已有差異性變化。

新水準原點(K997)位於國立海洋科技博物館對面的公園綠地上，周圍環境具有交通便利、視野開闊、地質穩固等特性，適合作為正高高程系統之水準原點。然而，目前新水準原點 K997 正高高程仍由 K999 聯測獲得(圖 1)，主要原因為長潭里潮位站紀錄時間較短，求得之平均海水位高易受到低頻訊號等因子影響。現階段長潭里潮位站資料涵蓋時間長度約有 8 年，潮位資料經由改正後，如節點潮(nodal tide)和大氣壓力改正，可降低低頻訊號影響，以利長潭里潮位站平均海水位之計算。

本研究首先將評估基隆和長潭里潮位站資料品質，並使用 1991 年後近 30 年基隆潮位站水位資料，以四種方法(算術平均法、調和分析法、六參數擬合及多參數線性擬合[劉啟清，1998])式分別計算不同時期平均海水位高，分析 TWVD2001 水準零點是否已有差異性變化，亦將計算長潭里平均海水位，並加入衛星測高(satellite altimetry)資料計算基隆周圍海水面變化和上升速率。另外，近年來由於臺灣本島位於菲律賓海板塊及歐亞板塊交界處及超抽地下水等因素影響，臺灣地表垂直變動非常嚴重[Ching et al., 2011]，因此利用 GNSS 觀測量分析潮位站之高程變動，並與歷

水位觀測資料在 2021/08 前皆有顯著資料缺漏，又以雷達式資料缺漏最為嚴重，且 2020 年以前此兩儀器觀測資料的相位變化和壓力式資料並不相符，2021 年以後三個儀器觀測資料水位變化逐漸一致。利用調和分析法分別擬合長潭里潮位站音波式和壓力式觀測資料得知(圖 4 所示)，音波式觀測資料有些問題，導致調和分析法計算的殘差(重建水位和原始潮位站資料差值)異常顯著，其原因應為音波式資料於 2015-2019 年和 2020 年以後時間系統不一致所導致。

相較於音波式觀測資料，2015-2021 年之壓力式資料品質較佳，但壓力式觀測資料於 2021 年年底有一明顯基準偏移(圖 4)。因此本研究將 2015/04-2021/08 之壓力式資料和 2021/08-2022/12 之音波式資料整合成長潭里潮位資料，進行後續平均海水位計算。結合兩儀器觀測資料前須評估基準是否一致，因此將 2021/01~2021/08 (西元 2021.0~2021.7 年)觀測資料進行差值計算，成果如圖 5 所示。由圖可知，兩資料差值基本在 0 mm 上下震盪，但部分差值較大(可能因資料品質較差導致)，因此利用差值標準偏差(32 mm)將差值超過三倍標準偏差之資料移除，粗差移除後重新計算 2021/01~2021/08 差值平均值為 19 mm (音波式-壓力式)，因此將壓力式資料基準往上調整 19 mm。

表 1:本研究使用之潮位站資訊[內政部國土測繪中心，2023a]

Station name			Station ID.	Lon(°)	Lat(°)	Data period
Ch.	Eng.	Abbr.				
基隆	Keelung	KL	1212	121.7	25.1	1946-1990
			1511	121.7	25.2	1991-1995
			151	121.7	25.2	1995-2000
			1514	X	X	2003-2016
			1516	121.8	25.2	2006-2022
長潭里	Zhangtanli	ZTL	12191	121.8	25.1	2015-now
			12195	121.8	25.1	2015-2022
			12197	121.8	25.1	2015-2022

X:表示原始資料中未提供該項資訊

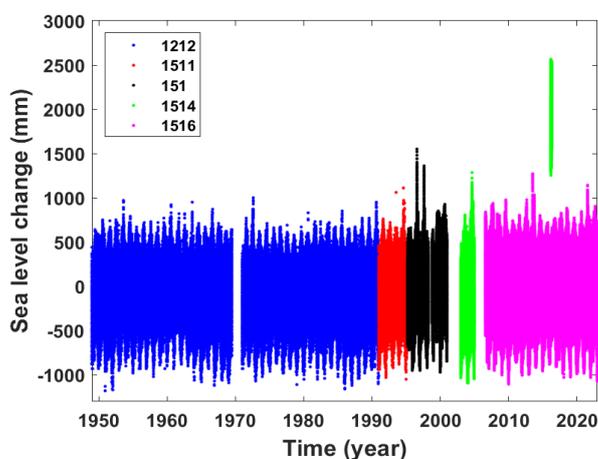


圖 2:基隆原始潮位站水位紀錄。

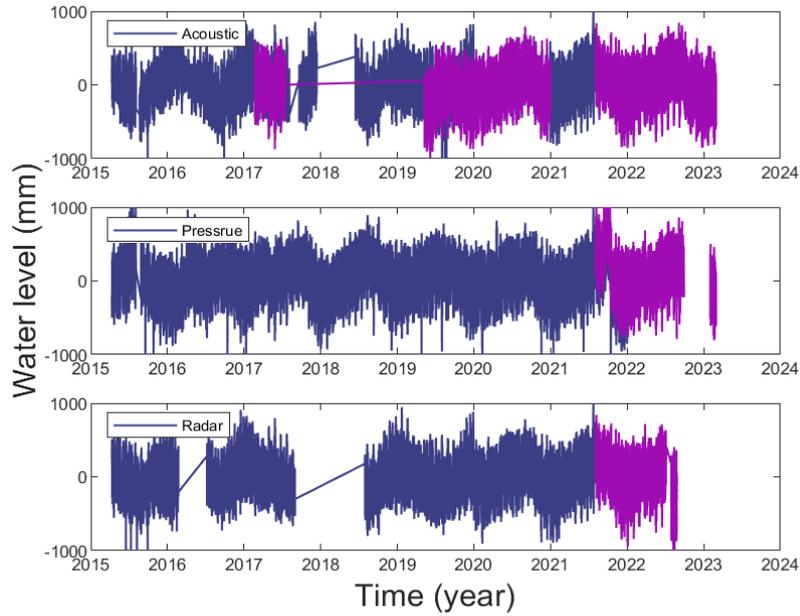


圖 3:長潭里潮位站水位變化。藍線為原始觀測數據，且未經過氣象署品管處理，而紫線為已經過氣象署品管處理，上圖為音波式、中圖為壓力式和下圖為雷達式水位觀測資料。

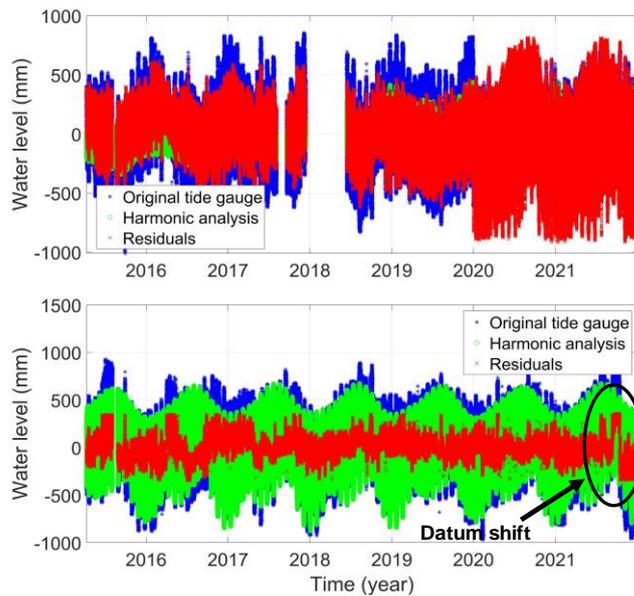


圖 4:長潭里潮位站(2015~2021)音波式(上圖)和壓力式(下圖)觀測資料之調和分析擬合結果。藍點、綠點和紅點分別為潮位站原始資料、調和分析擬合結果和殘差。

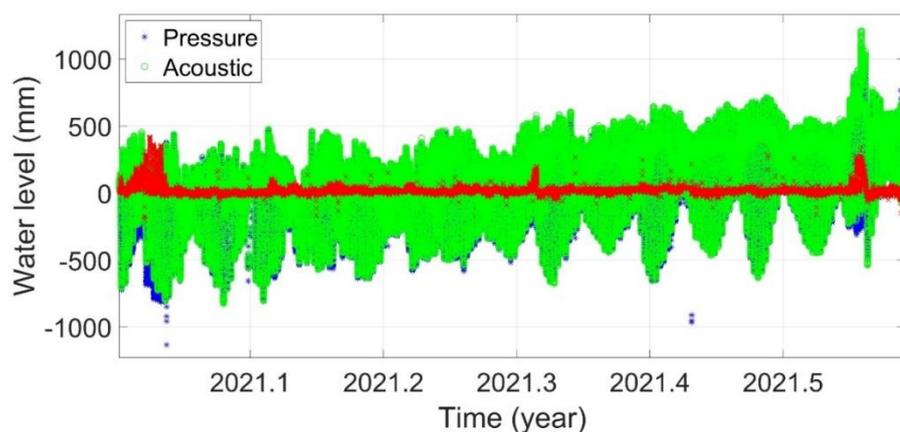


圖 5:長潭里潮位站(西元 2021.0~2021.7 年)之壓力式(藍點)和音波式(綠點)差值(紅點)計算。

2.2 衛星測高近岸資料

測高衛星主要設計是用於觀測全球海水面高，進行海洋科學之研究，其優點為觀測範圍涵蓋近乎全球，然而近岸部分測高衛星會受到地形及環境影響，易接收到較為複雜的波形訊號，在資料處理中易被剔除，導致近岸之測高資料較少、觀測精度較低 [Ilfie et al., 2013]。本研究分別自法國衛星海洋數據存檔、驗正與解釋 (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic, AVISO)資料中心 (<https://www.aviso.altimetry.fr/>) 和歐洲太空總署 ESA Sea Level Climate Change Initiative 計畫中 (<https://catalogue.ceda.ac.uk>) 下載 X-TRACK 沿軌跡點(along-track)海水面異常(sea level anomaly)資料、Gridded sea level heights 以及 Altimeter along-track high resolution sea level anomalies in some coastal regions 等產品，三個測高產品時間分別涵蓋 29 年(1993/03-2022/04)、29 年(1993/01-2022/07)和 17 年(2002-2018)。AVISO 產品為 1 Hz 沿軌跡點和 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 全球網格海水面變化，產品中包含 TP、TP interleaved、J1、J1 interleaved、J2、J2 interleaved、J3、GFO、ENV、ERS1、ERS2、SRL、HaiYang-2A (HY-2A)及 Sentinel-3A 等系列，各測高衛星對應之時間涵蓋範圍如表 2，其沿軌跡點資料之點位間距為 6-7 km，AVISO X-TRACK 將各測高任務整理不同系列資料，各項系列時間資訊如表 3，後續將使用 AVISO 超過 10 年時間段之 X-TRACK 產品進行比較; ESA 產品為 20 Hz 沿軌跡點海水面變化，產品包含 J1 (2002/01-2008/07)、J2 (2008/07-2016/02)、J3 (2016/02-2018/05)等測高衛星系列，其軌跡點間距離 300 m。

ESA 產品是結合高取樣率、自適應前緣子波形波形重定技術 (Adaptive Leading Edge Subwaveform retracker, ALES)及沿軌跡點後處理演算法(X-TRACK) 並利用多種校正方法和過濾技術來排除不確定性和雜訊，提升沿海測高觀測數據之品質，資料範圍涵蓋了全球大部分的沿海地區 (東北大西洋、地中海、西非、北印度洋、東南亞和澳大利亞)，針對這些沿海區域(圖 6 中紅框覆蓋區域)提供更為詳細的海水面

變化資訊。本研究使用的三種測高資料均已進行儀器改正、介質改正（雙頻電離層改正、濕對流層改正、乾對流層改正）、地球物理改正（固體潮改正、海潮改正、海潮負載改正、極潮改正、海面狀態偏差改正、逆氣壓效應改正）。本研究後續將分別自 AVISO 和 ESA 網站下載台灣基隆附近衛星測高沿岸資料(圖 6)，與基隆和長潭里潮位站資料相比較，評估兩觀測技術之資料是否一致，並計算基隆周圍海水面變化和上升速率。

表 2:各測高衛星對應之時間序列範圍

Mission	Start	End
TP + J1/2/3	1993/02/28 (cycle 17 of TP)	2021/07/13 (cycle 199 of J3)
ERS1 + ERS2 + ENV + SRL	1992/10/23 (cycle 89 of ERS1)	2016/04/16 (cycle 32 of SRL)
GFO	2000/01/08 (cycle 37)	2008/09/08 (cycle 222)
TP interleaved+J1 interleaved	2002/09/20 (cycle 369 of TP)	2017/05/13 (cycle 327 of J2)
HY-2A	2014/04/12 (cycle 67)	2016/03/15 (cycle 119)
Sentinel-3A	2016/06/02 (cycle 5)	2022/03/08 (cycle 82)

表 3: AVISO 提供 X-TRACK 測高資料中各項任務時間資訊

Mission	Start	End
T/P + Jason-1 + Jason-2 + Jason-3	1993/02/28 (cycle 17 of T/P)	2022/04/07 (cycle 226 of Jason-3)
ERS-1 + ERS-2 + ENVISAT + SARAL	1992/10/23 (cycle 89 of ERS-1)	2016/04/16 (cycle 32 of SARAL)
GFO	2000/01/08 (cycle 37)	2008/09/08 (cycle 222)
T/P interleaved+Jason-1 interleaved	2002/09/20 (cycle 369 of T/P)	2017/05/13 (cycle 327 of Jason-2)
HY-2A	2014/04/12 (cycle 67)	2016/03/15 (cycle 119)
S3A	2016/03/12 (cycle 2)	2023/01/26 (cycle 94)

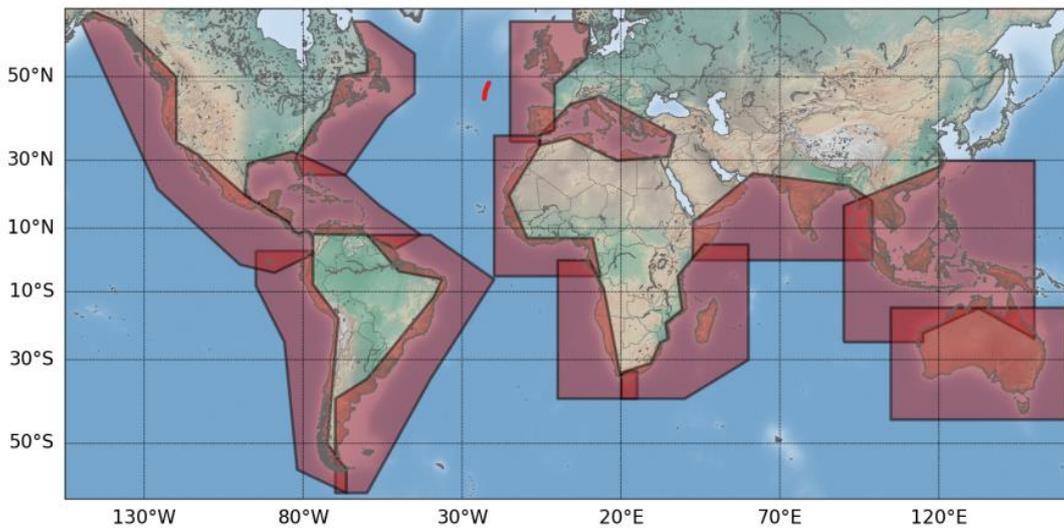


圖 6: ESA 沿海海水面產品覆蓋區域範圍圖[Cazenave et al., 2022]。

2.3 降水量、溫度和海表面壓力資料

由於我國高程基準是定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境情況下，在計算平均海水位高時，需要移除潮位站資料之逆氣壓效應或是結合氣溫、壓力、降水量等資料進行多參數擬合。逆氣壓效應改正(IB ; 單位:公釐)公式如下所示：

$$IB = -9.948 \times (P_{atm} - \bar{P}) \quad (1)$$

其中， P_{atm} 為海水表面大氣壓力（單位為毫巴）， \bar{P} 為隨時間變化之全球平均海水表面壓力或某一參考大氣壓力(如一大標準氣壓 1013.25 mbar)，尺度因子 9.948 為中緯度之經驗值 [Dalrymple et al., 2012]。而多參數擬合方式將在後續章節說明。

上述三項資料可選擇至氣象署網站 (<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/>) 下載基隆氣象站(站號 466940)觀測資料，氣象站海表面壓力(sea level pressure)、氣溫和降水量(total precipitation)等資料如圖 7~9 所示。由圖可知，基隆氣象觀測站海表面氣壓資料在 1998 年之前有較為嚴重的缺漏情形(圖 7)，而基隆氣象觀測站氣溫和降水量資料並無嚴重的缺漏情形(圖 8~9)，因此至歐盟 ESA 所產製全球氣候大氣再分析的第五代工具(ERA5)產品[Hersbach et al., 2018]下載海表面氣壓資料，並相互比較。該模型提供 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 全球網格資料，時間涵蓋為 1940-至今，時間間隔為 1 小時，模型中亦包含降水量、溫度、風速、相對濕度等多參數資料。由比較結果可知，ERA5 模型海表面氣壓資料與基隆氣象觀測站資料相當一致，兩資料差值均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)和標準偏差(Standard Deviation, STD)分別為 0.58 和 0.48 mbar，皆遠低於 1 mbar，表示該模型海表面氣壓資料於基隆地區相當準確。後續將利用 ERA5 模型海表面氣壓資料以及基隆氣象觀測站海表面氣溫和降水量資料進行平均海水位計算。

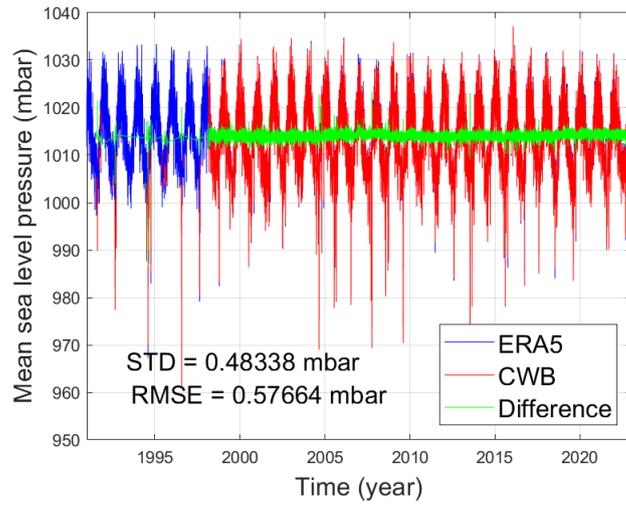


圖 7:基隆氣象觀測站之逐時平均海表面氣壓資料(紅線)與 ERA5 模型氣壓資料(藍線)比較。

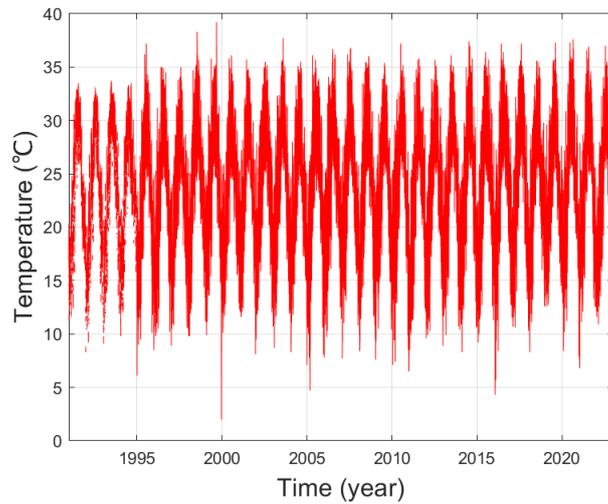


圖 8:基隆氣象觀測站之逐時平均氣溫資料。

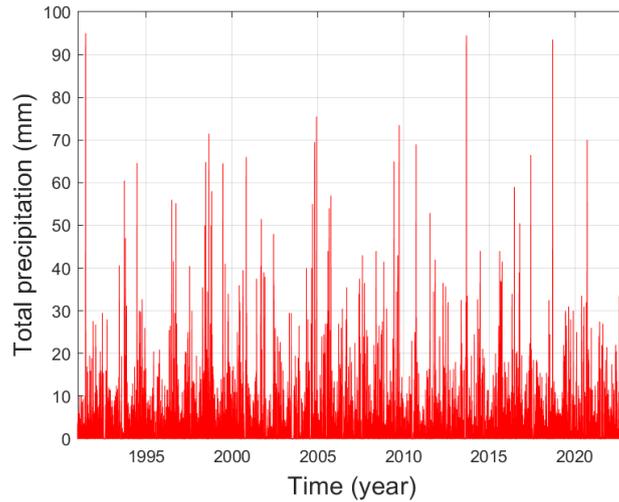


圖 9:基隆氣象觀測站之逐時降水量資料。

2.4 長潭里 GNSS 資料和水準檢測成果

本研究目的是分析 2015 至 2023 年間，國土測繪中心提供的長潭里 GNSS 連續觀測站資料，以評估新水準原點附近地質的穩定性。將採用加拿大 Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP) 進行 GNSS 精密單點定位解算。CSRS-PPP 是一個 GNSS 資料後處理的線上程式，該程式利用全球接收儀網路所計算的精密衛星軌道、時鐘和偏差校正，來解算全球任何用戶位置的精確坐標。使用者可以透過網路上傳他們以單頻或雙頻接收機在靜態或動態模式下觀測得到的 RINEX 資料。解算結果可參照 1983 北美基準的加拿大空間參考系統 (NAD83(CSRS))或國際地球參考系 (ITRF)來表示，而本研究將採用 ITRF2014 參考系統[內政部，2022]。

另外，本研究亦分析 1998~2022 (民國 87~111)臺灣水準原點高程歷年檢測結果，成果如表 4 所示。由表可知，水準原點高程基準網檢測工作已辦理多年，歷年檢測結果均以水準原點(K999) 為高程起算基準，因此各檢測點即相對於 K999 之高程值變化。基隆潮位站鄰近一等水準點(K021)，自 87 至 111 年以來，地表下陷量約達 120 mm，年平均下陷量約 5 mm/yr [內政部國土測繪中心，2023b]，而基隆潮位站水準點(TG01)和 K021 呈現相同的下陷趨勢(圖 10)，因此後續將嘗試以每年 5 mm 下陷量修正基隆潮位站之地表垂直變動量。表 4 亦顯示長潭里潮位站參考點(TG997)和新水準原點(K997)地表垂直變動持續呈現穩定狀態，地表垂直變動如圖 11 所示，因此長潭里潮位站無須進行測站地表垂直變動改正。

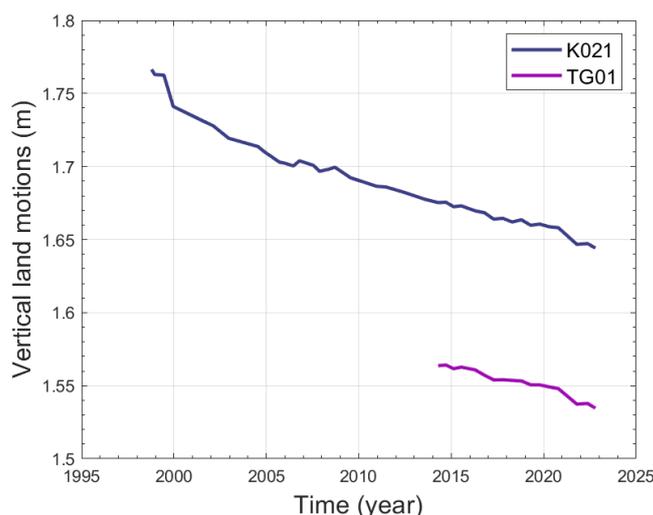


圖 10:K021(藍線)和 TG01(紫線)水準點相對於水準原點 K999 之高程差變化圖。

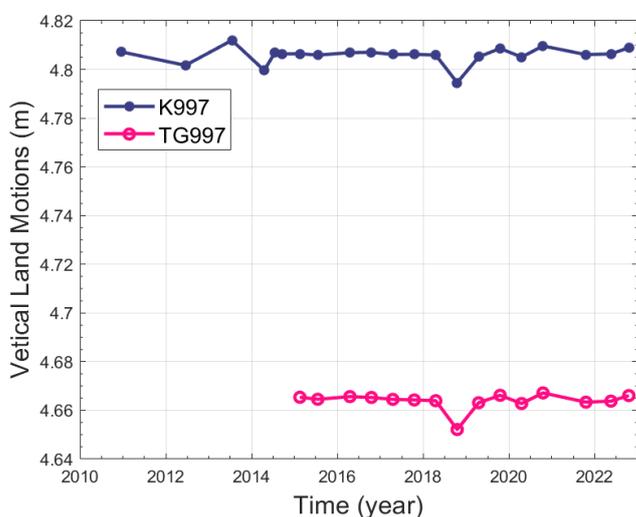


圖 11:長潭里潮位站參考點(TG997)和鄰近新水準原點(K997)之地表垂直變動量。

表 4:臺灣水準原點高程歷年檢測結果。TG01 和 TG997 分別為基隆和長潭里潮位站水準點。K021 為基隆潮位站鄰近一等水準點。

日期	水準點高程 (m)				
	K999	K021	K997	TG01	TG997
87/10	5.61560	1.76645	#N/A	#N/A	#N/A
87/12	5.61560	1.76294	#N/A	#N/A	#N/A
88/06	5.61560	1.76251	#N/A	#N/A	#N/A
88/12	5.61560	1.74115	#N/A	#N/A	#N/A
90/07	5.61560	1.73133	#N/A	#N/A	#N/A
91/02	5.61560	1.72783	#N/A	#N/A	#N/A
91/12	5.61560	1.71934	#N/A	#N/A	#N/A
93/07	5.61560	1.71366	#N/A	#N/A	#N/A
93/11	5.61560	1.71023	#N/A	#N/A	#N/A
94/09	5.61560	1.70297	#N/A	#N/A	#N/A
94/12	5.61560	1.70238	#N/A	#N/A	#N/A
95/06	5.61560	1.70040	#N/A	#N/A	#N/A
95/10	5.61560	1.70391	#N/A	#N/A	#N/A
96/07	5.61560	1.70076	#N/A	#N/A	#N/A

96/11	5.61560	1.69672	#N/A	#N/A	#N/A
97/05	5.61560	1.69813	#N/A	#N/A	#N/A
97/09	5.61560	1.69951	#N/A	#N/A	#N/A
98/07	5.61560	1.69233	#N/A	#N/A	#N/A
99/06	5.61560	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
99/12	5.61560	1.68645	4.80724	#N/A	#N/A
100/06	5.61560	1.68600	#N/A	#N/A	#N/A
101/06	5.61560	1.68229	4.80168	#N/A	#N/A
102/07	5.61560	1.67766	4.81197	#N/A	#N/A
103/04	5.61560	1.67529	4.79965	1.56367	#N/A
103/07	5.61560	#N/A	4.80682	#N/A	#N/A
103/09	5.61560	1.67555	4.80635	1.56409	#N/A
104/02	5.61560	1.67248	4.80645	1.56163	4.66539
104/07	5.61560	1.67305	4.80589	1.56268	4.66455
105/04	5.61560	1.66964	4.80690	1.56080	4.66565
105/10	5.61560	1.66837	4.80704	1.55717	4.66530
106/04	5.61560	1.66400	4.80615	1.55392	4.66451
106/10	5.61560	1.66452	4.80621	1.55405	4.66427
107/04	5.61560	1.66202	4.80591	1.55362	4.66396
107/10	5.61560	1.66353	4.79456	1.55322	4.65213
108/4	5.61560	1.65977	4.80517	1.55057	4.66313
108/10	5.61560	1.66057	4.80862	1.55052	4.66618
109/4	5.61560	1.65878	4.80508	1.54915	4.66280
109/10	5.61560	1.65811	4.80964	1.54796	4.66716
110/10	5.61560	1.64672	4.80610	1.53735	4.66337
111/5	5.61560	1.64724	4.80636	1.53782	4.66379
111/10	5.61560	1.64419	4.80894	1.53460	4.66606

#N/A:表示資料產製單位未提供該項資訊

2.5 研究步驟

本研究主要流程圖如圖 12 所示，將首先進行基隆和長潭里潮位站資料品管，品管項目包含資料完整度(> 70%)、基準偏移初步分析、水位極端值剔除(大於三倍標準偏差)以及數據非線性變化分析等，然後改正潮位站基準偏移問題、測站地表垂直變動速率和逆氣壓效應(式(1))。上述測站地表垂直變動速率可利用 GNSS 觀測解或水準檢測成果進行改正，並以調和分析法或多參數線性擬合計算潮位站平均海水水位高，其中由於多參數擬合計算中包含氣壓資料，在使用該方法計算潮位站平均海水水位高時，無須進行逆氣壓效應之改正(圖 12)。若要利用算術平均計算平均海水位，則需將斜率移除(相對於參考時間點)再進行計算。此外，亦可將逐時資料平均成月平均潮位站資料，並與衛星測高資料相比較，再利用六參數擬合計算平均海水位高。以長潭里連續觀測站資料 GNSS 計算當地地表垂直變動速率，再與歷年水準測量成果相比較，以評估新水準原點附近地質的穩定性。

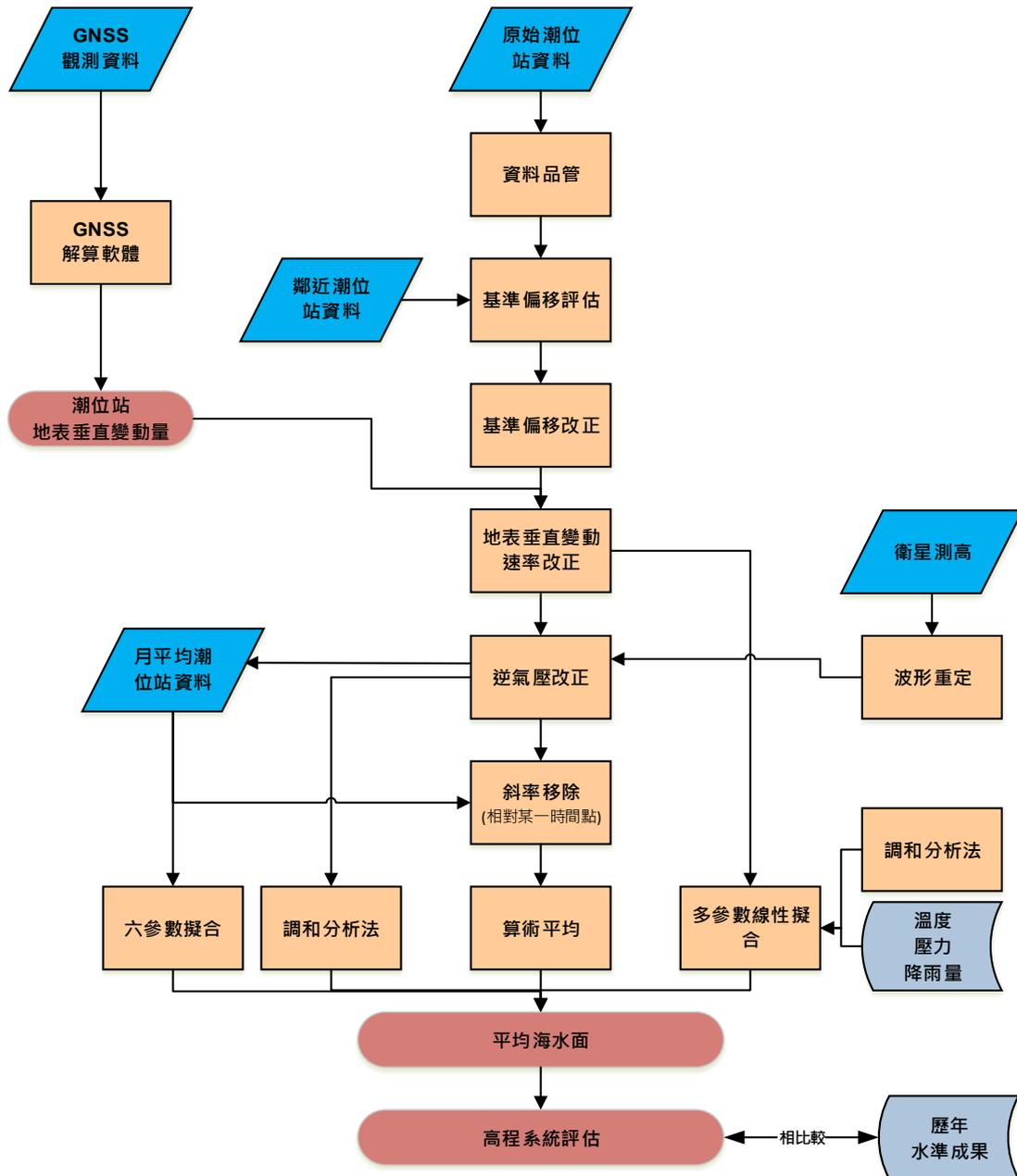


圖 12:研究流程圖。

2.6 平均海水位(mean sea level)之計算

平均海水位定義為潮位站在一段時間內，所有有效之潮位觀測紀錄之平均值稱之。在高程測量之應用上，主要是以天體運行之章動週期 18.6 年為基礎，求得之平均海水位，作為高程系統之零點[內政部，2020]。一般而言，平均海水位計算方式常以算術平均計算 18.6 年或 19 年潮位資料[Pugh, 1987]，以避免低頻潮汐訊號(天體運行之章動週期)影響。除了上述計算方式外，亦可利用六參數擬合月平均潮位站資料計算出平均海水位，公式如下，

$$TG_m(t) = a + bt + c \sin(2\pi t) + d \cos(2\pi t) + e \sin(4\pi t) + f \cos(4\pi t) \quad (2)$$

其中， TG_m 為潮位站月平均時間序列； a 為某一參考時刻的平均海水位高； b 為斜率； c 和 e 分別為年訊號和半年訊號之正弦振幅； d 和 f 分別為年訊號和半年訊號餘弦之振幅； t 為時間。若以逐時潮位站資料計算平均海水位，可利用調和分析法進行計算，然而若資料涵蓋時間長度短於 19 年(如長潭里潮位站)容易受節點潮影響，因此可引入節點潮改正參數(振幅 f_k 和相位 u_k)，調和分析法可改寫為[Foreman et al., 2009]，

$$TG(t_i) = a + b(t_i) + \sum_{k=1}^n f_k(t_i) C_k \cos(\omega_k(t_i) + V_k + u_k(t_i) - g_k) \quad (3)$$

其中， TG 為潮位站水位高度資料； t_i 為觀測時間； a 為某一參考時刻的平均海水位高； b 為斜率； C_k 、 g_k 、 ω_k 為各分潮之振幅、相位、角頻率； V_k 為各分潮的時間引數(argument) [張憲國和史天元，2022]。調和分析法(式(3))中各分潮之節點參數(f 和 u)可由平衡潮理論推導出，如表 5 所示。

表 5: 依據平衡潮理論推導 8 個主要分潮之節點參數(nodal factor f and nodal angle u) [Haigh et al., 2011]

Constituents	Nodal factor f	Nodal angle u (deg)
M_m	$1.000 - 0.130 \cos(N)$	0.0°
M_f	$1.043 + 0.414 \cos(N)$	$-23.7^\circ \sin(N)$
Q_1, O_1	$1.009 + 0.187 \cos(N)$	$10.8^\circ \sin(N)$
K_1	$1.006 + 0.115 \cos(N)$	$-8.9^\circ \sin(N)$
M_2, N_2	$1.000 - 0.037 \cos(N)$	$-2.1^\circ \sin(N)$
K_2	$1.024 + 0.286 \cos(N)$	$-17.7^\circ \sin(N)$

N 是月球升交點之經度

此外，TWVD2001 的平均海水位高並非使用算術平均法或六參數擬合計算月平均潮位資料之平均海水位高，而是利用日平均潮位資料，並結合六參數(式(2))和其他分潮參數，以及加入基隆氣象觀測站之溫度 T (相對於 1991-2022 基隆觀測站平均溫度(23°C))和降水量 R 以及 ERA5 模型之壓力 P (相對於一大標準氣壓(1013.25 mbar))等多項參數同時進行多參數線性擬合，公式如下[劉啟清，1998]，

$$TG(t) = a + b(t) + c_1 T(t) + c_2 P(t) + c_3 R(t) + \sum_{i=1}^m [A_i \sin(\omega_i(t)) + B_i \cos(\omega_i(t))] \quad (4)$$

其中， c_1 、 c_2 、 c_3 為未知參數，可估計出溫度、壓力、降水量對潮位站資料之影響量； m 為分潮個數，將根據劉啟清[1998]同樣採用 5 個天文潮汐之分潮，分別為 M_f (13.6612 天)、 M_m (27.5533 天)、 S_a (364.9635 天)、 S_{sa} (182.7040 天)以及 M_N (18.6672 年)。

三、研究成果

3.1 基隆潮位站資料處理結果

圖 13 為潮位站資料經過各項改正後的海水位變化和 TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 測高資料(100 km 測高資料平均)比較。由圖可知，兩資料時間序列並不一致，主要差異為斜率，此測高資料和潮位站之海水位變化速率分別為 $+3.2 \pm 0.3$ mm/yr 和 -4.1 ± 0.2 mm/yr (如圖 13)，速率差值超過 7 mm/yr，雖然測高和潮位站觀測位置不相同，但相鄰海域之海水位變化速率應相似或接近[Lan et al., 2017]，且經所有改正之潮位站海水位變化速率為負值在台灣附近海域並不合理，因而推測潮位站資料改正過程出現問題，以下呈現基隆潮位站各項改正前後月平均之時間序列和斜率，成果如圖 14 所示。由各項改正前、後所估算海水位變化速率之差值可知，基準偏移和地表垂直變動改正對於基隆潮位站資料估算海水位變化速率有顯著影響，兩項改正之影響量分別約 1.7 mm/yr 和 5 mm/yr；而逆氣壓效應影響較小，僅為 0.1 mm/yr，小於海水位變化速率標準偏差(0.2 mm/yr)，但逆氣壓效應顯著影響潮位站資料之振幅變化。比較原始基隆潮位資料和基準偏移改正後成果可知，兩數據在 2005 年之後相當一致，主要差異為原始資料於 1998、1999 以及 2001~2003 年時間附近有三處較大資料缺漏，若依照處理程序此三個時間段將被認定需要進行基準偏移改正，導致基準偏移改正後會讓海水位變化速率由 $+2.8 \pm 0.2$ mm/yr 降低至 $+1.1 \pm 0.2$ mm/yr，與衛星測高之海水位變化速率比較，不改正基準偏移之基隆潮位資料斜率會更一致。

原始 2005-2021 基隆潮位站資料之斜率為 $+0.6 \pm 0.6$ mm/yr，遠小於測站地表垂直年平均下陷量(-5 mm/yr)，顯示潮位資料並無受到地表下沉影響，因此目前基隆潮位資料並未改正地表垂直變動速率。由上述可知，基隆潮位資料無法反映出每年 5 mm 之地表下沉量，表示基隆潮位站具有參考基準未釐清問題。另外，比較改正逆氣壓效應前、後之基隆潮位站和衛星測高資料(TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 資料(100 km 測高資料平均))，如圖 15 所示。由圖可知，改正前潮位站年週期振幅遠大於測高資料，改正逆氣壓效應後年週期振幅和測高資料相當一致，相關係數可高達 0.81，因此基隆潮位站資料建議需進行逆氣壓效應改正。綜合以上分析，本研究利用僅改正逆氣壓效應之基隆潮位站資料來計算平均海水位。

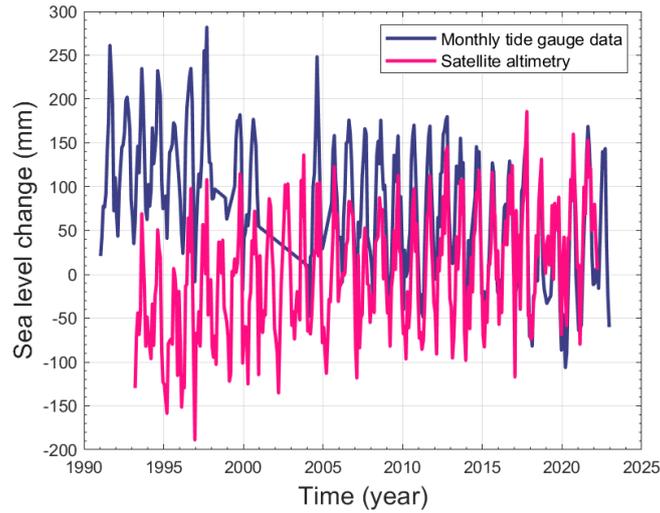


圖 13:基隆海水位變化。藍線為潮位站資料(改正基準偏移、逆氣壓效應以及地表垂直變動)、紅線為衛星測高資料(TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 資料(100 km 內測高資料平均))。

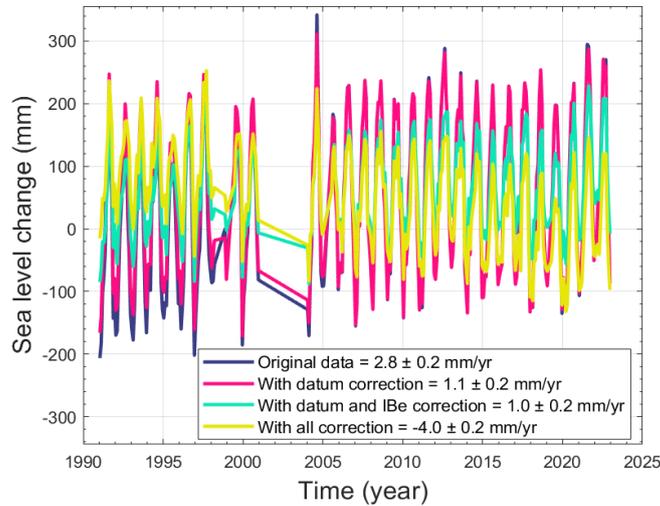


圖 14:各項改正前、後基隆潮位站月平均海水位變化。藍線為潮位站原始月平均變化、紅線為經基準偏移改正之潮位站月平均變化、綠線為經基準偏移和逆氣壓效應改正之潮位站月平均變化、黃線為經基準偏移、逆氣壓效應以及地表垂直變動改正之潮位站月平均變化。

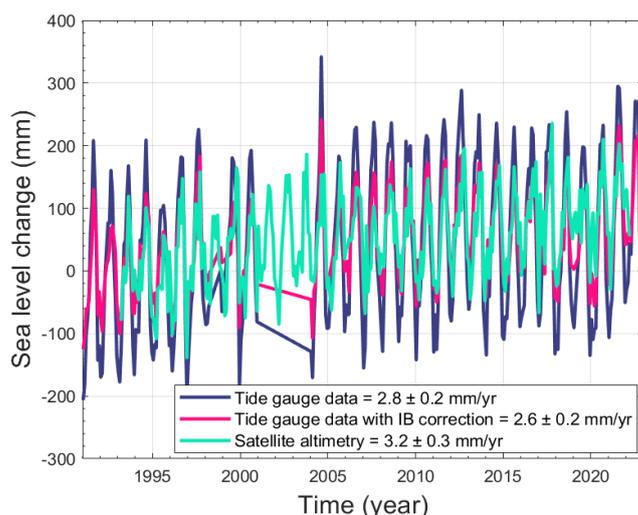


圖 15:基隆潮位站和衛星測高(綠線; TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 資料(100 km 測高資料平均))資料比較。藍線為潮位站原始月平均變化、紅線為經逆氣壓效應改正之潮位站月平均變化。

3.2 衛星測高和潮位站資料比較

本研究使用之基隆附近衛星測高沿岸資料由歐盟 ESA 和法國 AVISO 資料中心下載。資料內容包含網格或沿軌跡點資料，網格資料將選取與潮位站距離最近資料，而沿軌跡點並不適合僅選取距離潮位站最近點資料，因觀測量太少且雜訊較大，無法呈現當地海水位變化；一般而言，鄰近海域海水位變化應相似，因此本計畫將距離潮位站最近沿軌跡點作為基準點，分別將基準點周圍半徑 25 km、50 km 和 100 km 內測高觀測量取平均值作為當地海水位變化，後續與基隆潮位站資料相比較，評估半徑多少內之沿軌跡點測高平均值或是網格最鄰近點測高資料 較適合呈現基隆當地海水位變化。

經逆氣壓效應改正後之基隆潮位站資料和衛星測高資料相比較，成果如表 6 所示。由表可知，ESA、TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 以及 AVISO 網格等資料和基隆潮位站資料較為接近，相關係數為 0.79~0.86，差值標準偏差為 38~48 mm，其中基準點半徑 100 km 內測高觀測量平均值和基隆潮位站資料較一致，相關係數皆超過 0.82，差值標準偏差皆低於 42 mm。然而，ESA 資料涵蓋時間僅 2002~2018 年，遠短於 AVISO 資料時間長度，因此後續分析只使用 AVISO 網格資料與 TP+J1/2/3 沿軌跡點資料(100 km 測高資料平均)和基隆潮位站比較，如圖 16 所示。由圖可知，測高和基隆潮位站資料相當一致，相關係數為 0.83~0.86、差值標準偏差為 38~42 mm，然而 1991~2021 基隆潮位站海水位變化速率為 $+2.6 \pm 0.2$ mm/yr，略低於 TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 資料(100 km 測高資料平均)的 $+3.2 \pm 0.3$ mm/yr 以及 AVISO 網格資料的 $+3.6 \pm 0.2$ mm/yr，由於衛星測高資料並不在基隆潮位站相同位置上進行觀測，因此速率上有些差異實屬合理。由測高結果可知，北台灣周圍海水位變化速率為 $+3 \sim +4$ mm/yr，此速率約等於全球海水位變化速率值 $+3.2$ mm/yr ([SROCC, 2019])。

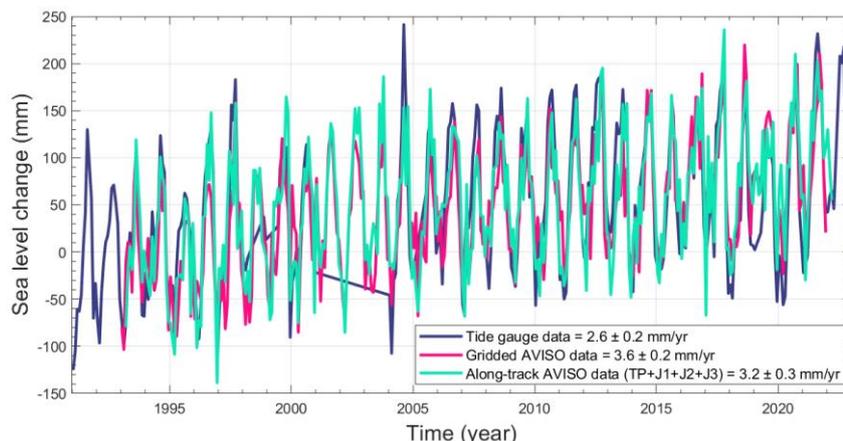


圖 16:基隆潮位站(藍線)和衛星測高資料比較。紅線為 AVISO 網格資料、綠線為 TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 資料(100 km 測高資料平均)。

表 6:各衛星測高月平均海水位變化與基隆潮位站資料比較

資料來源	測高資料 時間段	測高與潮 位站最近 距離(km)	半徑(km)	相關係數	差值標準 偏差 (mm)
ESA	2002-2018	62.8	25	0.79	48
ESA	2002-2018	62.8	50	0.80	44
ESA	2002-2018	62.8	100	0.82	41
AVISO 沿軌跡點資料 (TP+J1+J2+J3)	1993-2022	62.8	25	0.82	47
AVISO 沿軌跡點資料 (TP+J1+J2+J3)	1993-2022	62.8	50	0.84	43
AVISO 沿軌跡點資料 (TP+J1+J2+J3)	1993-2022	62.8	100	0.86	38
AVISO 沿軌跡點資料 (ERS1+ERS2+ENV+SRL)	1992-2016	15.7	25	0.60	74
AVISO 沿軌跡點資料 (ERS1+ERS2+ENV+SRL)	1992-2016	15.7	50	0.71	56
AVISO 沿軌跡點資料 (ERS1+ERS2+ENV+SRL)	1992-2016	15.7	100	0.68	54
AVISO 沿軌跡點資料 (TPN+J1N+J2N)	2002-2017	47.9	25	0.70	54
AVISO 沿軌跡點資料 (TPN+J1N+J2N)	2002-2017	47.9	50	0.69	54
AVISO 沿軌跡點資料 (TPN+J1N+J2N)	2002-2017	47.9	100	0.62	59
AVISO 網格資料	1993-2021	12.8	X	0.83	42

*X 無參數。 **TPN+J1N+J2N:當新測高衛星開始進行觀測任務，舊測高衛星會由原始軌道變換至變軌軌道，變軌軌道觀測的數據後面加上”N”來表示。

水準資料顯示長潭里潮位站參考點(TG997)和新水準原點(K997)間之地表呈現穩定狀態(圖 11)。而本研究亦利用加拿大 CSRS-PPP 進行 2015~2023 長潭里 GNSS 精密單點定位解算，解算成果如圖 17 所示。由圖可知，長潭里 GNSS 解在平面方向上每年約有數公分移動量(E 和 N 方向移動速率分別為 $+4.6\pm 0.02$ cm/yr 和 -1.2 ± 0.003 cm/yr)，而高程每年變動量為 0.3 mm 往上(高程變化速率 $+0.3\pm 0.1$ mm/yr)，表示長潭里潮位站地表高程呈現穩定平穩狀態，此結果和水準檢測成果相符合，故長潭里潮位站僅改正逆氣壓效應和基準偏移。且根據上述基隆潮位站和衛星測高資料比較成果，改正後之長潭里潮位站資料將和衛星測高 AVISO 網格資料與 TP+J1/2/3 沿軌跡點資料(100 km 測高資料平均)相比較，成果如圖 18 所示。由圖可知，TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 及 AVISO 網格等資料和長潭里潮位站資料相當一致，相關係數和差值標準偏差分別為 0.64~0.65 和 54~55 mm，其中 2015~2017 年底間差異較大，推測原因為 2015 年潮位站剛開始運行，觀測儀器需要進行調整，且 2019 年之前潮位站資料未經過氣象署品管處理，故此段時間(2015~2017)資料品質較差。而 2019 年之後長潭里潮位站資料品質較佳(圖 18)，且有經過氣象署品管處理(圖 3)，和 TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 及 AVISO 網格等測高資料之相關係數分別為 0.72 和 0.78，而差值標準偏差分別降至 42 和 39 mm。

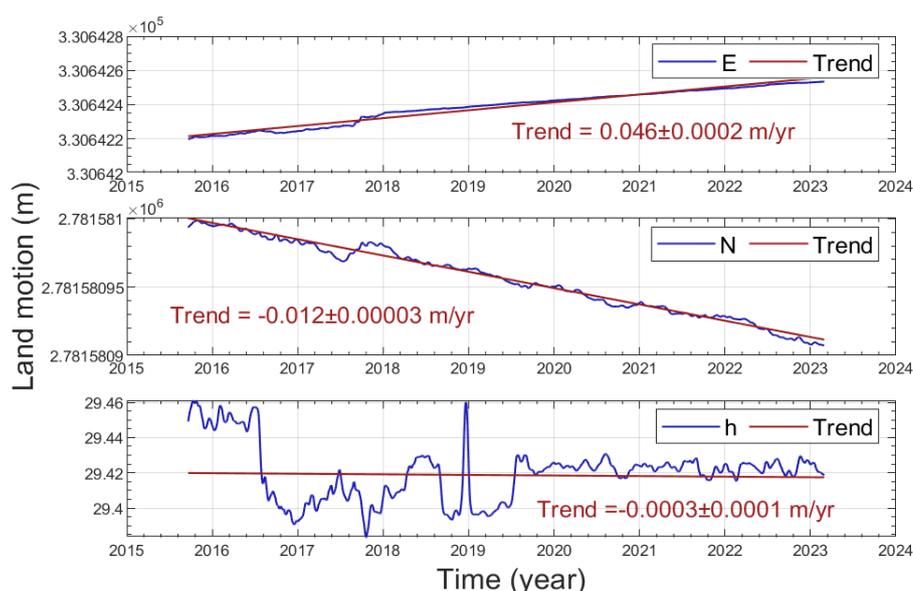


圖 17:長潭里 GNSS 解(藍線)以及擬合斜率(紅線)，其中各方向 GNSS 解皆應用 30 天移動平均進行平滑化。E、N、h 分別表示地理東方、地理北方、橢球高。

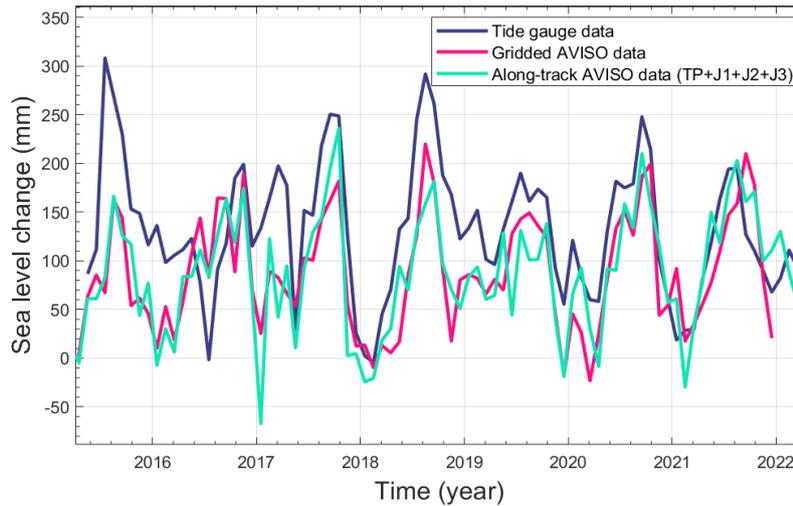


圖 18:長潭里潮位站(藍線)和衛星測高資料比較。紅線為 AVSIO 網格資料、綠線為 TP+J1/2/3 沿軌跡點 AVISO 資料(100 km 測高資料平均)。

3.3 基隆平均海水位計算

欲分析 TWVD2001 水準零點是否已有差異性變化,本研究使用 1991-2022 年後近 30 年基隆潮位站資料,計算不同時期基隆平均海水位高。從 1991 年開始至 2003 年結束,逐年計算每 19 年平均海水位高,以涵蓋時間段之中點做為參考時間。後續使用多參數擬合法時,海表面氣壓和氣溫皆分別相對於時間段中點時刻之一大標準氣壓(1013.25 mbar)和基隆觀測站長時間(1991-2022 年)平均溫度(23 °C)。

圖 19 和表 7 為四種方法計算之平均海水位。由表可知,算術平均法、六參數擬合法、調和分析法以及多參數擬合法計算之各時間段基隆平均海水位高皆非常相近,並顯示不同時間段的基隆平均海水位和 TWVD2001 水準零點有 30-70 mm 的差異性變化,且差異性有逐年變大趨勢。各方法計算之 2004-2022 年(時間中點 2013.5)基隆平均海水位皆高於 TWVD2001 水準零點,四種方法計算之平均海水位的平均值為 67.3 mm。另四種方法計算之 2019-2022(時間中點 2013.5)平均海水位的平均值為 36.5 mm (表 7),與其他平均值有明顯不同,主要造成原因為潮位資料時間段太短,受到 2020 年海水為明顯偏低的影響(圖 16)。

表 8 為多參數擬合法[劉啟清, 1998]計算每時間段基隆潮位站資料之擬合參數和其標準偏差,並對於擬合參數進行顯著性測試。由表可知,各時間段平均海水位高參數皆顯著,且標準偏差皆在 1.1 mm 以下,而各時間段氣壓擬合參數介於-11.0~-10.6 mm/mbar,此參數接近逆氣壓效應公式(式(1))中尺度因子-9.948[Dalrymple et al., 2012],雖然仍約有 1 mm/mbar 差值,原因為多參數擬合法中潮汐年週期和半年週期等參數會些微影響氣壓擬合參數,因此氣壓擬合參數和逆氣壓效應之尺度因子有些微差異應屬合理。而降水量、溫度、分潮 M_f 和 M_m 等參數在擬合各時間段基隆站資料時多為不顯著(表 8),其中分潮 M_f 和 M_m 為週期訊號,對於平均海水位計算影響較小,而降水量和溫度變化對於日平均基隆海水位的影響,在部分時間段的擬合參數是顯著的,但是其量值非常小,未來計算基隆平均海水位時可忽略此兩個參數。

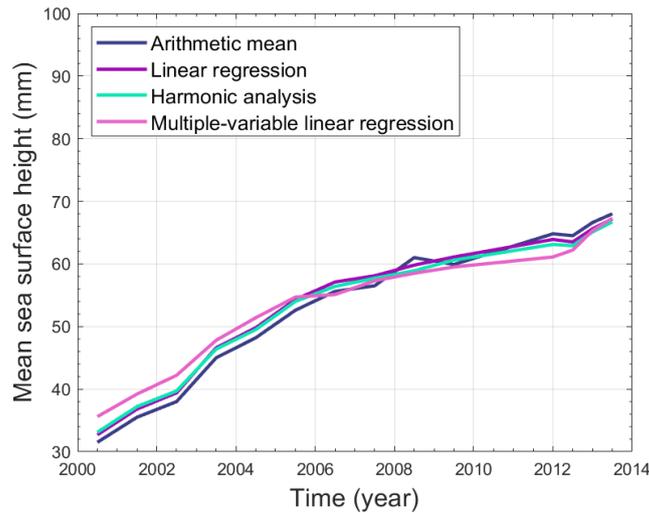


圖 19:四種方法計算之平均海水位高。藍線為算術平均法、紫線為六參數擬合法、綠線為調和分析法、粉紅線為多參數擬合法[劉啟清，1998]。

表 7:四種方法計算之基隆潮位站平均海水位高

時間中點	時間段	平均海水位高 (mm)				
		算術平均法 (月平均資料)	六參數擬合法 (月平均資料)	調和分析法 (逐時資料)	多參數擬合法 (日平均資料)	四種方法 平均值
2000.5	1991-2009	31.5	32.7±2.5	33.1±0.2	35.6±1.0	33.2
2001.5	1992-2010	35.5	36.8±2.5	37.2±0.2	39.2±1.0	37.2
2002.5	1993-2011	38.0	39.4±2.5	39.7±0.2	42.2±1.0	39.8
2003.5	1994-2012	45.0	46.6±2.6	46.4±0.2	47.8±1.0	46.5
2004.5	1995-2013	48.2	49.8±2.6	49.5±0.2	51.4±1.1	49.7
2005.5	1996-2014	52.6	54.3±2.7	54.0±0.2	54.7±1.1	53.9
2006.5	1997-2015	55.6	57.1±2.7	56.4±0.2	55.1±1.1	56.1
2007.5	1998-2016	56.5	58.1±2.7	57.7±0.2	57.3±1.1	57.4
2008.5	1999-2017	61.0	59.8±2.7	58.9±0.2	58.5±1.0	59.6
2009.5	2000-2018	59.9	61.1±2.7	60.6±0.2	59.5±1.0	60.3
2012.0	2001-2019	64.8	63.9±2.7	63.1±0.2	61.1±1.0	63.2
2012.5	2002-2020	64.5	63.5±2.6	62.9±0.2	62.2±1.0	63.3
2013.0	2003-2021	66.6	65.6±2.6	65.1±0.2	65.3±1.0	65.7
2013.5	2003-2022	68.0	67.2±2.5	66.7±0.2	67.3±0.9	67.3
2019.15	2019-2022	34.6	34.7±10.5	37.3±0.8	39.4±3.6*	36.5
2019.15	2015-2022	70.9	68.9±4.0	70.7±0.4	68.2±1.6*	69.7
2019.15	2004-2022	77.6	74.2±2.5	73.9±0.2	84.0±1.6/ 75.4±1.3*	77.4/75.3*
2019.15	1991-2022	83.3	80.7±3.2	80.1±0.3	83.8±1.1	82.0
2022.0	1991-2022	91.7	88.3±3.6	87.6±0.3	92.0±1.3	89.9

*無計算分潮 M_N (18.6 年)參數。

表 8: 多參數擬合法計算之基隆潮位站參數成果與顯著性測試

參數	2000.5	2001.5	2002.5	2003.5	2004.5	2005.5	2006.5	2007.5	2008.5	2009.5	2010.5	2011.5	2012.5	2013.5
截距(mm)	35.6±1.0	39.2±1.0	42.2±1.0	47.8±1.0	51.4±1.1	54.7±1.1	55.1±1.1	57.3±1.1	58.5±1.0	59.5±1.0	61.1±1.0	62.2±1.0	65.3±1.0	67.3±0.9
斜率 (mm/year)	4.6±0.2	4.0±0.2	3.5±0.2	4.0±0.2	4.4±0.2	3.2±0.2	0.7±0.2	1.5±0.3	2.3±0.2	1.1±0.3	-1.5±0.4	0.3±0.4*	2.6±0.3	3.0±0.2
氣壓 (mm/mbar)	-10.8±0.3	-10.6±0.3	-10.9±0.3	-11.0±0.3	-10.9±0.3	-11.0±0.3	-10.9±0.3	-10.8±0.3	-10.7±0.3	-10.6±0.3	-10.6±0.3	-10.7±0.3	-10.7±0.3	-10.8±0.3
降水量	0.2±1.0*	1.1±1.0*	1.6±0.9*	1.6±1.0*	2.0±1.0	1.8±1.0*	1.7±1.0*	1.7±1.0*	2.5±1.0	2.7±1.0	3.4±1.0	3.7±1.0	3.6±1.0	3.5±1.0
溫度 (mm/°C)	-0.8±0.5*	-0.7±0.5*	-0.5±0.5*	-0.5±0.5*	-0.4±0.5*	-0.7±0.5*	-1.0±0.5	-0.5±0.5*	-0.3±0.5*	0.0±0.5*	0.1±0.5*	0.0±0.5*	-0.1±0.5*	0.1±0.5*
M _f (mm)	3.5±1.2	3.1±1.2	2.3±1.2*	2.2±1.2*	2.6±1.2	2.6±1.3	2.8±1.3	2.3±1.3*	2.4±1.3*	2.6±1.2	1.7±1.3*	1.1±1.2	1.3±1.2*	1.4±1.2*
M _m (mm)	0.8±1.2*	0.7±1.2*	0.7±1.2*	0.3±1.2*	1.0±1.2*	1.6±1.3*	1.3±1.3*	0.6±1.3*	0.4±1.3*	0.3±1.2*	0.4±1.3*	0.7±1.2*	1.0±1.2*	1.4±1.2*
S _{sa} (mm)	13.5±1.2	12.9±1.2	12.8±1.2	12.5±1.2	11.2±1.2	12.4±1.3	12.5±1.3	11.6±1.3	14.2±1.3	13.7±1.2	12.6±1.3	11.7±1.2	11.6±1.2	13.2±1.2
S _a (mm)	83.7±2.4	84.3±2.3	84.3±2.3	83.8±2.4	83.4±2.4	87.3±2.5	86.7±2.5	82.4±2.5	83.1±2.5	81.9±2.5	81.6±2.5	82.4±2.4	84.4±2.4	81.8±2.3
M _N (mm)	8.3±1.6	6.7±1.5	7.4±1.4	7.4±1.8	10.0±2.0	4.0±1.3	17.2±2.1	12.2±2.1	8.1±1.6	14.3±1.6	21.0±2.0	14.6±1.3	15.9±1.8	16.9±1.7

*未通過 95%信心水準之顯著性測試。

3.4 長潭里平均海水位計算

長潭里平均海水位高計算，將以資料涵蓋時間段之中點(2019.15)做為參考時間。使用多參數擬合法時，參數設定方式和基隆平均海水位計算相同。

本研究使用 2015-2022 年長潭里潮位站資料計算平均海水位高，然而資料僅涵蓋 7~8 年(短於 18.6 年)，因此計算平均海水位時需改正節點潮。我們分別引入和未加入節點潮改正參數於調和分析法(式(3))計算平均海水位，結果顯示兩平均海水位的差值僅 0.1 mm，表示節點潮改正對於利用 2015-2022 年長潭里潮位站資料計算平均海水位影響很小。另外，我們利用多參數擬合法計算長潭里潮位資料之平均海水位，計算參數結果如表 9 所示。由表可知，雖然分潮 M_N 通過 95%信心水準之顯著性測試，但 M_N 振幅之標準偏差為 17.7 mm，相較於基隆潮位站資料之 M_N 振幅之標準偏差 1.3~2.1 mm(表 8)，此誤差量並不合理；而且長潭里潮位站資料涵蓋僅 7~8 年，未到分潮 M_N 周期(18.6 年)之一半，強迫擬合長周期訊號，容易產生混疊效應(aliasing effect)而影響其他參數估計，例如長潭里潮位站之海水位變化速率達 -9.5±8.1 mm/yr；當分潮 M_N 自多參數擬合法中移除時，長潭里海水位速率降至 -3.6±0.6 mm/yr(表 9)，與六參數擬合之海水位變化速率(-5.6±3.0 mm/yr)較一致，因此後續利用多參數擬合計算長潭里平均海水位高不考慮節點潮週期訊號。

表 10 為利用四種方法計算 2015~2022 長潭里潮位站資料之平均海水位。由表可知，算術平均法、六參數擬合法、調和分析法以及多參數擬合法計算之長潭里平均海水位皆非常相近，並顯示長潭里平均海水位高於 TWVD2001 水準零點約 121.0 mm；此外為了與長潭里平均海水位比較，我們也利用四種方法計算 1991-2022 年和 2004-2022 年基隆潮位站資料(時間中點 2019.15)之平均海水位，其平均值為 82.0 和 75.3 mm，分別與長潭里平均海水位相差 39.0 和 45.7 mm，造成差異原因可能是長潭里潮位站資料涵蓋時間較短且資料品質較差、兩潮位站海水面地形不一樣、基隆

潮位站參考基準未釐清(如基隆潮位資料無法反映出每年 5 mm 之地表下沉量)等所導致。

另外，若使用長潭里潮位站品質較佳的時間段(2019-2022)資料計算平均海水位，四種方法計算長潭里平均海水位(時間中點 2019.15)為 122.8~129.9 mm (表 10)，造成極端差值 7.1 mm (最大和最小之差值)之主要原因是計算平均海水位時，需利用擬合的海水位變化速率並推算平均海水位高至相同中點時間(2019.15)，而短期資料計算海水位速率的不確定量較大，容易導致不同方法計算之平均海水位高有些差距。另外，以 2019-2022 長潭里潮位站資料計算平均海水位的平均值為 127.8 mm，和 2015~2022 長潭里平均海水位平均值有 6.8 mm 的差異，表示長潭里潮位站資料涵蓋時間較短且資料品質較差會造成平均海水位計算上之差距。

表 9:多參數擬合法計算之長潭里潮位站參數成果與顯著性測試

參數	2019.15	2019.15
截距(mm)	99.1±5.1	120.4±1.8
斜率(mm/year)	-9.5±8.1*	-3.6±0.6
氣壓(mm/mbar)	-10.8±0.5	-10.7±0.5
降水量	5.0±1.7	4.9±1.7
溫度(mm/°C)	-0.3±0.8*	0.0±0.8*
M _f (mm)	3.6±2.0*	3.5±2.0*
M _m (mm)	3.7±2.0*	3.6±2.0*
S _{sa} (mm)	19.8±2.1	20.6±2.1
S _a (mm)	64.2±4.8	62.2±4.7
M _N (mm)	35.6±17.7	X

*未通過 95%信心水準之顯著性測試。X 無計算該參數。

表 10:四種方法計算之長潭里潮位站平均海水位高

時間中點	時間段	平均海水位高 (mm)				四種方法平均值
		算術平均法 (月平均資料)	六參數擬合法 (月平均資料)	調和分析法 (逐時資料)	多參數擬合法 (日平均資料)	
2019.15	2015-2022	122.1	120.5±5.6	121.1±0.3	120.4±1.8*	121.0
2019.15	2019-2022	122.8	128.7±9.9	129.8±0.7	129.9±3.4*	127.8

*無計算分潮 M_N(18.6 年)參數。

四、結論與建議

本研究中基隆和長潭里潮位站紀錄、衛星測高以及氣象模型等資料皆與當地或是鄰近觀測站資料相互比對進行資料檢核，確保資料準確及一致性，基隆潮位站資料最後僅改正逆氣壓效應，而長潭里潮位站資料經逆氣壓效應和基準偏移改正，做為後續研究資料。本研究利用四種方法分別計算基隆潮位站和長潭里潮位站之平均海水位高，並比較分析。成果總結和建議如下，

(1). 四種方法計算之平均海水位皆相近，因此將四種方法計算平均海水位高取平均

值，做為後續分析使用。

- (2). 各時間段基隆平均海水位皆高於 TWVD2001 水準零點約 33.2~67.3 mm，2004-2022 年(時間中點 2013.5)比 TWVD2001 水準零點高 67.3 mm，故現今基隆平均海水位與 TWVD2001 水準零點已有顯著差異變化。
- (3). 2015-2022 年(時間中點 2019.15)長潭里平均海水位比 TWVD2001 水準零點高 121.0 mm。另外，本研究亦利用 1991-2022 年和 2004-2022 年基隆潮位站資料分別計算時間中點 2019.15 之平均海水位為 82.0 和 75.3 mm，與長潭里平均海水位相差 39.0 和 45.7mm，此差值可能是長潭里潮位站資料涵蓋時間較短(約 7~8 年)且前期資料品質較差、兩潮位站海水面地形不同、基隆潮位站參考基準未釐清(如基隆潮位資料無法反映出每年 5 mm 之地表下沉量)等所導致。
- (4). 本研究利用加拿大 CSRS-PPP 進行 2015~2023 長潭里 GNSS 精密單點定位解算。由成果可知，長潭里 GNSS 高程變化速率為 0.3 ± 0.1 mm/yr，與歷年「高程基準檢測工作」報告[內政部國土測繪中心，2023b]相符，長潭里潮位站參考點(TG997)和鄰近新水準原點(K997)之地表高程皆呈現穩定狀態。
- (5). 根據歷年「高程基準檢測工作」報告，自民國 87 年(西元 1998 年)起，基隆潮位站水準點(TG01)和鄰近水準點(K021)相對於 K999 皆持續呈現穩定下陷，年平均下陷量約 5 mm [內政部國土測繪中心，2023b]，然而基隆潮位站資料並無明顯受地表下陷量影響(圖 14)，顯示這兩個數據並不一致，建議國土測繪中心每年在進行潮位站高程基準檢測工作時，可在潮位站水準點和鄰近水準點上進行 GNSS 觀測，用來釐清觀測資料之差異性。
- (6). 若要以長潭里潮位站資料計算精確之水準零點，建議能收集更長期穩定之海水位觀測資料，如資料缺漏短、基準偏移處少。
- (7). 本研究計算之基隆潮位站水準零點已有變化，基隆平均海水位隨著時間持續變高，目前基隆平均海水位(時間中點 2022)比 TWVD2001 水準零點高 89.9 mm。後續建議邀請國內專家學者針對水準零點進行研析討論，針對水準零點是否修正方式進行研商。

致謝

本研究為內政部國土測繪中心委託研究計畫「112 年度融合多元感測成果精進臺灣高程基準委託研究」之一部分，對於研究經費之支持，謹此致謝。

參考文獻

- 內政部，2020，我國近岸平均海水面與海潮模式精進工作案第四期成果期末報告。
- 內政部，2022，垂直基準面時變精度檢核評估工作案細部計畫書。
- 史天元，2016，基隆臺灣水準原點，*地籍測量*，35(1)，第1-14頁。
- 內政部國土測繪中心，2022，111年臺灣一等水準網水準測量成果說明。

- 內政部國土測繪中心，2023a，112年度融合多元感測成果精進臺灣高程基準委託研究成果報告。
- 內政部國土測繪中心，2023b，111 年度「高程基準檢測工作」報告。
- 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎，2015，臺灣四周海域長期性之海水面變化趨勢評估，交通部港灣技術研究中心。
- 張憲國、史天元，2022，最低天文潮位計算標準作業程序探討，國土測繪與空間資訊，10(1)，第1-19頁。
- 劉啟清，1998，台灣地區驗潮站長期監測資料之計算及高程基準網之建立工作，內政部。
- Cazenave A., Y. Gouzenes, F. Birol, F. Legér, M. Passaro, F.M. Calafat, A. Shaw, F. Niño, J.F. Legeais, J. Oelmann, and J. Benveniste, 2022, New network of virtual altimetry stations for measuring sea level along the world coastlines, *SEANOE*, doi:10.17882/74354.
- Ching, K.E., M.L. Hsieh, K.M. Johnson, K.H. Chen, R.J. Rau, and M. Ying, 2011, Modern vertical deformation rates and mountain building in Taiwan from precise leveling and continuous GPS observations, 2000–2008, *J. Geophys. Res.*, 116, doi:10.1029/2011JB008242.
- Dalrymple, R.A., L.C. Breaker, B.A. Brooks, D.R. Cayan, G.B. Griggs, W. Han, B.P. Horton, C.L. Hulbe, J.C. McWilliams, P.W. Mote et al., 2012, Sea-Level Rise for the Coasts of California, Oregon, and Washington: Past, Present, and Future, The National Academies Press: Washington, DC, USA, 1–217.
- Foreman, M.G.G., J.Y. Cherniawsky, and V.A. Ballantyne, 2009, Versatile Harmonic Tidal Analysis: Improvements and Applications, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26(4), 806-817, doi:10.1175/2008JTECHO615.1.
- Haigh, I., M. Eliot, and C. Pattiaratchi, 2011, Global influences of the 18.61 year nodal cycle and 8.85 year cycle of lunar perigee on high tidal levels, *Journal of Geophysical Research*, 116, C06025, doi:10.1029/2010JC006645.
- Hersbach, H., B. Bell, P. Berrisford, G. Biavati, A. Horányi, J. Muñoz Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, I. Rozum, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, D. Dee, and J.N. Thépaut, 2018, ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), doi:10.24381/cds.adbb2d47.
- Iliffe, J.C., M.K. Ziebart, J.F. Turner, A.J. Talbot, and A. P. Lessnoff, 2013, Accuracy of vertical datum surfaces in coastal and offshore zones, *Survey Review*, 45(331), 254–262, doi:10.1179/1752270613Y.0000000040.
- Lan, W.H., C.Y. Kuo, H.C. Kao, L.C. Lin, C.K. Shum, K.H. Tseng, and J.C. Chang, 2017, Impact of Geophysical and Datum Corrections on Absolute Sea-Level Trends from Tide Gauges around Taiwan, 1993–2015, *Water*, 9.
- Pugh, D., 1987, *Tides, Surges, and Mean Sea Level*, John Wiley, New York.

SROCC, 2019, IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds H-O Pörtner et al.). In press.

非破壞性空間科學技術應用於橋梁檢測之研究

黃立信^{1*} 徐義凱²

論文收件日期：113.05.29

論文修改日期：113.08.02

論文接受日期：113.08.23

摘要

傳統的橋梁檢測，主要依賴土木工程人員進行目視檢測和非破壞檢測評估橋梁的狀態。本研究係以測量人員的角度出發，利用多元化空間科學的技術，運用非破壞檢測方式進行橋梁檢測工作。透過結合目視檢測、多星系衛星定位檢測、傾斜儀檢測和3D LiDAR光學掃描等技術，藉以檢測大溪橋和武嶺橋及其結構健康診斷。

本次研究之方向可大致歸納為以下：

1. 傳統方式(目視)檢測橋梁。
2. 多星系觀測系統進行控制點位測量。
3. 傾斜儀實施振動檢測。
4. 3DLiDAR儀器掃描並建立數位模型。
5. 各式空間科學觀測資料數據比對。
6. 整體橋梁健康檢測報告。

本研究的目標是運用這些先進的檢測技術，對橋梁進行全面的評估和分析。透過整合不同的檢測方法，我們預期可以獲得更多元且具有高度精確性的橋梁資料，並為橋梁的維護與管理提供重要的參考依據，進而確保用路人的安全。綜合本實驗之數據來做判定，兩座橋梁現階段(2023年)的健康診斷結果，大致結構部分皆為“健康”範圍。

關鍵詞：3D LiDAR、目視檢測、多星系衛星定位、非破壞檢測、結構健康診斷、傾斜儀檢測、橋梁檢測

¹ 副教授，國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

² 碩士，國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

*通訊作者，TEL：+886-3-3800364#132，E-mail：shinn0329@gmail.com。

A Study on the Application of Non-Destructive Testing of Space Science and Technology for Bridge Inspection

Lih-Shinn Hwang^{1*} Yi-Kai, Hsu²

Abstract

Traditional bridge inspection rely primarily on civil engineering staff using visual inspection and non-destructive testing to assess the condition of bridges. This research is based on the surveyor's point of view, using diversified space science technology and Non-Destructive Testing(NDT) to execute the duty of bridge inspection.

By combining visual inspection, multi-satellite Positioning measurement, inclinometer testing and 3D LiDAR laser scanning and other technologies, the date is analysed for the structural-health-diagnosis of Daxi Bridge and Wuling Bridge.

The direction of this research can be summarized as follows:

1. Traditional (visual) inspection of bridges.
2. Multi-Satellite Positioning for control point measurement.
3. Inclinometer implemaitation for vibration testing.
4. 3D LiDAR laser scanning and buildings a digital model.
5. Comparison of various space science observation data.
6. Overall bridge Structural-Health-Diagnosis report.

The study's goal is to perform a comprehensive assessment and analysis of the bridge using these advanced inspection techniques. By integrating different testing methods, we expect to obtain more diverse and highly accurate bridge data and provide important references for bridge maintenance and management, thereby ensuring the safety of passers-by.

Keywords: Bridge Inspection, Non-Destructive Testing, Visual Inspection, Multi-Satellite Positioning, Inclinometer Testing, 3D LiDAR, Structural-Health-Diagnosis

¹ Associate Professor, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T.

² Master, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T

*Corresponding Author, TEL: +886-3-3800364#132, E-mail: shinn0329@gmail.com

一、前言

(一) 研究動機

橋梁是跨越峽谷、山谷、道路、鐵路、河流、其他水域或其他障礙而建造的結構，是一種由地面突出來的高架，用來構成兩地的交通。其主要目的為允許人、車等穿過障礙，以滿足交通之需要。目前全國橋梁結構數量已達1萬1千多座，現今規劃因多以橋代路，全國公路橋梁數量仍持續增加中。為維持橋梁結構達設計使用目的及人車安全，橋梁結構之定期檢測與維護作業，已成橋梁管理單位重要日常工作(張嘉峰等，2018)。

橋梁依其構型主要分為吊橋、拱式橋、桁架橋、梁式橋、組合橋、斜張橋與鋼架橋等。目前台灣大部分橋梁皆面臨老劣化之問題，加上台灣屬於多地震國家，一旦發生地震等大規模天然災害時，橋梁倒塌或斷裂的機率很高。為避免災害發生時，造成橋梁損壞導致交通中斷、居民受困甚或是人員傷亡等事件的發生，對現有橋梁進行全面檢測勢在必行(鄭明淵等，2013)。民國 80 年以前竣工之橋梁有7,926 座，這些橋梁齡均在 26 年以上，佔總橋數的 41%，4 年之後，民國 80 至 90 年建設高峰期竣工的橋梁，便會慢慢成為橋齡30年以上之橋梁，橋梁 30 年以上之橋梁所佔之比例會快速增加，橋梁管理及維護之工作量及經費勢必隨之增長(張舜孔等，2013)。早期國內鋪設之橋梁大部分屬於鋼筋混凝土結構，橋梁應適宜的維護保養檢查，可有效延長橋梁的使用年限，減少災害之發生。

(二) 研究目的

綜整以上原因，本研究目的概分為以下幾點：

- 1.運用DER&U法目視檢測橋梁情形。
- 2.使用多星系觀測系統進行控制點位測量，檢測橋梁位移情形。
- 3.運用傾斜儀實施橋梁振動檢測。
- 4.使用3D LiDAR儀器掃描並建立數位模型。
- 5.將各式空間科學觀測資料進行數據比對。
- 6.依各數據綜整提出整體橋梁健康檢測報告。

(三) 研究流程

本研究流程主要可分為以下部分，首先是本次研究動機與目的、蒐集與探討有關文獻、研究區域及研究方法的選定，選擇目視檢測點：第一部分為使用衛星定位量測，同一點位區分e-GNSS測量及靜態測量，並計算偏差值；第二部分為使用傾斜儀量測，將儀器放置大溪橋與武嶺橋，透過現地量測獲得觀測值；第三部分為使用3D光達量測，透過光達儀器的攝影機與掃描獲得的點雲，進行套疊作業，建立數位模型。再將各階段的量測數據進行成果精度分析、橋梁檢測分析，最後提供結論與建議，研究流程如圖1所示。

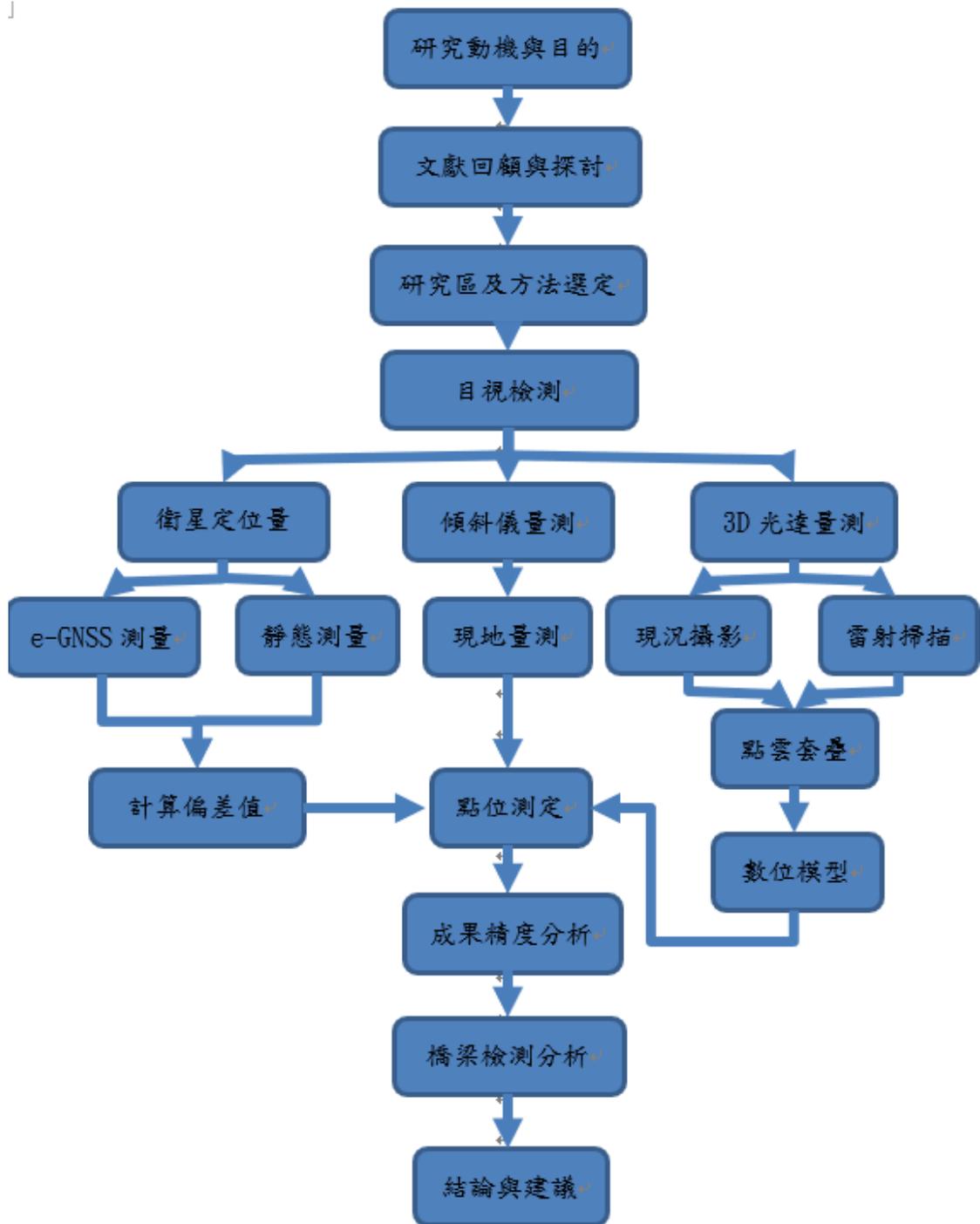


圖 1 研究流程圖

二、理論基礎

(一) 橋梁現況分析

現行公路橋梁檢測及補強規範係著重於一般性橋梁之檢測及補強，對於特殊性橋梁則由公路養護管理機關、公路養護單位依橋梁特性、現地狀況及養護條件另訂檢測及養護規定。但鑑於南方澳跨港大橋斷橋事件，實有必要針對特殊性橋梁之檢測及補強訂定原則性規定，為落實橋梁養護及維護公眾通行安全，依據行政院中華民國 109 年 7 月 21 日新頒「橋梁維護管理作業要點」(行政院，2020)交通部中華民國 109 年 1 月 3 日新頒「公路橋梁檢測及補強規範」(交通部，2020)，管理機關公路總局對橋梁定期檢測頻率，是以上規範規定頻率 2 年 1 次辦理，針對重要且易受颱風影響橋梁，加密定期檢測頻率，如感潮河段(國家教育研究院，2020)或預鑄節塊(國家教育研究院，2020；王潤台等，2010)橋梁，每年辦理定期檢測 1 次及跨河橋 2 年辦理定期檢測 4 次。

臺灣本島橋梁建設在上世紀 70 年代經政府推展多項重要建設，致使經濟快速發展，多數地區鐵路橋梁皆已設置完畢，當時設計規範使用年限，僅為使用 50 年左右之設計標準。先期建設橋梁大多屬鋼筋混凝土結構，據調查橋齡超過 20 年者逾 7 成，超過 40 年者逾 1 成，未來橋梁將面臨老化速率加快的問題，政府宜及早綢繆，督導地方政府因應對策。又依其橋梁種類可分為車行橋梁、鐵道橋梁與人行天橋。依據交通部運輸研究所統計報告指出，截至今年 2 月 23~28 日止，橋梁使用類型統計(包含車行橋、鐵道橋及人行橋) 2 萬 5957 座，其中正常使用 2 萬 5663 座、維修中 140 座及停用 154 座；另有鋼索型橋梁 354 座，正常使用 348 座、維修中 3 座及停用 3 座。[備註：為公眾通行，總長達六公尺且跨越地面、水面、道路或軌道之結構物(不含箱涵或管涵等)]，如表 1 (全國橋梁資訊網，2023) 所示。

表 1 橋梁使用狀態統計表

橋梁類別	所有橋梁			鋼索型橋梁		
	正常使用	維修中	停用	正常使用	維修中	停用
車行橋梁	22,827	127	23	162	3	0
鐵道橋梁	1,233	13	86	4	0	0
人行天橋	1,603	N/A	45	182	N/A	3
小計	25,663	140	154	348	3	3
合計	25,957			354		

(二) 橋梁構件與系統

橋梁系統可歸納以下 4 種主要構件：

1. 橋面板，是安全且平整的路面可供車輛或行人使用，其功能在傳遞靜載重與活載重至其它橋梁構件；台灣常用的橋面板以材質可分為混凝土橋面板與鋼橋面板等 2 種。
2. 上部結構，為橋梁主要承重結構，功能在於支撐橋面荷載，並將荷重傳遞到下部結構；台灣常用上部結構多為混凝土結構、鋼結構及混凝土與鋼組合之複合結構；結構形式依載重傳遞可分為梁結構、拱結構及鋼纜支撐結構 3 種。
3. 支承，為橋梁主要承重結構，功能在於支撐橋面荷載，並將荷重傳遞到下部結構；台灣常用上部結構多為混凝土結構、鋼結構及混凝土與鋼組合之複合結構；結構形式依載重傳遞可分為梁結構、拱結構及鋼纜支撐結構 3 種。
4. 下部結構，為支撐上部結構之構件，傳遞上部結構之荷重經由墩柱基礎分散至地面承重層；下部結構可分為橋台與橋墩。

(三) 橋梁檢測項目

一般橋梁檢測計有引道路堤等 21 項，另橋塔或拱圈等 3 項，係針對特殊橋梁制定，表 2 則為作者整理出來之橋梁檢測項目。

表 2 橋梁檢測項目

檢測項目		
1.引道路堤	2.引道護欄	3.河道
4.引道護坡	5.橋台基礎	6.橋台
7.翼牆/擋土牆	8.摩擦層	9.橋面排水設施
10.緣石與人行道	11.欄杆與護牆	12.橋墩保護措施
13.橋墩基礎	14.橋墩墩體	15.支承(墊)
16.止震塊/拉桿	17.伸縮縫	18.主構件(大樑)
19.副構件(橫隔架)	20.橋面板	21.其他
22.橋塔或拱圈	23.鋼纜	24.吊材或立柱

(四) 檢測評估準則

目視檢測類似中醫看診法的「望、聞、問、切」中的望，也就是用眼睛看看橋梁的氣色如何，再依據經驗判斷是否須做進一步的儀器檢測。現行橋梁檢測評估準則，多以目視檢測，並用 DERU 方式進行評定；劣化程度(D)、劣化範圍(E)、劣化情形對橋梁結構影響性(R)，等三項評定後，再評估該劣化構件需維修之急迫性(U)，如表 3 所示。

表 3 DER&U 評估準則

類型	說明	評分等第				
		0	1	2	3	4
D (Degree)	嚴重程度	無此項目	良好	尚可	差	嚴重
E (Extend)	受損範圍	無法檢測	<10%	<30%	<60%	大於 60%
R (Relevancy)	安全影響程度	無法判定重要性	微	小	中	大
U (Urgency)	維修急迫性	無法判定急迫	例行養護	3 年內維護或持續追蹤	1 年內維護	封橋並處置

(五) 橋梁振動檢測

通常雷射位移計就是利用散射式反射原理而設計，並採用雷射三角法原理 (Triangulation) 做量測應用。雷射光束投射在任一表面產生光點，部分的雷射光自表面上散射 (Scattering)，然後經過透鏡的聚焦後投影於光檢測器上。光學三角法已使用在機器手臂之距離感測器 (Distance Sensors) 及三度空間的輪廓量測系統上，若此待測表面作一上下 Δy 的位移量，則光點沿著雷射光束的路徑方向移動，因此也造成檢測器上的光點沿檢測器作一 Δx 的位移。其中 Δy 與 Δx 成正比。這種在檢測器上影像的位移就可以決定出表面的位移量，如圖 2 所示。俾將來應用在高低起伏的自由曲面外形量測時，可以量測出表面上各點的位置。

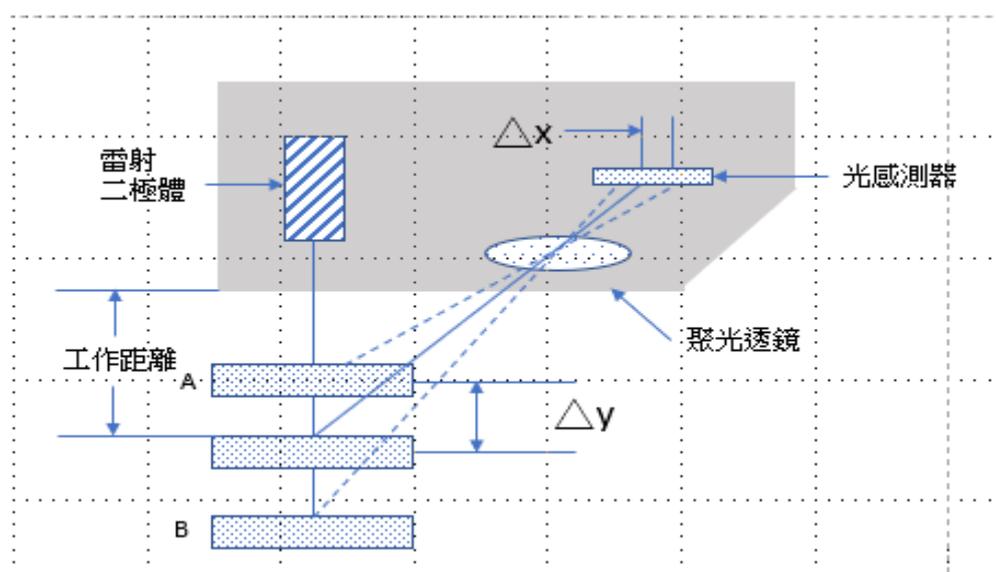


圖 2 光學式位移感測器原理

(六) 光學檢測

光達 (Light Detection And Ranging, LiDAR) 光達技術之做動，可想像使用者站於暗房內，獲知環境唯一手段為利用手中棍子觸碰四周物體。經棍子多點碰觸

後，使用者應該可勾勒出腦海中周圍環境之輪廓，如：椅子、門等。而光達傳播雷射以非接觸之方式偵測環境，就如同類似以使用者手中棍子一點一點地碰觸，產製「點雲」(Pointcloud)3D 坐標資料。待擁夠多之點雲資訊，係可生成完整 3D 空間環境圖(黃韋凱等，2020)，作用原理如圖 3 所示。

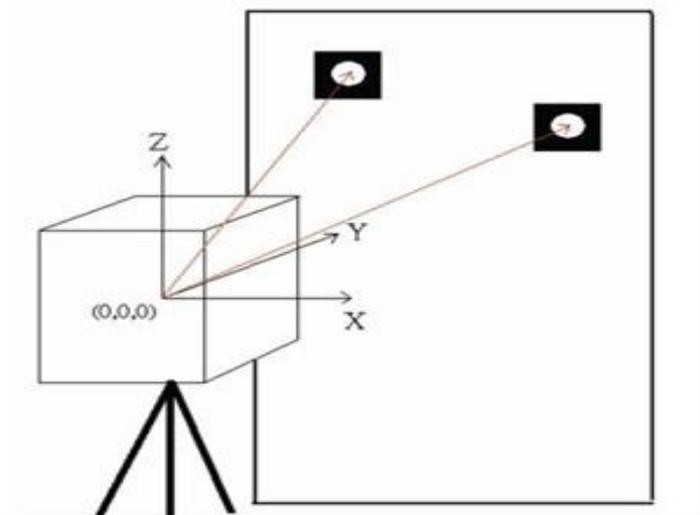


圖 3 光達點雲原理

三、研究方法

(一) 實驗區選定

桃園市大溪區以大漢溪為界分為河東地區與河西地區，其中台 3 線、台 4 線及台 7 線為主要幹道，而武嶺橋、大溪橋與崁津橋為連結河東與河西地區之重要橋梁。黃框區域為大溪橋、紅框區域為武陵橋，如圖 4 所示。

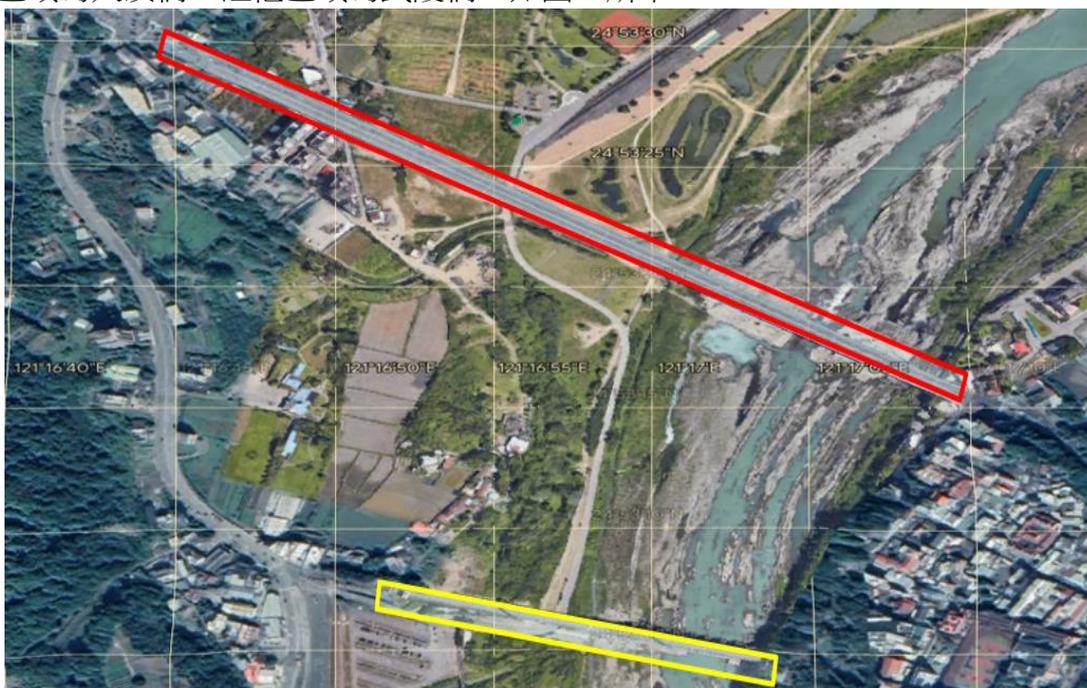


圖 4 研究區域示意圖[圖資來源:Google Earth]

(二) 選定外部圖根點及檢核點

控制點部分使用桃園市政府測量控制點資訊查詢管理系統所公告之點位資料以做為比較之參考，環域內加密控制點共計 16 點以上，於大溪橋及武嶺橋各佈設 3 個內部控制點，另在其周邊地區運用桃園市政府加密控制點 8 點及水準點 2 點進行聯測，以求得 TWD97 坐標。如圖 5 所示

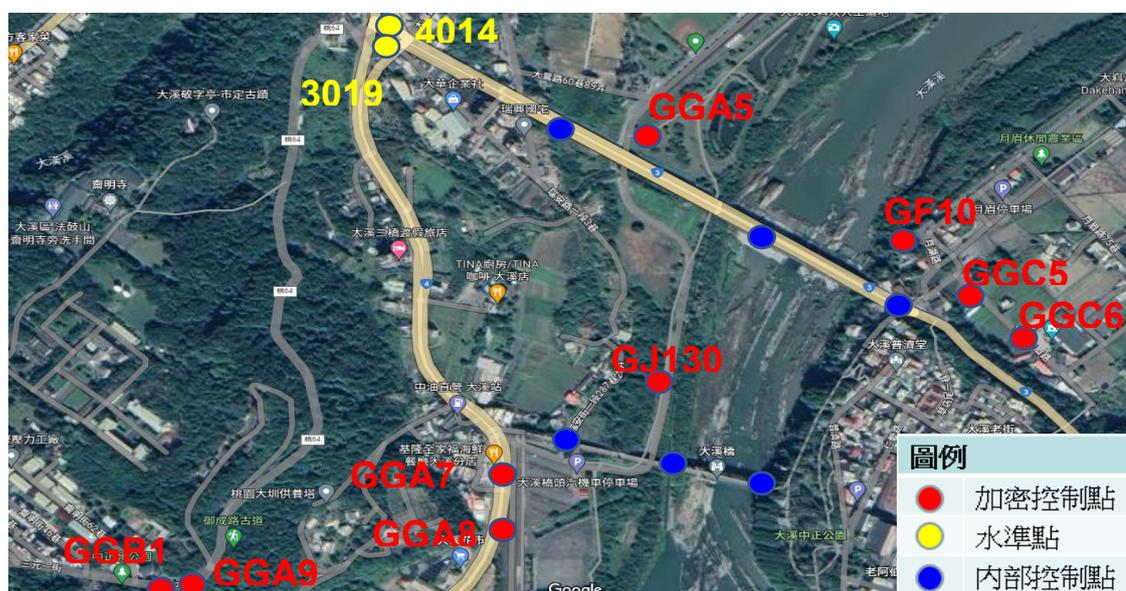


圖 5 大溪橋與武嶺橋外部控制點(圖根點)與檢核點示意圖

(三) 實驗儀器設備及軟體介紹

本次實驗，嘗試運用 Trimble R8s GNSS 衛星定位儀、Trimble 無線傾斜儀及 Rigle VZ-1000 等儀器，進行橋梁檢測，並藉由上述儀器，獲得橋梁檢測數值，進行評估作業。

1. 衛星定位設備

本研究使用 Trimble R8s GNSS 衛星定位儀，並登入國土測繪中心即時測得控制點位資料，以下為 Trimble R8s GNSS 衛星定位儀基本介紹如圖 6 及表 4。解算程式係應用美商 Trimble 公司所獨立開發的 TBC(Trimble Business Center)商業計算軟體，可用於計算點雲資料、坐標轉換及土木工程資料計算等。



圖 6 Trimble R8s GNSS 衛星定位儀

表 4 Trimble R8s GNSS 規格表

支援衛星	GPS(美國) GLONASS(俄國) QZSS(日本) Galileo(歐盟) 北斗(中國)
定位精度	高精度靜態：3mm+0.1ppm RMS(水平) 3.5mm+0.4ppm RMS(垂直)
	靜態與快速靜態：3mm+0.5ppm RMS(水平) 5mm+0.5ppm RMS(垂直)
	單基線：8mm+0.5ppm RMS(水平) 15mm+0.5ppm RMS(垂直)
	網路 RTK：8mm+0.5ppm RMS(水平) 15mm+0.5ppm RMS(垂直)
防護等級	IP67
工作溫度	-40°C~65°C
電池效能	5 小時

2. 無線傾斜儀

本研究使用台灣儀器行的無線傳輸傾斜儀[11]，用以檢測車輛通行時震動所引發的橋梁位移。解算軟體運用 TRIMBLE 公司的 T4D，可應用圖表檢視、分析、回報及自動告警等措施，同時也因為整合了許多測量工具與技術，帶來了許多便利性，如可在網路中獲得資料、簡單化操作、節省金錢與時間等，儀器及規格說明如圖 7 及表 5。



圖 7 Trimble 無線傾斜儀

表 5 無線傾斜儀規格表(2022)

型號	LS-G6-TIL90-X	LS-G6-TIL90-1
外型尺寸	100x100x61mm	100x100x61mm
溫度靈敏度	+0.002°C	+0.005°C
傾角靈敏度	±0.0025°	±0.0045°
重量(含電池)	606 公克	390 公克
作業溫度	-40 °C to 80 °C (-40 °F to 175 °F)	
防護等級	IP68 (水深 2 公尺 2 小時)	
電池類型	2x3.6V	
電池效能	30 秒/每筆	4.8 個月
	5 分鐘/每筆	3.3 年
	1 小時/每筆	大於 10 年

3. 雷射掃描儀

本研究使用 3D 雷射掃描儀為 Rigel VZ-1000，運用原廠奧地利 Rigel Pro 進行點雲與影像後製處理。儀器使用需固定在水平的平面上，以進行初始化程序，該程序允許定義垂直坐標軸垂直於該平面的局部坐標參考系統。初始化完成後，使用者透過場景進行點雲資料採集，掃描完成必須返回到初始位置進行閉合採集循環，儀器及規格說明如圖 8 及表 6。



圖 8 Riegl VZ-1000 雷射掃描儀

表 6 Riegl/VZ-1000 雷射掃描儀規格表

說明	Riegl/VZ-1000
掃描距離	區分 1400 公尺與 450 公尺
最短距離	2.5 公尺
掃描頻率	脈衝式/20,000(次/秒)
最大視角	固定式(水平角 360 度，垂直角 100 度)
系統測距精度	5mm
雷射波長種類	近紅外線[LaserClass1] /1550nm
保護等級	IP64
重量	9.8 公斤
相機單元	外接 Nikon D700 單眼相機(1.0 公斤)

(四) 橋梁檢測

本實驗將運用傳統目視檢測方式，挑選大溪橋與武嶺橋各 4 處檢驗，輔以衛星定位量測，同一點位區分 e-GNSS 測量及靜態測量，並計算偏差值；使用傾斜儀量測，將儀器放置大溪橋與武嶺橋，透過現地量測獲得橋梁變化值；使用 3D 光達量測，透過光達儀器的攝影機與掃描獲得的點雲，進行套疊作業，並實施比對作業及橋梁健康診斷，請參見研究流程圖圖 1 所示。

目視武嶺橋及運用 DER&U 法實施檢測				
區分	墩柱基礎	橋墩保護	主構件(大梁)	河道
D 嚴重程度	1	2	1	2
E 受損程度	1	3	1	2
R 安全影響程度	1	2	1	2
U 維修急迫性	0	2	1	2

四、研究成果與分析

(一) 目視檢測

經 3 個不同時期運用 DER&U 法，對大溪橋及武嶺橋進行目視檢測，其結果如下：

1. 目視檢測墩柱基礎，大溪橋及武嶺橋皆無顯著沉陷情形發生。
2. 主構件-大樑武嶺橋及大溪橋皆無顯著變形情形。
3. 武嶺橋河道受大漢溪溪水沖刷影響，致河道有部分產生位移；檢視大溪橋之欄杆及護欄，發現有部分裝飾花台有位移現象。
4. 大溪橋歷年都有張貼定期檢測告示牌；武嶺橋自民國 110 年迄今皆未發現定

目視大溪橋及運用 DER&U 法實施檢測				
區分	墩柱基礎	橋墩保護	主構件(大梁)	欄杆及護牆
D 嚴重程度	1	0	1	2
E 受損程度	1	0	1	2
R 安全影響程度	1	0	1	2
U 維修急迫性	0	0	0	2

期檢測告示牌。

武嶺橋和大溪橋的目視檢測分別共計 4 點：墩柱基礎、橋墩保護、主構件(大樑)、欄杆及護牆或河道。經以上目視評估後，對大溪橋及武嶺橋運用 DER&U 法實施檢測，如表 7 所示。

表 7 武嶺橋及大溪橋 DER&U 簡易評分表

(二) 控制點檢測

於大溪橋及武嶺橋各佈設 3 個內部控制點，另在其周邊地區運用桃園市政府加密控制點 6 點進行聯測，以求得 TWD97 坐標，分布情形如圖 9。表 8 為運用 e-GNSS 並與桃園市政府加密控制點進行聯測後，內部控制點坐標系統轉換至 TWD97 系統，得到改正數經計算後， ΔN 為 0.167 公尺、 ΔE 為-0.501 公尺。

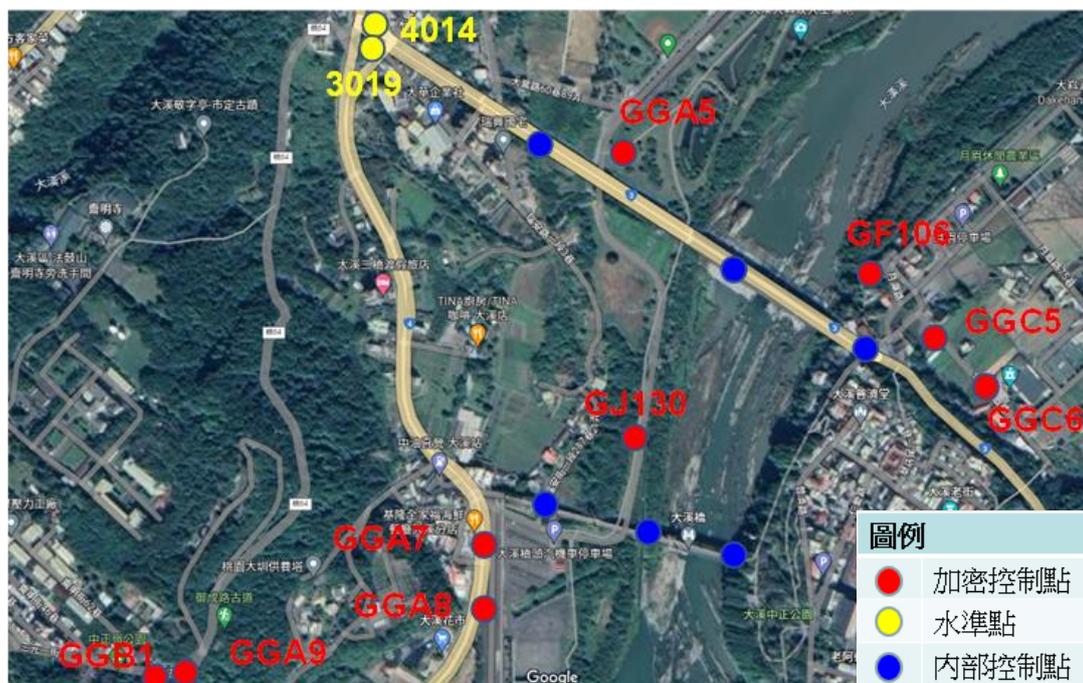


圖 9 實驗區域內控制點測定位置說明圖

表 8 驗區內面控制點位表

	公告值		觀測值		橢球高 (m)	平面 標準 誤差 (m)
	N 值 (TWD97)	E 值 (TWD97)	N 值 (TWD97)	E 值 (TWD97)		
GGA5	2753675.485	278523.214	2753675.323	278523.735	106.038	0.008
GGA7	2753058.220	278343.666	2753058.045	278344.183	111.974	0.006
GGA8	2752807.410	278339.815	2752807.235	278340.332	116.331	0.006
GGC5	2753395.712	279017.070	2753395.537	279017.587	114.014	0.002
GGC6	2753249.751	279147.614	2753249.576	279148.131	112.539	0.001
GF106	2753489.892	278935.309	2753489.717	278935.826	110.112	0.003
	$\Delta N=0.169$	$\Delta E=-0.527$				

(三) 傾斜儀檢測

本實驗於民國 111 年 10 月 26 日，協請臺灣儀器行檢測大溪橋與武嶺橋橋梁震動情形，武嶺橋作業時間自 10 時 30 分至 12 時 30 分；大溪橋自 15 時 30 分至 17 時 30 分，每次作業時長為 2 小時，各儀器紀錄時間為每 2 分鐘一筆，相關數據資料如表 9、表 10 所示。從上述數據得知：1. 每台傾斜儀溫度感測不盡相同，應是背景值設定時，未能統一定固定值，以致各感測器紀錄值不同。2. 武嶺橋測試數據，並未發現有顯著的變化；大溪橋測試數據，序號 41763 有遊客誤觸，應可忽略不計；另根據無線傾斜儀規格書(2022)所載，無限傾斜儀的測量誤差為 $\pm 1\text{mm}$ ，序號 66331 數值位移變化量是 $1.159-1.16=-0.001\text{m}$ ， $1.161-1.16=+0.001\text{m}$ 與測量誤差相同，故應為儀器誤差範圍，理論上是可忽略不計。

表 9 大溪橋檢測數據

大溪橋檢測數據					
區分 序號	溫度變化	X 軸變化 ($^{\circ}$)	Y 軸變化 ($^{\circ}$)	Z 軸變化 ($^{\circ}$)	位移量(m)
41579	31~27	-0.16~43.2	-0.128~0	-	NA
41762	26~29	0.88~0.80	0	-	NA
41763	25.5~26.8	0	0	-	NA
66331	36.7~40.0	0~-8.0	0~-10.0	90~-10	6.68-4=2.68
66350	34.8~38.0	0	0	0	NA

表 10 武嶺橋檢測數據

武嶺橋檢測數據					
區分 序號	溫度變化	X 軸變化 ($^{\circ}$)	Y 軸變化 ($^{\circ}$)	Z 軸變化 ($^{\circ}$)	位移量(m)
41579	32~25	0	0		
41762	36~25	0	0	-	-
41763	32~24	2.0~2.5	0.5~1.5	-	-
66331	42~31	0	0	0	-0.001~0.001
66350	32~25	0	0	0	0.3~1.2

(四)光達檢測

作業時間從 2022.2.至 2023.5，觀測時間為 1 年 3 個月，原外業成效，從 9 站花費時間 5 小時提升至 30 站花費時間 5 小時，內業時間，因實施粗略拼接，花費較多時間。測站間共同點數最高達 5.2 萬點雲數，拼接精度在第四及第五次皆達到 0.0056 公尺，相關數據如表 11 所示。

表 11 外業實驗成果比較表

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
實施日期	20220217	20220909	20230223	20230425	20230515
測站數	9	4	19	25	30
外業時間	5 小時	1 小時	4 小時	5 小時	5.5 小時
內業時間	2 小時	0.5 小時	2 小時	2 小時	2 小時
點雲數目	120,766,243	67,137,175	279,642,083	333,774,501	415,020,986
共同點數	7,640	404	29,148	35,301	52,747
拼接精度(m)	0.0042	0.0019	0.0070	0.0056	0.0056

(五) 比對成果

目視檢測具有一定程度的效率，但在細微的變化量，並不能及時的反應給決策單位參考運用，且目視檢測時僅文字敘述，並無量化數據可供參考，亦無法實施多期數據比對，固在重點檢測項目中，仍須採集測量數據並記錄之，提供爾後數據比對。各式方法主要比對時間是 112 年 4 月 25 日與同年 5 月 15 日的資料進行比對作業。

點雲數據比對時，發現武嶺橋河道檢測點位移 0.157 公尺；P4 墩柱基礎檢測點位移 0.032 公尺；伸縮縫變化量為 0.010~0.015 公尺，上部結構變化量為 0.011 公尺。在大溪橋墩柱基礎，其中墩柱裂縫差異量為 0.002 公尺。推測該裂縫並無繼續擴大之情形；欄杆及護牆數值誤差值在 0.010m。推測該護牆並無繼續傾斜之情形。

表 12 大溪橋檢測結果

	檢查項目	目視檢測	點雲	控制檢測	傾斜儀檢測
大溪橋	墩柱基礎	細微裂縫 沒有滲水	小於 1 公分 位移	N/A	N/A
	橋墩保護	細微裂縫 沒有滲水	2 公分位移		
	主構件 (大樑)	細微裂縫 沒有滲水	小於 1 公分 位移		
	欄杆及護牆	明顯裂縫， 傾斜	2 公分位移		
	橋面點位 (內控點)	隆起	小於 1 公分 位移	小於 1 公分 位移	沒有明顯 變化

表 13 武嶺橋檢測結果

	檢查項目	目視檢測	點雲	控制檢測	傾斜儀檢測
武嶺橋	墩柱基礎	細微裂縫 沒有滲水	3 公分位移	N/A	N/A
	橋墩保護	細微裂縫 沒有滲水	2 公分位移		
	主構件 (大樑)	細微裂縫 沒有滲水	2 公分位移		
	河道	明顯位移	15 公分位 移		
	橋面點位 (內控點)	隆起	小於 1 公分 位移	小於 1 公分 位移	沒有明顯 變化

另以各檢測結果比對時發現，大溪橋目視檢測欄杆及護牆有明顯裂縫及傾斜，餘各檢測點均有細微裂縫，沒有滲水，點雲檢測中，各檢測點皆為 2 公分以內的位移量，e-GNSS 檢測中，內部控制點皆小於 1 公分位移量。傾斜儀檢測，因實驗時間較短，沒有明顯變化；武嶺橋目視檢測河道有名現位移，餘各檢測點均有細微裂縫，沒有滲水，點雲檢測中，河道有 15 公分的位移量，餘各檢測點皆為 3 公分以內的位移量，e-GNSS 檢測中，內部控制點皆小於 1 公分位移量。傾斜儀檢測，因實驗時間較短，沒有明顯變化。相關檢測結果如表 12、表 13 所示。

(六) 健康診斷

大溪橋健康診斷結果：墩柱基礎、橋墩保護、主構件(大樑)橋梁診斷結果皆為健康；欄杆及護牆診斷結果為注意，須持續列入追蹤。

武嶺橋健康診斷結果：墩柱基礎、橋墩保護、主構件(大樑)橋梁診斷結果皆為健康；河道診斷結果為注意，須持續列入追蹤。

綜合本實驗之數據來做判定，大溪橋及武嶺橋現階段(2023年)的健康診斷結果，大致結構部分皆為“健康”範圍。這結果完全符合桃園養工處年度公告之橋檢成果，否則這兩座橋梁就會被強制執行“危橋”或“禁止通行”的行政命令。

五、結論與建議

本研究運用 Trimble R8s GNSS 衛星定位儀、Trimble 無線傾斜儀及 Ringle VZ-1000 等儀器，進行橋梁檢測作業，研究實驗成果可歸納為以下幾點結論與建議：

(一) 結論

1. 在目視檢測結果部分，武嶺橋河道旁鼎形塊，已有明顯位移情形；大溪橋欄杆及護牆，有部分裝飾花台有明顯位移，餘大溪橋與武嶺橋檢測點均無顯著的變化。
2. 透過 e-GNSS 實地觀測後，(此改正數經計算後， ΔN 為 0.167m、 ΔE 為 -0.501m)，從上述數據，改正數距離誤差均在 1 公分以內，可以看出皆符合地籍測實施規則 2~6 cm 之誤差容許範圍。
3. 傾斜儀檢測部分，大溪橋與武嶺橋皆無顯著的變化，推估可能的原因為溫度變化量初始資料未能統一律定，以致各感測器紀錄值不同；另傾角與距離數值完成歸零後，因紀錄條件為每 2 分鐘紀錄一筆，未能及時紀錄變化量。
4. 光達點雲：
 - (1) 雖然第 2 次拼接精度最佳(0.0019 公尺)，但有多重影像產生，也有可能是掃描站數較少所致。
 - (2) 以點雲常態分佈成果而言，應以第四次和第五次掃描之點雲成果較為平均，拼接精度皆為 0.0056 公尺，可視為整體點雲拼接作業的最大誤差容許值，但整體精度皆符合內政部 2 公分的精度規範要求。
5. 各時期資料比對部分：
 - (1) 武嶺橋河道鼎形塊的位移情形已達 15 公分的位移變化量，與目視檢測時一致
 - (2) 武嶺橋墩柱基礎位移情形，僅有 3 公分的位移變化量，與目視檢測時略有不同
 - (3) 大溪橋目視檢測與光達點雲交互比對下，無明顯變化。
6. 橋梁結構健康診斷：
 - (1) 大溪橋欄杆及護牆及武嶺橋河道皆為注意，須持續列入追蹤，餘檢測點皆為健康。
 - (2) 現階段(2023年)結構健康診斷：大溪橋及武嶺橋皆為健康。

(二) 建議

1. 目視檢測在檢測橋梁時，具一定程度的效率，但無量化數據可供參考，亦無法實施多期數據比對，固在重點檢測項目中，建議仍須採集測量數據並

- 記錄之，提供爾後數據比對。
2. 評判結果受檢測人員之素質(訓練程度、經驗與主觀意識)影響而具較大變異性
 3. 運用e-GNSS實地觀測能快速獲得同框架下之點位資料，但仍未獲得改正數實施偏差改正，現國土測繪中心已其改正數列入計算，可及時獲得TWD97座標系統之點位資料。
 4. 無線傳輸傾斜儀為國內首次應用在橋樑檢測之研究，因儀器及軟體操作的生疏，和作業時程的限制，影響到整體實驗成果，相信日後建立相關作業流程，並反饋儀器商參考改進，應能大幅改善實驗成績。
 5. 本研究因作業時間較短兩座橋梁現階段(2023年)的觀測結果，健康診斷結果大致結構部分皆為“健康”範圍，但如果觀測作業時間延長，可能獲得不一樣的結果。
 6. 橋樑檢測成果往往受限於經費儀器和時間，實驗中衛星定位量測、傾斜儀和光達檢測，均非傳統土木實施橋樑檢測的方式，這對傳統土木工程之橋樑檢測作業，已是一大突破。相信日後會有更新的技術引進，來改善現行橋樑檢測的規範。

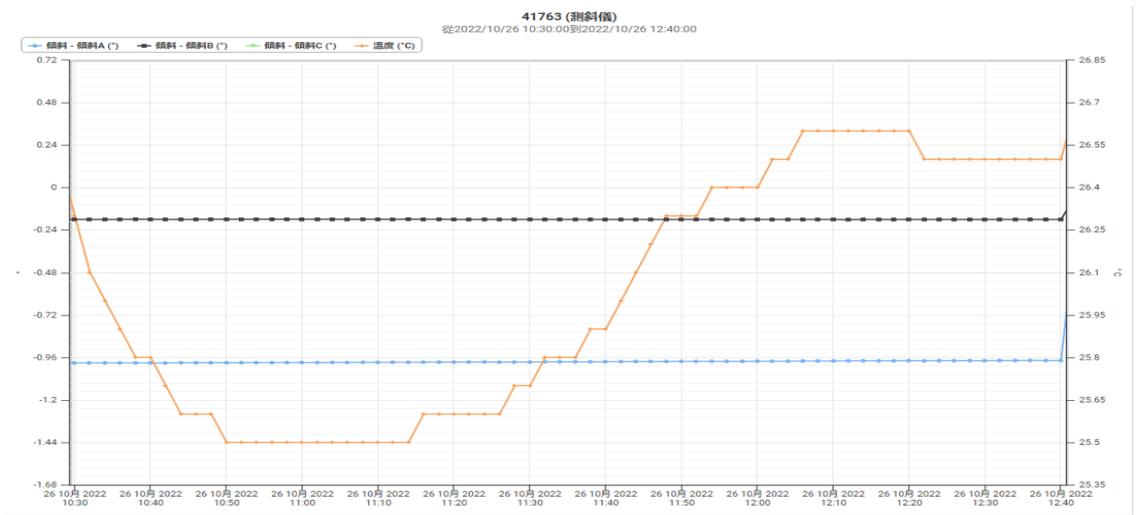
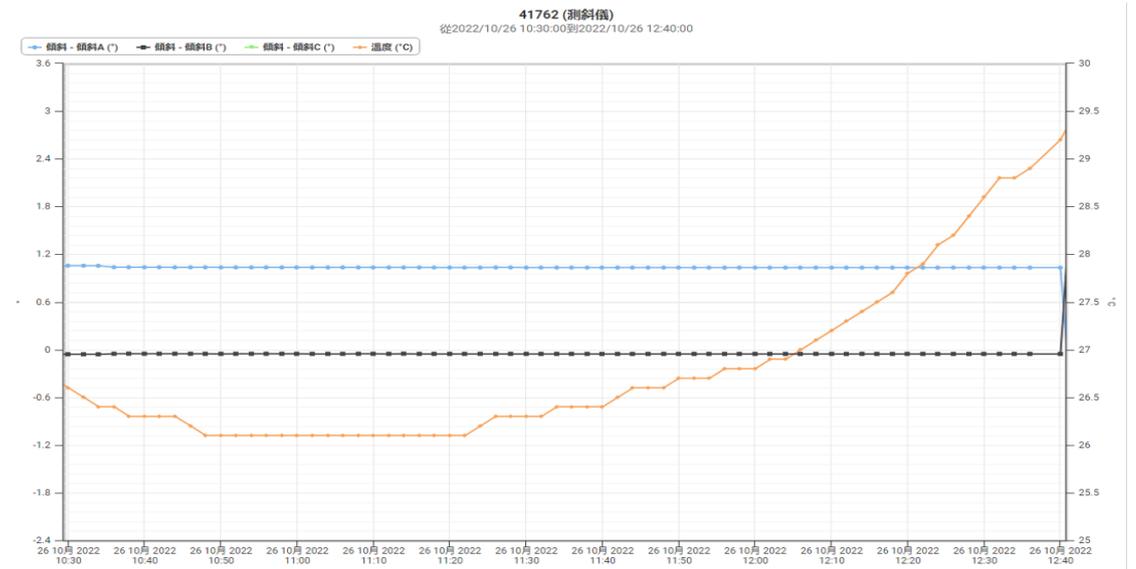
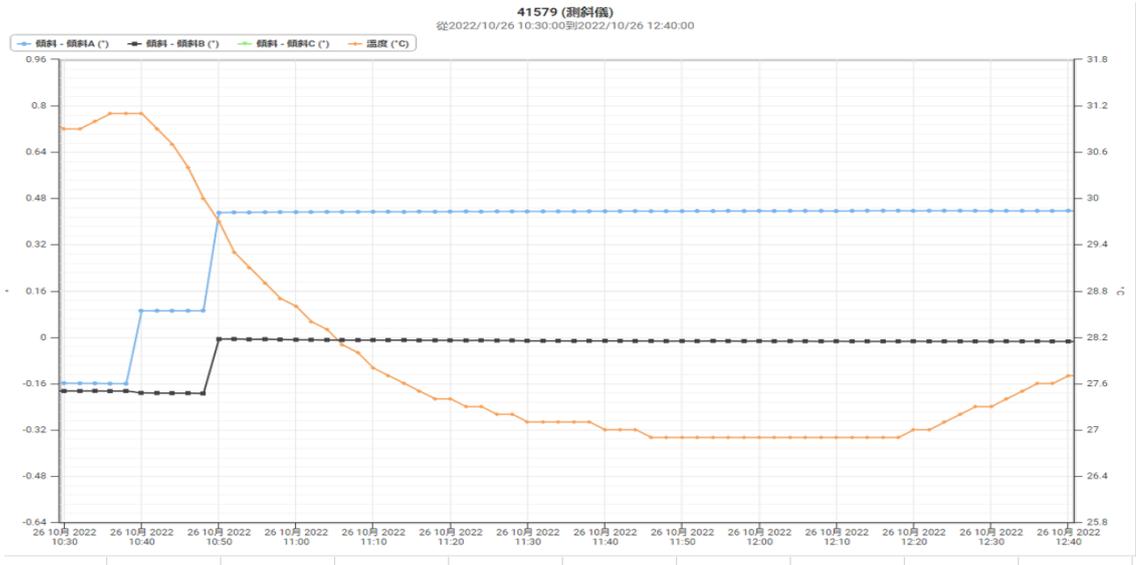
參 考 文 獻

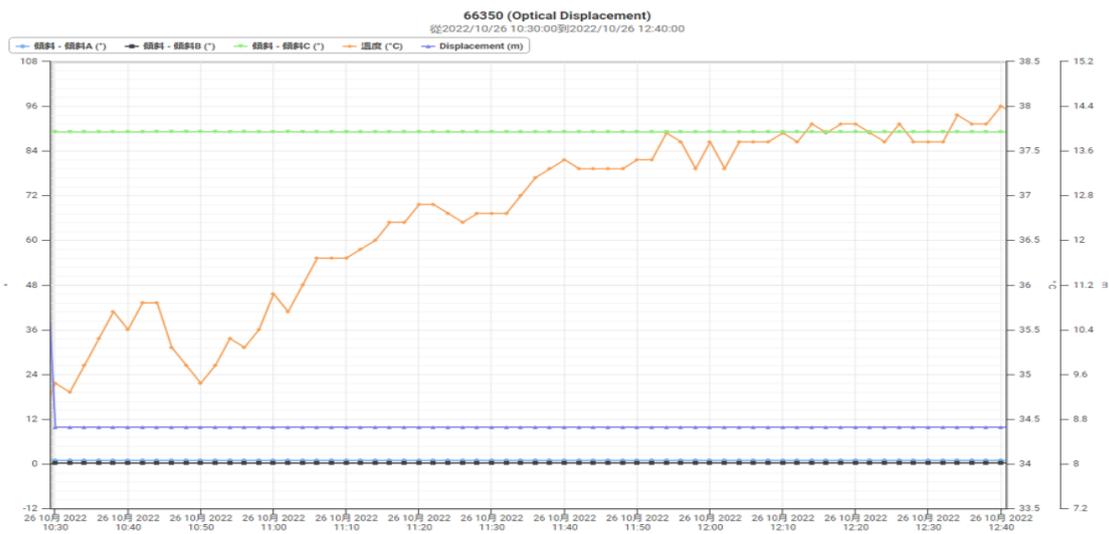
- 王潤台、莊博文、陳威翰，2010，預鑄節塊橋墩之施工技術，中華技術，第 87 期，第 84~93 頁。
- 交通部，2020，公路橋梁檢測及補強規範。
- 行政院，2020，橋梁維護管理作業要點。
- 全國橋梁資訊網，
[https://bss.iot.gov.tw/bss/country/statistics_all/list/\(2023.02.28\)](https://bss.iot.gov.tw/bss/country/statistics_all/list/(2023.02.28))
- 張舜孔、蔡育林，2013，3D 掃描技術應用於文化資產之適用性討論，文化資產保存學刊，第二十六期，63-78 頁。
- 張嘉峰、簡臣佑、楊宗叡，2018，新版公路橋梁檢測及補強規範，營建知訊，431 期。
- 黃韋凱、邱家吉及羅偉庭，2022，AIoT 智能 LiDAR 變位預警監測系統，技師季刊，第 96 期。
- 鄭明淵、邱永芳、吳育偉、歐昱辰、邱建國、廖國偉及范鴻達，2013，創新人工智慧學習模式預測震後橋梁耐震能力與通行失敗機率之研究-以臺灣橋梁為例，中國土木水利工程學刊，第二十五卷，第三期，第 193~209 頁。
- 無線傾斜儀規格書，
[https://www.worldsensing.com/downloads-cat/edge-devices/wireless-sensors/\(2022.05.13\)](https://www.worldsensing.com/downloads-cat/edge-devices/wireless-sensors/(2022.05.13))
- 國家教育研究院，樂詞網，
[http://terms.naer.edu.tw/detail/1327160/\(2022.05.13\)](http://terms.naer.edu.tw/detail/1327160/(2022.05.13))

國家教育研究院，樂詞網，

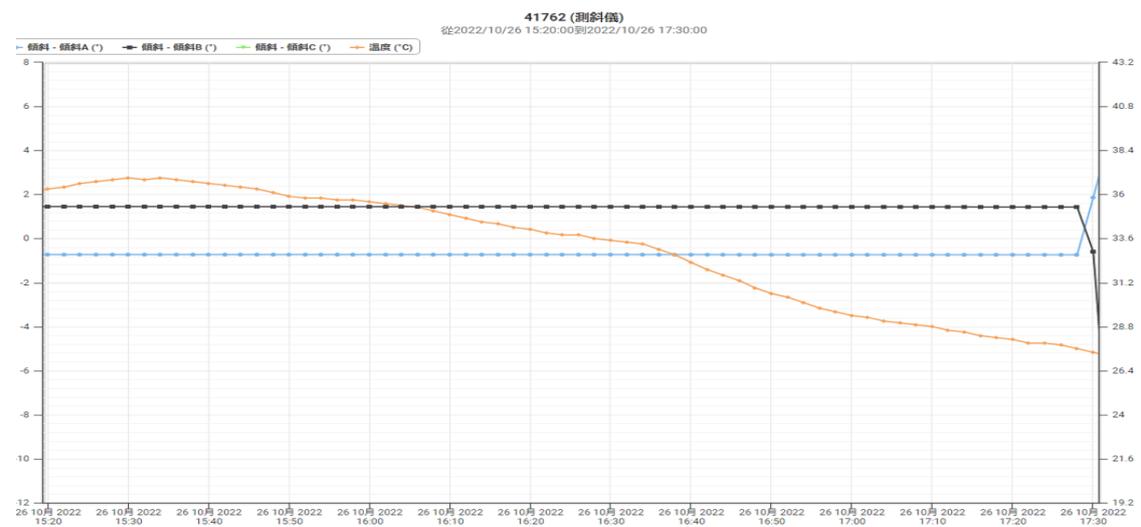
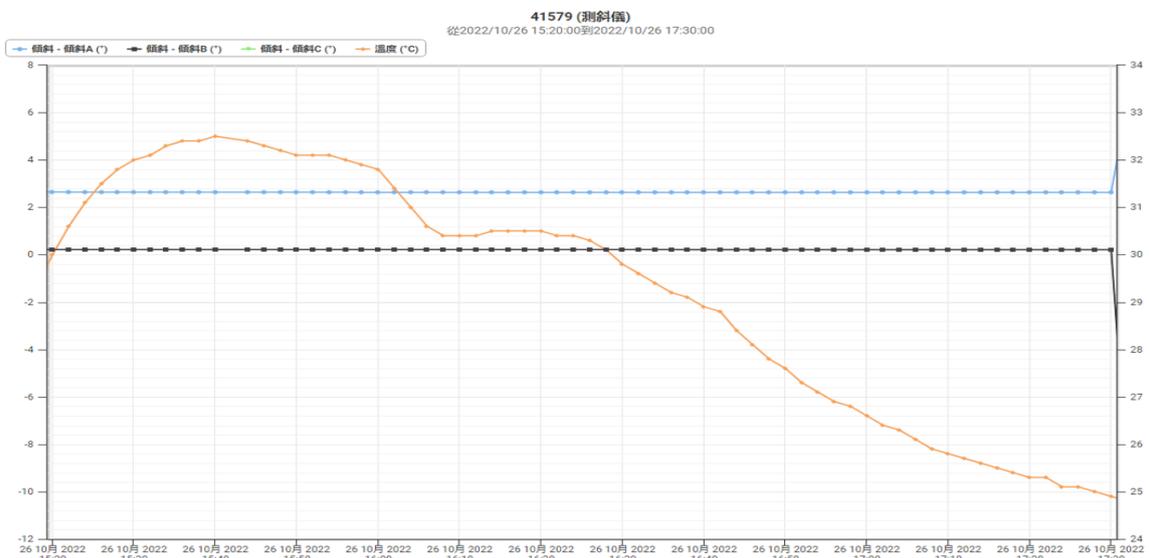
<https://www.narlabs.org.tw/xmdoc/cont?xsmsid=0I148622737263495777&sid=0I156630579878146449> (2022.05.13)

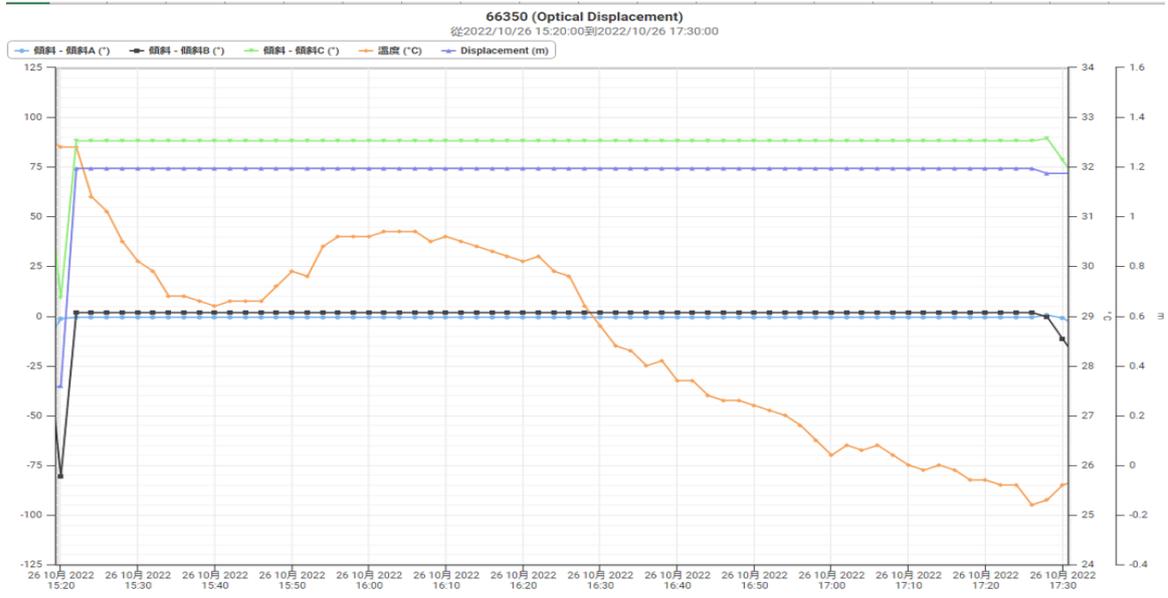
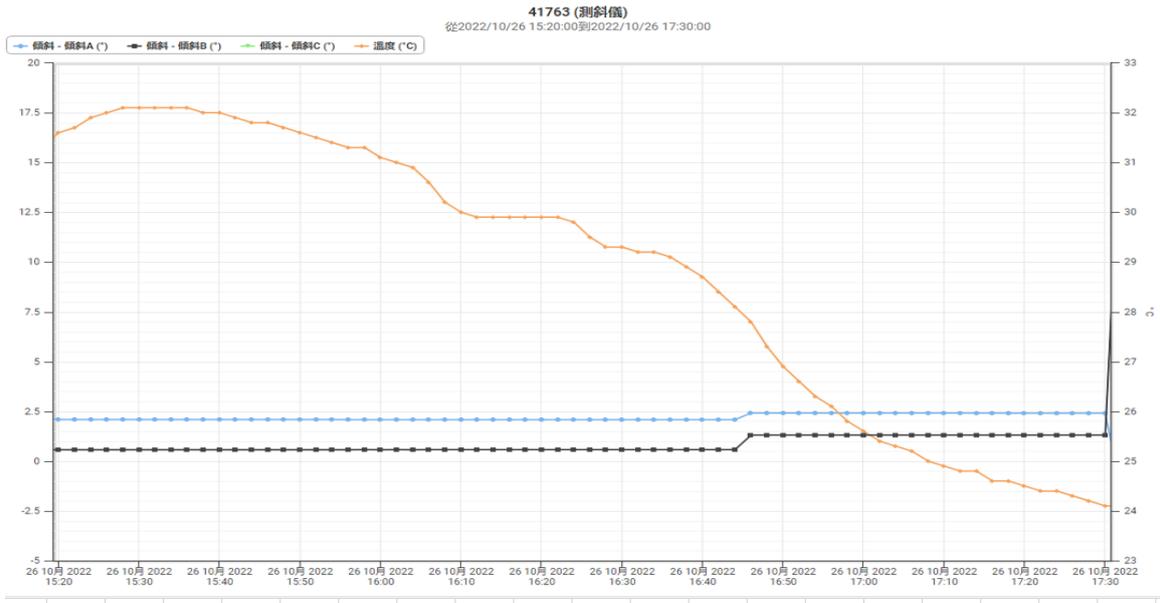
附錄 A 傾斜儀報表





以上為武嶺橋傾斜儀數據報表。





以上為大溪橋傾斜儀數據報表。

應用梯度提升樹於實價登錄之車位價格預測

陳亭霓¹ 張智安^{2*}

論文收件日期：113.07.19

論文修改日期：113.09.16

論文接受日期：113.10.04

摘 要

建立實價登錄制度之目的為解決不動產交易價格資訊不透明的問題，透過填報地址、總價、總面積、屋齡等多項交易資訊，可應用於各類不動產交易應用分析。在實價登錄的資料中，多數資料會將車位價格及房屋價格合併登記，但部份實價登錄資料會將車位價格與房屋價格分離，有助於理解車位價格單價。本研究應用基於決策樹之機器學習模型—梯度提升樹(Gradient Boosted Tree, GBT)，利用有車位價格的實價登錄資料，使用實價登錄資料建立車位價格預測模型。於去除離群值後進行訓練，預測車位價格之均方根誤差為每個車位 \$236,653，以車位價格平均值 \$1,672,019 而言，相對誤差約為 14.15%。機器學習方法可將車位價格與房屋價格分離，有助理解實際房屋與車位價格。期望預測車位價格可在未來應用於房地產市場分析等多種用途。

關鍵詞：車位價格、梯度提升樹、實價登錄

¹ 碩士生，國立陽明交通大學土木工程學系。

² 教授，國立陽明交通大學土木工程學系。

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

Predicting Parking Space Prices in The Real Price Registration System Based on Gradient Boosted Trees

Ting-Ni Chen¹ Tee-Ann Teo^{2*}

Abstract

The Real Price Registration system aims to address the issue of opacity in real estate transaction prices by reporting various transaction information such as address, total price, total area, and age of the property for various applications. In the data of the Real Price Registration system, most of the data combines the prices of parking spaces and houses, but some of the data separates the prices of parking spaces from those of houses, which helps understand the independent prices of parking spaces. In this study, we applied the Gradient Boosted Tree (GBT) machine learning model based on decision trees to predict the prices of parking spaces using Real Price Registration data with parking space prices. After removing outliers, the prediction accuracy for parking space prices can reach about NT\$236,653 per parking space. Given the average parking space price of NT\$1,672,019, the relative error is approximately 14.15%. This method can effectively separate the prices of parking spaces from those of houses, facilitating the understanding of parking space and the house prices. Expected that predicting parking space prices can be applied to various applications in urban planning and real estate market analysis in the future.

Keywords : Gradient Boosted Tree, Parking Space Price, Real Estate Registration

¹ Master Student, Dept. of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.

² Professor, Dept. of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.

* Corresponding author, TEL : +886-3-5712121 ext. 54929, E-mail: tateo@nycu.edu.tw .

一、前言

實價登錄於 2012 年 8 月 1 日正式施行，全名為「不動產成交案件實際資訊申報登錄制度」，制度要求不動產交易的買賣雙方填寫指定的表格，提供相關資訊，包括房屋住址、房地交易總價、建物格局等。目的是確保房地產交易符合公平、公正和公開的原則，並向一般民眾提供房市交易價格資訊，以改善購屋人和房市之間的資訊不對等情況。在實價登錄資料的許多欄位中也包含車位價格，但通常車位價格會與房屋價格合併作登記，因此較難得知車位之獨立價格，而也有資料是將車位價格及房屋價格分開登記，因此本研究將利用有車位價格的資料作為訓練資料集，以預測獨立車位之價格。

公開的實價登錄資訊除了可提供一般民眾查詢房屋物件銷售價格，更可作為相關研究之重要資訊來源。其中一項研究領域即為利用實價登錄中各筆交易的詳細資訊進行應用分析，如邱司杰(2014)利用實價登錄的各項欄位變數建立迴歸模型以進行並房價預測；劉昱佑(2021)利用實價登錄資料並結合農地區位資料以傳統迴歸、配對法、拉索迴歸分別做價格指數的建構；林雋修(2021)則是以臺北市為例分析停車位與房屋合併交易及分別交易之總價是否有區別，而合併交易時會造成總價較高；張治政(2018)研究以台中市為例其影響房地產價格因素，當中提及車位對房價的影響為正向相關，由上述的參考文獻可以知道，透過實價登錄資料做價格的預測是可行的，而多數研究都注重於房價之預測，較少提及單獨車位的價格預測，但車位價格與房價又息息相關，可知車位價格為重要議題，因此本研究將關注於車位價格的預測。

關於價格預測有相當多種方法，其中常見的有時間序列法、機器學習演算法等等，時間序列法通常包括資料收集、資料轉換、建立模型和評估模型預測結果。傳統時間序列法主要應用於線性關係的預測，對於非線性關係的預測能力較弱。為了解決這個問題，一些研究結合了機器學習的方法，以提高對非線性關係的預測準確性(Khashei and Bijari, 2010; Sapankevych and Sankar, 2009)。由於車位價格通常呈現非線性關係，應用機器學習方法來預測相對於傳統的時間序列法可能效果更好。而機器學習中有許多種演算法，在 Manasa et al., (2020)的研究中探討了最小平方法、Lasso 迴歸、Ridge 迴歸、SVR 模型和 XGBoost 以這五種演算法來預測印度房屋之價格，而在結果中可以看到是以 XGBoost 結果最佳；在 Zaki et al., (2022)也使用了 XGBoost 以及特徵價格法來預估房地產的價格，最終結果是以 XGBoost 結果優於特徵價格法，其中也提到特徵價格法對於識別非線性的關係較困難，綜上所述可以發現在機器學習的演算法中以梯度提升樹的結果較佳，因此本研究將選擇梯度提升樹來進行模型的建立。

本研究將以梯度提升樹來預測實價登錄車位中之價格，以探討梯度提升樹對於價格預測的可行性與準確度，首先取得實價登錄之資料，並對資料進行預處理，以梯度提升樹進行訓練獲得模型，再以獨立資料驗證其模型精度，最終期望有助於政府和市場研究人員了解車位市場趨勢和需求。

二、實價登錄資料庫之應用現況及研究資料

實價登錄資料庫可簡單歸納為四個主要應用面向，包含房價預測與市場分析、實價登錄政策影響評估、房價地區差異分析、及實價登錄大數據應用。在**房價預測與市場分析**的相關研究中，許多研究利用實價登錄資料結合機器學習或統計模型來預測房價變動及探討市場走勢，包含應用深度學習、決策樹、支持向量機等方法分析房價變動的關鍵因素，例如王文璋(2020)應用最小二乘支持向量回歸，建立了房價預測模型，顯示實價登錄資料於房價預測的價值。政策會對房地產市場造成影響，在應用**實價登錄政策影響評估**方面，多數研究關注實價登錄制度實施後對房地產市場的影響，特別是對買賣行為、稅制改革及房價議價空間等的影響。例如吳柔霏(2021)分析 2001 年至 2020 年共 77 季的資料，探討房地合一稅和實價登錄對房地產市場的影響，發現政策的實施對價格與交易量有顯著影響。為了解**房價地區差異**，探討不同區域及其衍生經濟活動對住房價格之影響，實價登錄資料也應用於區域不動產價格的空間分佈分析，研究不同地區房地產市場的區域差異，包含都市化進程、外部環境因素對房價的影響，例如鄭敏佑(2020)利用空間相關性回歸(LISA)分析高雄市苓雅區 101~105 年透天厝交易價格空間區域分布，分析了實際交易價格的區域變異。實價登錄資料的公開性促進了**大數據分析**在不動產市場的應用，越來越多的研究將實價登錄資料與大數據技術相結合來進行不動產價格的預測，例如劉昱佑(2021)利用實價登錄大數據資料，建立能夠有效衡量趨勢的農地價格指數。

研究資料來源為基於實價登錄 2.0 的資料集。資料涵蓋時間範圍由 111/07/01 至 112/06/01，總計 179,255 筆資料。並將資料集隨機分為兩部分，以其中 80% 做為訓練(Train)與測試(Test)資料集，以建立機器學習之模型，另 20% 做為獨立驗證(Independent check)資料集，用來驗證以梯度提升樹所建立之模型之預測精度。資料中有些交易會記錄車位價格，有些則不會登記(即車位價格登記為 0)，因此本研究將擷取有記錄車位價格的資料，建立機器學習模型，再利用此模型去預測有車位交易的車位單價，以分離車位價格及房價總價。而實價登錄資料內容包含車位總價、車位類別及門牌位置等多欄位，表 1 為部份資料內容範例，由於資料欄位繁多，因此僅部分展示。

在每一筆交易資料中會有 31 個不同的欄位，例如：車位總價、車位類別及門牌位置等等，每一項欄位都有其定義的資料型態，本研究中共有四種型態分別為 integer(整數)、real(浮點數)、nominal(字串)、data(日期)，欄位之資料型態如表 2 所示，本研究取得的實價登錄原始資料為 CSV 交換格式，而非資料庫格式(Database)，故需要人工進行資料欄位型態定義，在進入訓練前需定義資料欄位的型態為何，例如：鄉鎮市區名稱為 nominal、土地總面積為 real、總價為 integer、建築完成年月為 date，而其中較為特殊的欄位為是否有電梯及有無管理組織，在實價登錄資料中的這兩個欄位顯示的值皆為 1 或是 0，但其本身意義為有與無，因此為了符合資料本身的性質，因此研究中需要重新設定為 binominal 型態，以忠實反映欄位的特性。每一欄位的資料型態如表 2 所示。

表 1 實價登錄資料欄位範例展示(資料來源：實價登錄)

鄉鎮市區名稱	林口區	竹北市
交易類型	房地(土地+建物)+車位	房地(土地+建物)+車位
位置/門牌	新北市林口區忠福路 115 號三樓	嘉豐北路 26 號十九樓
土地總面積(平方公尺)	33.22	13.73
交易年月日	1090701	1090701
交易棟筆數	土地 1 建物 1 車位 1	土地 1 建物 1 車位 1
建物型態	華廈(10 層含以下有電梯)	住宅大樓(11 層含以上有電梯)
分類後的建物型態	華廈	住宅大樓
單價(元/平方公尺)	73322	102822
車位總價(元)	1800000	860000
車位類別	坡道平面	坡道機械
車位總面積(平方公尺)	24.74	17.96
備註	0	含裝潢費 369400 元
主建物面積(平方公尺)	76.18	35.01
附屬建物面積(平方公尺)	10.52	1.18
陽台面積(平方公尺)	0	3.81
是否有電梯	1	1

表 2 實價登錄資料欄位範例展示

欄位名稱	型態	欄位名稱	型態
鄉鎮市區名稱	nominal	建築完成年月	date
交易類型	nominal	建物總面積	real
位置/門牌	nominal	總價	integer
使用分區或編定	nominal	建物現況格局 - 房	integer
非都市使用分區	nominal	建物現況格局 - 廳	integer
非都市土地使用地	nominal	建物現況格局 - 衛	integer
土地總面積	real	建物現況格局 - 隔間	integer
交易年月日	nominal	有無管理組織	binominal
交易棟筆數	nominal	單價(元/平方公尺)	integer
移轉層次	nominal	車位總價	integer
建物型態	nominal	車位類別	nominal
主要建材	nominal	車位總面積	real
主要用途	nominal	主建物面積	real
是否有電梯	binominal	附屬建物面積	real
備註:	nominal	陽台面積	real
土地明細表的使用分區或編定	nominal		

本研究在車位的實價登錄交易資料中做不同資料的分布統計，分別是車位總面積、車位價格以及車位類別其分佈的數量，首先以車位總面積（表 3）可以看到，原始總資料量為 179,255 筆資料，而車位總面積為 0 的資料量就有 57,641 筆，未填入車位總面積之資料就占總資料量的 32.16%，去除面積為 0 的數據，車位面積中位數、平均值及標準差分別為 29.91、29.18、9.29 平方公尺；再以車位價格（表 4）作分析，可以發現價格為 0 的資料量更是高達 115,220 筆，占總資料量的 64.28%，因此預測獨立車位之價格為重要的研究工作，去除車位價格為 0 的數據，車位價格中位數、平均值及標準差分別為 1,600,000、1,672,019、609,503 元；最後則是以車位類別（表 5）作統計得知各車位類別的數量，在圖中可見坡道平面與坡道機械為大部分實價登錄交易的車位類別。而在以 50 萬為單位登記之車位數量統計中可以看到，以五十萬為區間（表 6）的資料占有登記車位價格之資料的 9.13%，顯示其車位價格登記常以五十萬為區間登記價格。

表 3 車位總面積統計(資料來源：實價登錄)

面積區間(m ²)	數量(個)	佔總資料之百分比(%)
0	57641	32.17
[1, 10)	4416	2.46
[10, 20)	19761	11.03
[20, 30)	43354	24.19
[30, 40)	43986	24.55
[40, 50)	8977	5.01
[50, 60)	838	0.47
[60, 70)	172	0.1
[70, 80)	38	0.02
[80, 90)	5	0
[90, 100)	3	0

表 4 車位價格統計(資料來源：實價登錄)

價格區間(元)	數量(個)	佔總資料之百分比(%)
(0, 500000]	1658	2.59
(500000, 1000000]	8132	12.7
(1000000, 1500000]	20162	31.49
(1500000, 2000000]	19888	31.06
(2000000, 2500000]	10362	16.19
(2500000, 3000000]	2550	3.98
(3000000, 3500000]	725	1.13
(3500000, 4000000]	388	0.61
(4000000, 4500000]	107	0.17

(4500000, 5000000]	50	0.08
--------------------	----	------

表 5 車位類別統計(資料來源：實價登錄)

車位類別	數量(個)	佔總資料之百分比(%)
坡道平面	137529	76.72
一樓平面	7983	4.45
坡道機械	22192	12.38
升降平面	2149	1.2
升降機械	5761	3.21
塔式車位	1827	1.02
其他	1814	1.01

表 6 以 50 萬為單位登記之車位統計數量(資料來源：實價登錄)

車位登記價格(元)	數量(個)	佔總資料之百分比(%)
500000	694	4.24
1000000	2352	14.37
1500000	5109	31.2
2000000	4381	26.76
2500000	2640	16.12
3000000	726	4.43
3500000	301	1.84
4000000	170	1.04

三、研究方法

本研究以實價登錄之資料進行訓練，透過機器學習之演算法—梯度提升樹建立模型，最終建立車位價格的預測模型，而研究的流程如圖 1 所示，包含資料的前處理、建立模型、測試模型、成果分析。以下將分小節詳細說明其流程：



圖 1 工作流程圖

(一)資料前處理

在實價登錄的原始資料中，存在許多車位價格為 0 的交易紀錄，或僅紀錄了車位面積而未記錄車位總價等情況。在第二章的資料統計中可見車位價格為 0 的資料占 64.28%，這些資料並不能用來訓練，因此為避免訓練出的模型錯誤，需先從訓練集中刪除車位價格為 0 的資料。這樣可以確保訓練出的模型具有可靠性，提高預測的準確性和實用性。除了去除車位總價 0 的交易紀錄，還需去除離群值的交易紀錄，若未剔除離群值，可能會造成模型的預測能力下降，進而降低模型的精度，在離群值的定義，本研究將分為不同類別同一標準以及不同類別不同標準做分析，並於實驗結果進行比較。

(二)建立模型

本研究是運用梯度提升樹(Gradient Boosted Tree, GBT)，以實價登錄中 31 個欄位的特徵做訓練來預測車位價格，在前言中提到在多項研究中以梯度提升決策樹作訓練之研究成果中皆為最佳，而在 Wang et al., (2018)的研究中提及梯度提升樹之優點為高精度、避免過度擬合的結果、可解釋性強，因此使用梯度提升決策樹作訓練。梯度提升樹(Friedman, 2001; Natekin and Knoll, 2013)是一種集成學習(Ensemble Learning)方法的一種，通過結合多個弱學習器(通常是決策樹)來構建一個更強大的模型，主要是通過逐步改進前一個模型的預測，來逼近目標函數的最佳解。梯度提升樹為一種基於梯度提升算法的機器學習方法，以梯度下降方法最小化預測誤差，梯度下降是一種迭代優化算法，通過計算損失函數對模型參數的梯度，來調整模型的參數，使得每一步的預測越來越接近目標。逐步構建一系列的弱學習器，每個學習器都試圖補充前一個學習器的預測誤差。每個弱學習器都有一個相應的權重，最終的模型是這些弱學習器的線性組合。通過將每個學習器的預測結果進行加權組合，得到最終的預測結果。梯度提升樹通常使用深度較淺的決策樹作為弱學習器，這有助於避免過度擬合，透過組成多個決策樹建構更佳的預測模型，而在此其中亦有許多不同的超參數可以調整，如表 7 所示。

表 7 梯度提升樹超參數列表

參數		功能
Number of trees	20	指定用於構建梯度提升樹的決策樹的數量。
Maximal depth	5	指定每棵決策樹的最大深度限制。
Min rows	10	指定每個節點最少需要包含的樣本數量。
Min spilt improvement	0	指定進行分裂的最小改善值。
Number of bins	20	指定連續特徵數值的離散化的分組數量。
Learning rate	0.1	學習率調整每棵決策樹的貢獻程度的因子。
Sample rate	1	控制每棵決策樹的樣本抽樣比例。

四、研究成果

本研究是使用梯度提升樹來預測實價登錄資料中車位之價格，利用有登記車位價格的資料做訓練，並將資料先分為 80%訓練資料及 20%獨立測試(Independent Check)資料，再將 80%的訓練資料分為 65%做模型之訓練(Train)，另 35%測試(Test)模型的可靠度，其精度是以車位單價之均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)表示。本研究實驗分析項目整理如下：

- (1) 比較 (a) 所有資料使用統一標準過濾離群值與 (b) 不同車位類別使用不同標準過濾離群值，對車位價格預測的影響。
- (2) 比較 (a) 含有車位總面積特徵及 (b) 不含車位總面積特徵，對車位價格預測的精度。
- (3) 分析輸入特徵重要性之分析。
- (4) 各縣市車位價格之統計分析。

(一)設定離群值方法之比較

因不同車位類別的價格區間以及面積的分佈各有不同，因此在定義離群值時需根據類別不同設定不同的標準，但在第二章的資料統計中之表 5 可以看到坡道平面與坡道機械就佔了總資料的 89.10%，因此我們將比較剔除同一標準離群值及剔除不同類別不同標準離群值的預測精度，探討是否需要定義不同類別之離群值。本研究將超出資料平均值三倍標準差範圍的資料視為離群值，不同類別不同標準之離群值之定義詳細之平均值及標準差可參見表 8；同標準之離群值之定義詳細可參見表 9。

表 8 車位類別之價格與面積統計

車位類別	價格(元) 平均值 \bar{x}	價格(元) 標準差 σ	面積(m ²) 平均值 \bar{x}	面積(m ²) 標準差 σ
塔式車位	1466661	443167	13.21	7.22
坡道機械	1074016	466728	16.31	6.98
坡道平面	1761781	584097	31.40	7.51
升降機械	1241262	49794	15.35	6.71
一樓平面	1126259	394909	18.34	7.18
升降平面	1781871	547689	36.26	10.97
其他	1392112	614637	16.18	8.34

表 9 同一標準之非離群值定義

	非離群值標準($\pm 3\sigma$)
面積	$6.34m^2 < area < 52.89m^2$
價格	$\$125,000 < price < \$4,000,000$

比較表 10 中不同標準的離群值對預測精度的影響，可以發現剔除不同標準的離群值之預測精度較高，即使坡道平面和坡道機械這兩個類別佔了近九成的資料，但對不同類別設定不同標準的離群值仍然對模型的預測精度有所提升。這表明在進行離群值處理時，考慮到不同車位類別之價格與面積分佈並設定適合的標準是相當重要的。而在表 11 中可見每個價格區間的分佈數量都不大相同，100 萬~200 萬區間佔比最大，相對來說精度也較好，而 300 萬以上之資料由於較少，精度也隨之下降，而比較不同標準的離群值對預測精度，多數區間都是不同類別設定不同標準的離群值之精度較佳。

表 10 不同離群值標準之精度比較

	同一標準離群值		不同標準離群值	
	RMSE(元)	個數	RMSE(元)	個數
測試資料集	247,416	18,154 筆	231,229	18,160 筆
獨立驗證資料集	252,540	11,347 筆	236,653	11,350 筆

表 11 真值與預估值間之關係(獨立驗證資料集)及各區間個數

車位價格區間	同一標準離群值 RMSE(元)	不同標準離群值 RMSE(元)	個數
0~100 萬	276,162	277,111	1,467 筆
100 萬~200 萬	205,659	199,323	7,382 筆
200 萬~300 萬	294,866	279,063	2,382 筆
300 萬以上	748,906	609,550	119 筆

圖 2 及圖 3 離群值標準不同之真值與預估值間之關係，在兩張圖都可以發現有條狀資料的表現，則是因為在實價登錄中價格的登記大約是以五十萬為區間作登記，而預測的價格是連續的，其預測精度 RMSE 也受其影響。

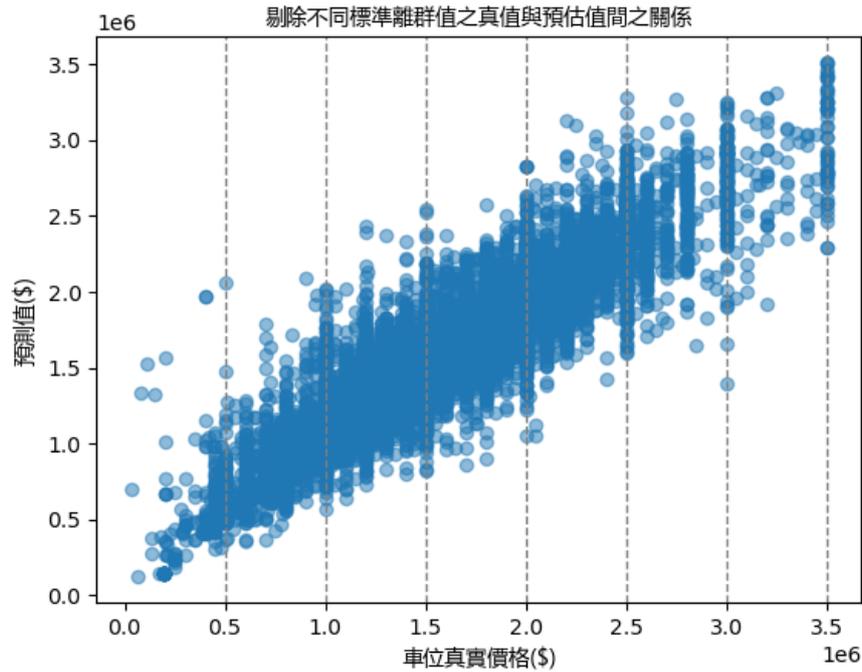


圖 2、剔除不同標準離群值之真值與預估值間之關係(獨立驗證資料集)

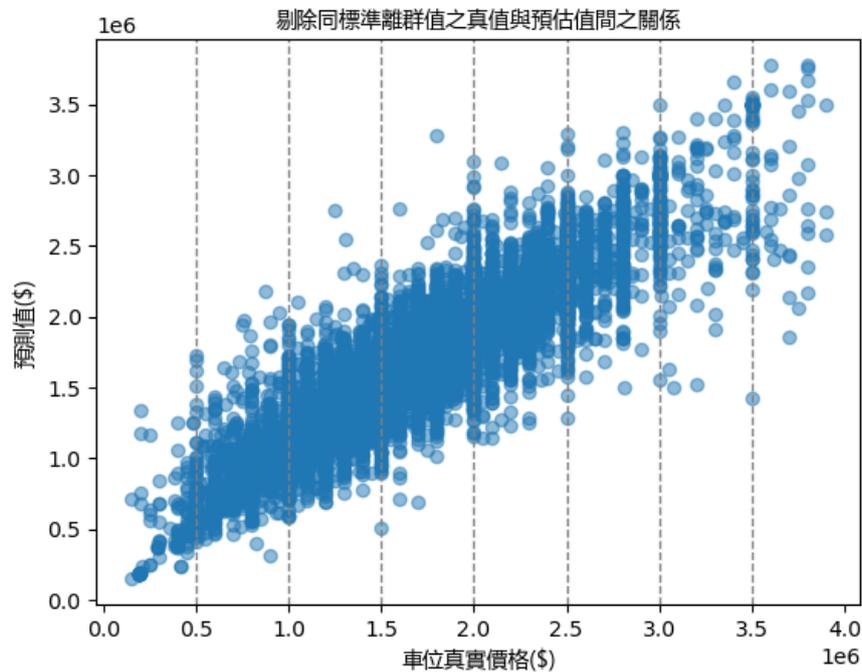


圖 3、剔除同標準離群值之真值與預估值間之關係(獨立驗證資料集)

(二)有無車位總面積特徵之精度比較

在實價登錄的資料統計中，可得知無車位總面積的資料佔總資料量的 32.16%，為貼近實際資料的應用，本研究刪除車位總面積特徵，不納入車位總面積進行預測，

並比較有無車位總面積特徵之預測精度，比較表 12 中的結果，可以發現兩者結果相差不超過 1 萬元，且在表 13 中比較有無車位總面積特徵之預測精度，每個區間之精度差異有限，在實價登錄欄位中多數案例車位面積皆為 0，在本研究中所使用的訓練資料就有三成的資料其面積為 0，而在本小節中可知即使無車位總面積特徵也可以成功預測車位價格，更能貼近實際應用情境。圖 4 為無車位總面積特徵之真值與預估值間之關係，分佈呈現兩者具高相關性。

表 12 不同離群值標準之精度比較

	有車位總面積特徵 RMSE(元)	無車位總面積特徵 RMSE(元)	個數
測試資料集	231,229	239,470	18,160 筆
獨立驗證資料集	236,653	245,347	11,350 筆

表 13 真值與預估值間之關係(獨立驗證資料集)及各區間個數

車位價格區間	有車位總面積特徵 RMSE(元)	無車位總面積特徵 RMSE(元)	個數
0~100 萬	277,111	275,317	1,467 筆
100 萬~200 萬	199,323	206,444	7,382 筆
200 萬~300 萬	279,063	295,705	2,382 筆
300 萬以上	609,550	642,463	119 筆

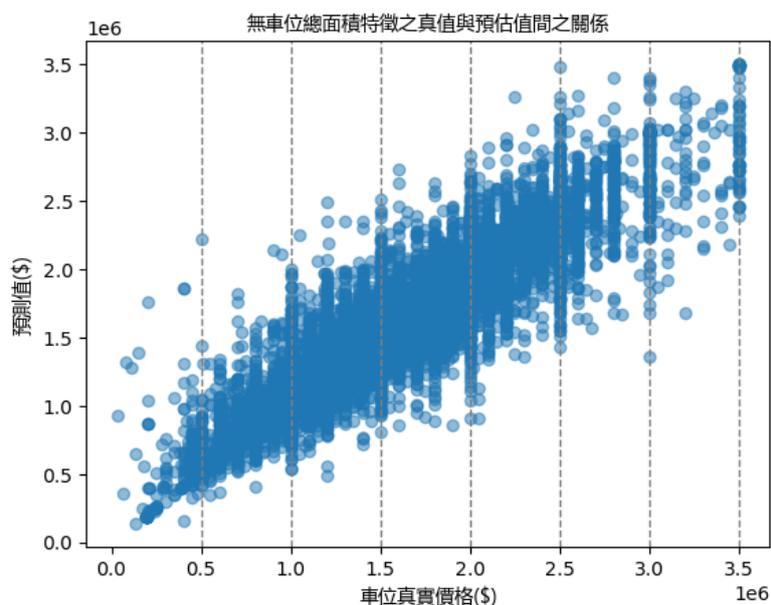


圖 4、無車位總面積特徵之真值與預估值間之關係(獨立驗證資料集)

(三)特徵重要性之分析

在機器學習中，特徵權重是用來衡量每個特徵對於模型預測結果的重要性的數值。權重越高，表示該特徵對模型的預測影響越大。權重可以通過多種方法來確定，本研究是依據相關性分配權重(weight by correlation)，計算每個特徵與目標變數之間的相關性(Sugianela and Ahmad, 2020)。在表 14 中可知單價(元/平方公尺)這個特徵的權重最高，約為 0.54，顯示其對預測車位價格的重要性最大，接下來是車位類別和車位總面積約為 0.37，這些特徵的權重也較高，顯示它們在預測模型中的重要性。而再來為主要建材、使用分區或編定等特徵的權重逐漸遞減，但仍對模型有一定的影響。最後可見到建物現況格局 - 隔間的權重最小，接近於 0，表示它對車位價格的預測較沒有影響。

表 14 特徵重要性分析

特徵	權重
單價(元/平方公尺)	0.5377
車位類別	0.3885
車位總面積	0.3870
主要建材	0.2793
使用分區或編定	0.2259
建物型態	0.2253
非都市使用分區	0.1733
非都市土地使用地	0.1722
附屬建物面積	0.1617
總價	0.1448
陽台面積	0.1269
交易類型	0.1141
建物現況格局 - 房	0.0895
建物現況格局 - 衛	0.0861
建物現況格局 - 廳	0.0590
是否有電梯	0.0587
主建物面積	0.0441
建物總面積	0.0376
有無管理組織	0.0155
土地總面積	0.0154
建物現況格局 - 隔間	0.0050

而由於車位總面積之欄位為 0 的資料佔總資料量的 32.16%，本研究於 4.2 節刪除車位總面積特徵做其車位價格的預測，在表 15 中可見單價(元/平方公尺)這個特

徵的權重依舊是最高，約為 0.54，顯示其對預測車位價格的重要性最大，接下來是車位類別約為 0.39，與表 9 做比較其結果大致相同。經由特徵重要性分析可知，在車位價格預測中，與車位相關的屬性(如車位類別)具有重要性。

表 15 無車位總面積之特徵重要性分析

特徵	權重
單價(元/平方公尺)	0.5377
車位類別	0.3885
主要建材	0.2793
使用分區或編定	0.2259
建物型態	0.2253
非都市使用分區	0.1733
非都市土地使用地	0.1722
附屬建物面積	0.1617
總價	0.1448
陽台面積	0.1269
交易類型	0.1141
建物現況格局 - 房	0.0895
建物現況格局 - 衛	0.0861
建物現況格局 - 廳	0.0590
是否有電梯	0.0587
主建物面積	0.0441
建物總面積	0.0376
有無管理組織	0.0155
土地總面積	0.0154
建物現況格局 - 隔間	0.0050

(四)各縣市車位價格統計

在經過梯度提升樹訓練後，可使用其模型並將原始資料的 179,255 筆資料都做預測，比較預測價格前後之統計資料如中位數、標準差、平均值。在中位數可見大部分縣市的變化較小，但有些縣市如彰化縣、南投縣和臺北市，變化幅度較大，如彰化縣資料共有 1242 筆，但其價格為 0 之資料就有 1006 筆。在平均值中大部分縣市的平均值變化幅度較小，但也有些縣市如臺北市、南投縣、嘉義縣市，平均值變化較大。在標準差的變化，同樣也是臺北市的變化較大，其價格分佈的離散程度在預測後有增加。而在三者表現預測前後差異都較大的縣市為南投縣、彰化縣、臺北市，在前兩個縣市可推測其原因為原始訓練資料量較少，導致前後變化較大，而在臺北市的部分，其模型的預測精度約在 23 萬左右，這意味著每筆預測值的平均誤

差在 23 萬左右，由表 16 及 17 之預測前後之統計數據的差額可見其結果是一致的。本項實驗工作驗證了使用機器學習分離房價及車位的可行性。以主題地圖呈現如圖 4 及 5。

表 16 各縣市車位價格中位數統計(獨立驗證資料集)

縣市名稱	預測前 樣本數	預測後 樣本數	預測前中 位數(元)	預測後中 位數(元)	預測前後 差額(元)	相對誤差 (%)
金門縣	52	135	975000	866042	-108958	11
宜蘭縣	439	1959	1050000	975761	-74239	7
新竹縣	1637	8049	1150000	1288910	138910	12
苗栗縣	445	3138	950000	994481	44481	5
彰化縣	163	1242	700000	958291	258291	37
南投縣	120	604	750000	965923	215923	29
雲林縣	84	628	650000	802215	152215	23
嘉義縣	17	272	800000	800356	356	0
屏東縣	104	1532	1000000	1001086	1086	0
臺東縣	26	136	880000	865568	-14432	2
花蓮縣	432	801	500000	798198	298198	60
基隆市	1546	3328	1350000	1304361	-45639	3
新竹市	613	4547	1160000	1206414	46414	4
嘉義市	16	793	975000	973973	-1027	0
臺北市	6659	17347	2500000	2226774	-273226	11
高雄市	6823	22922	1600000	1585116	-14884	1
新北市	21026	44103	1890000	1746126	-143874	8
臺中市	5812	29354	1400000	1323352	-76648	5
臺南市	1539	7830	1200000	1157708	-42292	4
桃園市	10299	30432	1500000	1448127	-51873	3
澎湖縣	null	103	null	1346193	null	null

表 17 各縣市車位價格平均值統計(獨立驗證資料集)

縣市名稱	預測前 樣本數	預測後 樣本數	預測前平 均值(元)	預測後平 均值(元)	預測前後 差額(元)	相對誤差 (%)
金門縣	52	135	775000	838954	63954	8
宜蘭縣	439	1959	1023421	998827	-24594	2
新竹縣	1637	8049	1161161	1271097	109936	9
苗栗縣	445	3138	948539	989306	40767	4
彰化縣	163	1242	850061	976605	126544	15
南投縣	120	604	766917	929223	162306	21
雲林縣	84	628	634762	811598	176836	28
嘉義縣	17	272	688235	870048	181813	26
屏東縣	104	1532	984904	995548	10644	1
臺東縣	26	136	871923	869292	-2631	0
花蓮縣	432	801	663241	839902	176661	27
基隆市	1546	3328	1279205	1276991	-2214	0
新竹市	613	4547	1124535	1218386	93851	8
嘉義市	16	793	808125	997207	189082	23
臺北市	6659	17347	2388282	2191489	-196793	8
高雄市	6823	22922	1566541	1531747	-34794	2
新北市	21026	44103	1823041	1726986	-96055	5
臺中市	5812	29354	1367223	1266320	-100903	7
臺南市	1539	7830	1237166	1161741	-75425	6
桃園市	10299	30432	1529888	1450144	-79744	5
澎湖縣	null	103	null	1309516	null	null

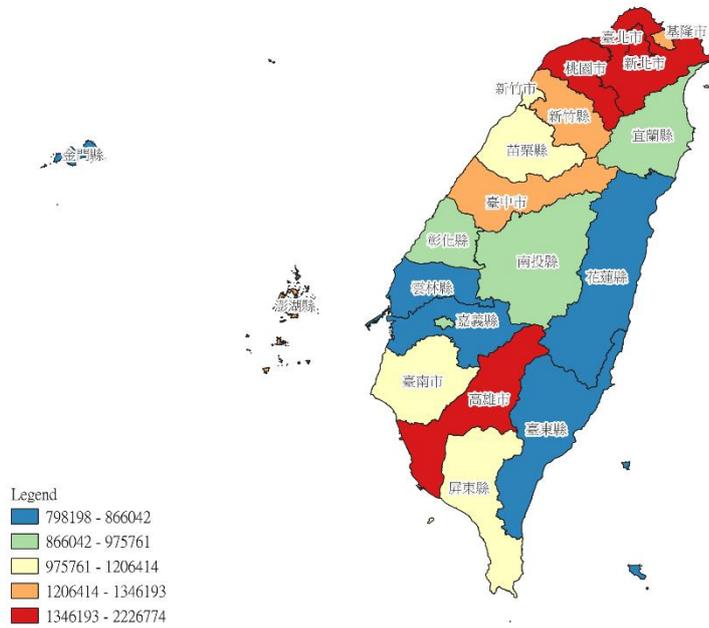


圖 5、各縣市車位價格之中位數空間分布(預測後)

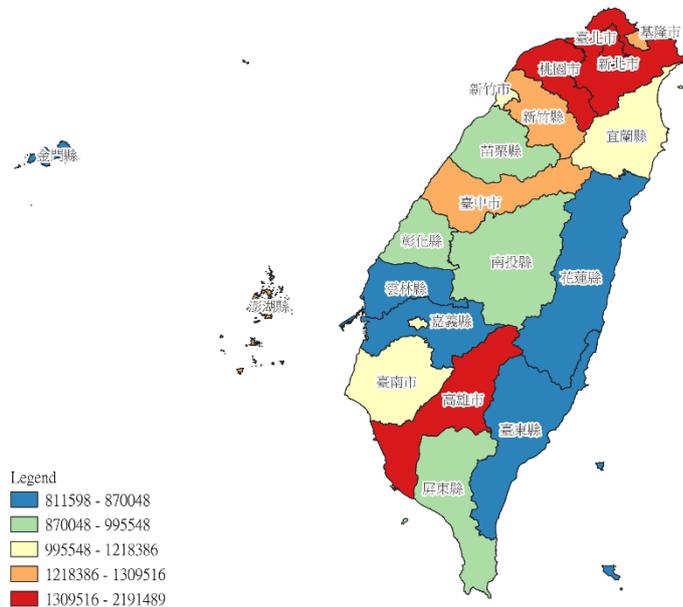


圖 6、各縣市車位價格之平均值空間分布(預測後)

五、結論

實價登錄於 2012 年 8 月 1 日上線，在實價登錄資料中車位通常與房屋一起出售，且價格會合併登記，導致實價登錄資料中雖有車位交易，其車位價格卻為 0，因此本研究將利用有車位交易且有價格資訊的資料以梯度提升樹做訓練得到模型並預測車位價格，以探討梯度提升樹對於價格預測的可行性與準確度。

首先比較不同離群值標準之預測精度，由於車位類別眾多，每一類別的面積及價格分佈大不相同，像是坡道平面以及升降平面的面積較大其價格也較高，因此以不同類別訂定不同標準離群值；而在資料統計中可知坡道平面與坡道機械就佔了資料中的多數，因此我們比較剔除同一標準離群值及剔除不同類別不同標準離群值的預測精度，探討是否需要定義不同類別之離群值。而以剔除同一標準離群值之資料集做訓練的獨立資料之預測精度 RMSE 達 252540 元，而以刪除不同標準的離群值之資料集做訓練其獨立資料之預測精度 RMSE 達 236653 元，可得知設定離群值時，考慮不同類別之價格與面積分佈是相當重要的，適當的離群值設定可改良預測精度。

而第二部分則是比較有無車位總面積此特徵做訓練比較其精度，因原始資料中車位總面積為 0 之資料佔據相當多，達本研究資料之三成，為貼近實際資料之應用，本研究比較刪除車位總面積特徵前後之精度，而在刪除車位總面積特徵訓練後的精度 RMSE 為 245347 元，與刪除離群值之資料集做訓練之預測精度 RMSE 達 236653 元，其精度相差不大，由此可知無車位總面積特徵也可以成功預測車位價格。第三部分之特徵重要性分析中可得知單價(元/平方公尺)、車位類別和車位總面積特徵對模型訓練較為重要。在第四個部分我們比較了預測前後各縣市車位價格統計，可知多數縣市預測前後之中位數、平均值差異較小，但在南投縣、雲林縣、嘉義縣、花蓮縣、和嘉義市差異較大，其原因推測為原始訓練資料量較少，而臺北市的部分，由於其模型的預測精度約在 24 萬左右與統計結果的差異是一致的。

本研究利用機器學習中的梯度提升樹結合實價登錄的資料做車位價格預測，其精度可到達約每個車位 236,653 元，以車位平均值 1,672,019 元而言，相對誤差約 14.15%。可以有效將車位價格與房屋價格分離，包括中位數、平均數及標準差的計算，展示車位價格在不同價格區間的空間分布，有助理解車位價格。期望本研究之資訊可助於了解車位市場的趨勢和需求。

誌謝

本研究承蒙瑞竣科技股份有限公司提供實驗資料得以順利完成，謹此誌謝！

參考文獻

- 林雋修，2021，房價與停車位價格之綜效分析—以臺北市為例，國立政治大學地政學系，碩士論文。
- 邱司杰，2014，基於實價登錄的房價模型研究，國立交通大學網路工程研究所，碩士論文。
- 張治政，2018，影響台中市公寓交易價格之研究，嶺東科技大學企業管理所，碩士論文。
- 劉昱佑，2021，農地價格指數之建構：應用臺灣實價登錄資料的大數據分析，國立臺灣大學農業經濟學研究所，碩士論文。
- 王文璋，2020，應用最小二乘支持向量回歸實價登錄資料於不動產價格之預測，國立暨南國際大學資訊管理學系，碩士論文。
- 吳柔霏，2021，房地合一稅與實價登錄制對台灣房地產的影響，國立中興大學高階經理人碩士在職專班，碩士論文。
- 施雅軒，2021，高雄市苓雅區 101~105 年透天厝交易價格空間區域分布—以實價登錄為例，國立高雄師範大學地理學系，碩士論文。
- Friedman, J. H, 2001,. Greedy function approximation : A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29(5), pp.1189-1232.
- Khashei, M., Bijari, M, 2010,. An artificial neural network (p, d, q) model for time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 37(1), pp.479-489.
- Manasa, J., Gupta, R., Narahari, N. S, 2020,. Machine learning based predicting house prices using regression techniques. In *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, Processes in IEEE, pp. 624-630. IEEE.
- Natekin, A., Knoll, A, 2013,. Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, pp.21.
- Sapankevych, N. I., Sankar, R, 2009,. Time series prediction using support vector machines : A survey. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 4(2), pp.24-38.
- Sugianela, Y., Ahmad, T, 2020, Pearson correlation attribute evaluation-based feature selection for intrusion detection system. In *2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*, Location : Processes in IEEE, pp. 1-5.
- Wang, J., Li, P., Ran, R., Che, Y., Zhou, Y, 2018, A short-term photovoltaic power prediction model based on the gradient boost decision tree. *Applied Sciences*, 8(5), pp.689.

Zaki, J., Nayyar, A., Dalal, S., Ali, Z. H, 2022, House price prediction using hedonic pricing model and machine learning techniques. *Concurrency and Computation : Practice and Experience*, 34(27), e7342. <https://doi.org/10.1002/cpe.7342>

結合遙測及共享單車時空數據於都市土地使用分類及 模擬

林秀蓮¹ 朱宏杰^{2*}

論文收件日期：113.08.23

論文修改日期：113.11.29

論文接受日期：113.11.29

摘要

共享單車的時空資料記錄了豐富的人文活動資訊，得以反映不同的土地使用類別在時空上相應的交通流動模式，由此確立了土地使用和共享單車使用模式間相互印證的可行性。土地使用分類一直是都市規劃和土地利用管理中的重要問題，能夠準確地進行都市土地分類可以幫助決策者更好地制定都市發展計劃和政策。近年來隨著大數據普遍容易取得和人工智慧的快速發展，許多研究利用機器學習或是深度學習結合衛星影像，進行大面積土地使用分類。雖然衛星影像在區分光譜特性差異明顯的建物、水體、植被下有相當好的表現，但若以使用分區對建物做細分，只靠衛星影像可能無法提供足夠的辨識資訊，而社會感知資料可反映人類的活動模式，藉以補足衛星影像的不足。因此，本研究以共享單車騎乘數據為社會感知資料，結合遙測影像，利用隨機森林以像素單位之進行都市土地使用分類推估，結果以資料內容而言，考量遙測資料結合社會感知資料的分類表現最佳，整體精度為0.88。本研究也發展都市發展時空模擬模型，藉由隨機森林得到商業區和住宅區的適合度，模擬未來5年後和10年後商業區和住宅區的發展位置。本研究印證了共享單車站點租借和歸還人次於時空分布之特性和都市土地分類的空間分布有密切關係，都市土地使用分類可說是依據人文活動來劃分使用分區，利用共享單車騎乘資料的時間與空間特性進行都市土地使用分類預測，可以為都市規劃和土地管理提供客觀真實之案例應用。

關鍵詞：土地使用分類、社會感知資料、機器學習、模擬

¹ 碩士，國立成功大學測量及空間資訊學系。

² 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

*通訊作者，TEL:(06)2757575 # 63827, E-mail: honejaychu@geomatics.ncku.edu.tw。

Urban Land Use Classification and Simulation Using Remote-sensing and Bicycle-sharing Data

Hsiu-Lien Lin¹, Hone-Jay Chu^{2*}

Abstract

Shared bicycle data provides valuable information about human activities, reflecting the corresponding transportation flow patterns in different land use categories over time and space. This establishes the feasibility of verifying the interrelation between land use and shared bicycle usage patterns. Land use classification has been a significant issue in urban planning and land management. Accurate urban land classification can help decision-makers better formulate urban development plans and policies. Recently, with the widespread availability of big data and the rapid development of artificial intelligence, many studies have used machine learning or deep learning in conjunction with satellite imagery for large-scale land use classification. Although satellite imagery performs well in distinguishing between different spectral characteristics of buildings, water bodies, and vegetation, it may not provide sufficient recognition information for finer land use zoning. Social sensing data can reflect human activity patterns, thus complementing the shortcomings of satellite imagery. This study uses shared bicycle riding data as social sensing data, combined with remote sensing imagery to employ random forests for urban land use classification at the pixel level. According to the results, the combination of both data yields the best performance, with an overall accuracy of 0.88. This study also develops a spatiotemporal simulation model for urban development to simulate the development locations of commercial and residential areas in the future. The study confirms that the spatial distribution characteristics of shared bicycle station rentals and returns are closely related to urban land classification, indicating that urban land use classification can be based on human activities to delineate usage zones. Using the temporal and spatial characteristics of bicycle riding data for urban land use classification prediction can provide practical case applications for urban planning and land management.

Keywords: Land use classification, machine learning, simulation, social sensing

¹ Master, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

² Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

*Corresponding Author, TEL:(06)2757575 # 63827, E-mail: honejaychu@geomatics.ncku.edu.tw.

一、前言

都市土地使用分類在當今都市發展中扮演著重要角色。隨著都市人口的持續增長和都市化進程的加速推進，土地資源的有效利用和合理配置成為了亟待解決的問題。因此，都市土地進行系統化分類和預測成為了都市規劃和土地管理的重要工作之一。都市土地分類有助於了解土地資源的分佈情況和利用狀況，為地區的發展和土地規劃提供科學依據。通過對土地用途、土地規劃和土地開發潛力的分析，提高土地利用效率。

隨著衛星技術臻於成熟，包含多種波段訊息的高空間解析度的影像提供細緻且豐富的地表訊息，包括水體、植被、建物的空間分布以及各地物的形狀紋理，各波段間的組合運算也延伸出代表不同地物的指標數據，如常態化差異植生指標NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)等，這些資訊在地物種類較單純的分類上往往能取得相當良好的分類結果。然而，土地使用分類是根據人類活動模式來劃分，類別較為複雜，在土地覆蓋分類為建物的類別，在土地使用分類則依據建物的使用功能細分為住宅、辦公室、工業區、交通設施等，衛星影像缺乏社會經濟及人文屬性，若遙測結合地方相關的社會感知資料能更準確地進行土地使用分類，如Shi et al.(2019)結合Landsat-8光學衛星影像、Sentinel-1A SAR資料、ZY-3高解析度影像、社群軟體WeChat 使用者密度資料，參照高解析度影像劃分出物件單元，決策樹預先篩選重要因子，再利用隨機森林演算法進行土地使用及覆蓋分類。透過多筆資料在選擇上的排列組合，交叉比對帶不同屬性的資料對土地使用及覆蓋的分類精度的貢獻，Landsat-8光學衛星影像對各類別的精確率提升最顯著，透過社群資料之使用密度在時序上的變化模式，能有效區分不同類型的建物。本研究使用的社會感知資料為共享單車各站點於特定時段的租借及歸還人次，共享單車最早起源於1965年的荷蘭，隨著2007年於法國巴黎設置的大型共享單車系統，共享單車的概念和需求開始受到各國關注，時至今日，隨著環保健康意識發展，共享單車系統於台灣、美國、中國、韓國、日本等國家都有非常大量且穩定的騎乘需求，因此具有足夠資訊反映出都市人口流動模式。共享單車騎乘資料可以反映出都市不同區域的交通流量和人口活動強度，透過分析共享單車騎乘的時空分佈情況，在區分都市土地使用類別之餘，也能依據土地使用類別的空間分布，選擇站點增設地理位置，以及各時段共享單車站點的車輛數量追蹤控管，例如在下班時間商業區站點的租借量可能會供不應求，在住宅區的站點可能會有大量歸還導致沒有空位還車，由此建立共享單車騎乘行為和土地使用分類的雙向連結，若能確立社會感知資料和都市土地分類有高度相關性，則可以進行多面向的應用。Sun et al.(2023)提出基於機器學習基礎之多變數插值融合模型分析不同土地利用類型對共享單車需求量之影響，包括景觀設施、公共設施、金融設施、住宅設施、辦公設施等。研究中提出透過不同機器學習進行融合並探討其效益，發現Generalized Regression Neural Network (DRNN)的 Root Mean Square Error (RMSE)和Mean Absolute Error (MAE)最小，因此選擇DRNN融合模型來模擬最終結果，探討不同土地利用類型對共享單車需求量的驅動力，其中以金融

設施、辦公設施、住宅設施驅動力最高，代表這三種土地使用類型的共享單車需求量顯著，其他景觀設施和公共設施的驅動力則較小。

都市變遷伴隨著地物結構及自然生態系統的變化，作為一個龐大且複雜的運作系統，都市發展不只是地物隨時間於空間上之消長，也承載科技與人文於不同時空中的演變，預測土地的需求和供應情況，可以合理規劃城市的基礎建設和公共設施，提高都市運行效率。關於都市土地使用模擬，謝雅婷(2011)採用多種空間分析方法來探討台南市五期重劃區的建地成長特性及模式，首先以Moran's I建構空間自相關係數圖，以確認不同近鄰範圍下的空間自相關程度，並進一步應用區域型空間自相關計算LISA(Local Indicator of Spatial Association)值，以識別空間上的熱區和冷區，進一步分析空間中的聚集效應，作為後續SEED CA(Cellular Automaton)模型中之影響變數，該研究選取可及性因子做為建地發展的影響變數，以空間多準則評估結合GIS，依相關性分析及加權取權重總和，製作發展潛力圖，代表基於區位特性對建地發展之優勢及限制條件，為影響建地生長的重要因素，空間多準則評估所得之發展潛力值作為SEED CA 模型中格點轉換的動力，CA模型由網格空間、網格狀態、近鄰定義、轉移規則所構成，SEED CA 模型加入發展起始點(seeds)因素，基於空間相依性及CA擴散之概念，建立轉換規則進行動態模擬，起點在現實環境中代表初始建物，基於空間相依性對周邊鄰近區位之土地具有開發吸引力，結果顯示臺南五期重劃區的建地成長受除了空間區位因素影響外，亦受近鄰屬性與空間互動因子所影響，且不論選定起點之區位及數量，最後發展型態是相似的，說明不論初始建築物選擇在何處開發，在何處起造，經時空互動發展後所形成的都市型態會相似的。Cheng et al. (2022) 使用整合GIS之多準則評估法建立評估模型，以文物古蹟保護、文化基礎建設、空間易達成度等七個面向作為指標資料選擇的評估標準，其次，以地方治理面向進行問卷調查實踐地方觀點，評定出個發展目標下潛力因子間的權重，最後應用空間多準則評估建構文化導向都市發展策略下最小統計區、網格單元、村里單元之空間單位的潛力區位。Wang et al. (2022)提出ANN-CA作都市成長模擬，ANN神經元結構可更精準的處理各因子間複雜之非線性關係。ANN模型之輸入項包含地理因子如坡度、和水體、陸地的距離，以手機訊號估算之動態的人口流動因子，以及土地使用情形，CA的模擬過程則考量訓練完成的ANN結果以及土地使用情形中加入之空間自相關、地理制約條件及隨機干擾項，計算出每個網格單位中轉變機率值，代表從非都市土地轉變為都市土地的可能性。

本研究之目的，一則透過大數據資料整理出共享單車站點租借歸還在時間上數量的變化情形及空間上的分布特性，觀察其和土地使用分類的關聯，藉由遙測資料和社會感知資料，以機器學習進行土地使用分類預測，並根據分類結果針對內容進行探討，二則以機器學習類別預測機率作為適合度指標，建立都市發展時空模擬模型，以商業與住宅區發展作為案例。

二、研究試區與資料

本研究選擇美國紐約市曼哈頓區做為研究試區，曼哈頓（Manhattan）是美國紐約市五個行政區之中人口密度最高，且被視為美國的經濟重心所在，不僅是聯合國總部大樓、紐約市政廳及眾多跨國企業總部的所在地，位於南方的華爾街更被譽為世上最重要的金融中心之一，此外，有許多知名景點及學校皆坐落於此，包括時代廣場(Time square)，百老匯劇院(Broadway theatre)等。曼哈頓可謂集經濟、娛樂、教育於一身之繁華地帶，大量的人口活動使得該地區成為紐約共享單車(New York Citi Bike)的起源地，因此曼哈頓地區的共享單車資料在時間上最完整，且能反映大量人口的移動情形。

本研究使用資料分為遙測資料和社會感知資料，遙測資料為從Google Earth Engine 下載 Sentinel-2衛星影像 (2018/9/3)，取藍光 (B2)、綠光 (B3)、紅光 (B4)波段和NDVI作為遙測資料四項變數。社會感知資料選擇Citi Bike位於研究區373個站點在2018年9月份平日早上7點至10點、下午5點至晚上8點，假日下午3點至5點，以各小時為統計區間分別統計各站租借次數總和及歸還次數總和，共16項變數。地真資料則為依據MapPLUTO土地使用分類訂定的四個類別，MapPLUTO資料來源：<https://www.nyc.gov/site/planning/data-maps/open-data/dwn-pluto-mappluto.page>，如表1所示。像素是網格格式的基本單元，提供詳盡的特徵及精細的空間解析度，且適用於不同尺度的地理空間，在進行空間資訊的整合處理上較直觀，為多數研究進行空間地理資訊分析所採用的空間單位。以結合遙測資料和社會資料之分類結果為例，輸入的特徵資料(自變數)為遙測資訊，以及各站特定時段之租借及歸還總次數以Kernel Density產製的核密度圖層，核密度取搜尋半徑約300公尺，共20個圖層，並轉成一維Data frame格式輸入模型進行訓練及預測，產生混淆矩陣，將預測結果轉成二維矩陣輸出分類圖。地真資料則為MapPLUTO的土地分類資料，在屬性表格新增本研究的分類欄位後將此向量檔案以該欄位轉成網格檔案。

表1 對應MapPLUTO歸納之本研究土地使用分類

土地使用分類(本研究)	MapPLUTO
住商混合區	Mixed Residential & Commercial Buildings
住宅區	One & Two Family Buildings Multi-Family Walk-Up Buildings Multi-Family Elevator Buildings
商業區	Transportation & Utility Public Facilities & Institutions Industrial & Manufacturing Commercial & Office Buildings
開放土地	Parking Facilities Open Space & Outdoor Recreation Vacant Land

三、研究方法

本研究流程如圖1所示，主要包含(1)考量遙測與社會感知資料，進行像素單元之土地使用分類，以及(2)考量土地使用類別機率之都市發展時空變化模擬。

首先進行資料預處理，NYC Citi bike各站點的租借及歸還數量為社會感知資料，以Sentinel-2衛星影像取紅、綠、藍光波段及NDVI作為遙測資料，藉由上述之輸入資料及土地類別輸出資料，以隨機森林(Random Forest)模型進行土地使用分類訓練，並將分類測試結果和MapPLUTO的地真資料做分類結果之精度評估。針對不同資料內容產生的多組土地分類結果之整體精度、各類別的精度指標等進行比較分析，本研究亦分析共享單車於時間和空間維度的租借及歸還模式並與土地使用分類做連結，兩者的關聯性則用來支持分類結果的效能和解釋其不足之處。在探討共享單車租借歸還模式與土地使用類別的關聯和各組分類結果的表現之餘，本研究為更貼近實質應用層面，以隨機森林之機率適合度，延伸建立都市住宅與商業區發展之時空模擬。

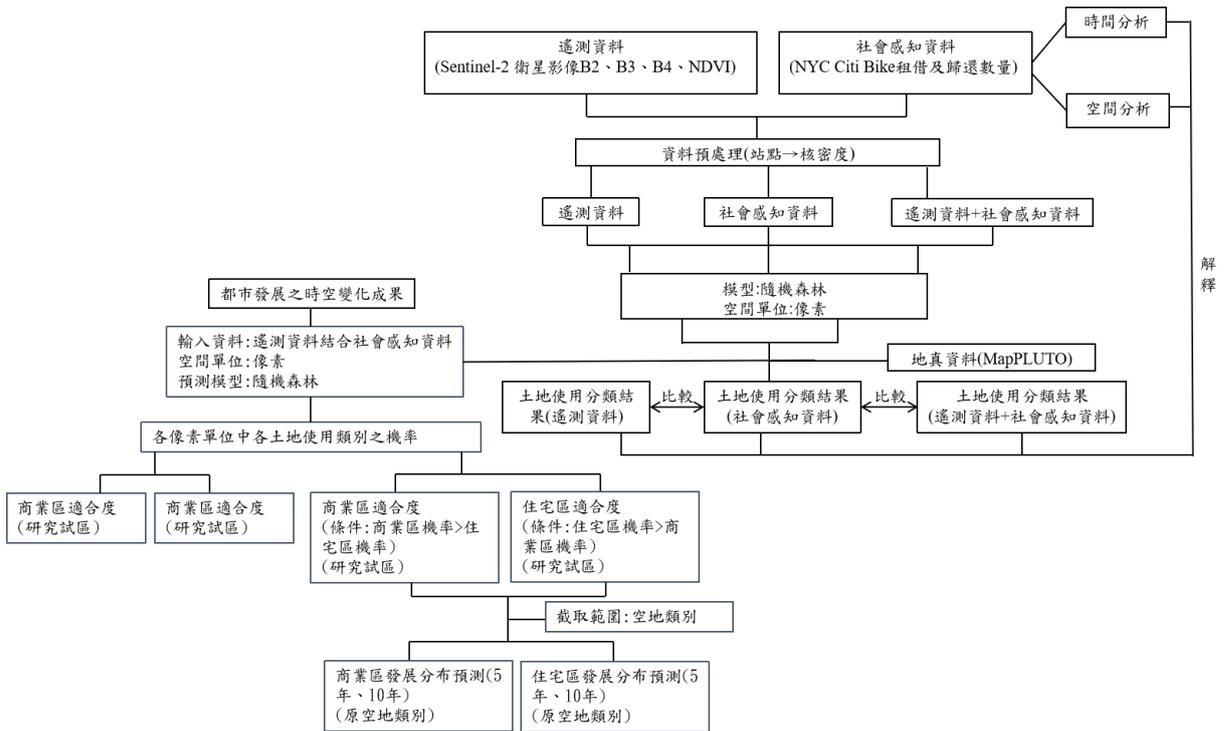


圖1 研究流程，包含土地使用分類(右上部分)與時空模擬(左半部分)

(一) 隨機森林

隨機森林主要為土地使用分類模型，及提供模擬模式之適合度。圖1右上部分為隨機森林土地使用分類模型，隨機森林是種監督式學習模型，在隨機森林中透過隨機抽取樣本建構多棵決策樹，再將每顆決策樹產生的預測以多數決方式決定

最後結果，可改善過擬合問題並提升預測能力。隨機森林有以下兩個主要架構 (1) 決策樹(decision tree)是一個樹的結構，主要由節點和分支構成。每個節點包含各項待測試或判斷的特徵向量，根據測試結果持續將資料分成子集，直到該節點內只剩一種判斷結果。分支連接不同的節點，代表根據特徵值所做的不同決策。分支的形式取決於決策樹中的決策規則。(2) Bootstrap(拔靴法)指從資料中每次隨機取n個樣本，取後放回，每個樣本被抽取的機率相同且能重複被抽取，透過這種方式可從資料中取k個子集，建立k棵決策樹。最後所有決策樹的結果，在分類問題以多數投票法(Major voting)決定該樣本的類別。Bootstrap藉由重抽樣可以避免子集樣本數逐次減少的問題，另外重抽樣的抽樣方式也創造了數據的隨機性，因此降低選到有噪聲的資料的機率，使模型表現穩定。

本研究使用Python sklearn.ensemble.RandomForestClassifier設置的參數包括 n_estimation=200(決策樹的數量)、 max_depth=30(樹的最大深度)、 max_samples=0.9(訓練決策樹所抽取X數據的比例)、 criterion=gini(決策樹分裂規則)、 min_sample_split=0.9(分裂內部節點所需最小樣本數)，其餘參數使用預設值。訓練資料和測試資料考量運算時間和容量限制，分別取283511個像素和2551604個像素。

(二) 都市土地利用時空模擬

圖1左半部分為都市土地利用時空模擬，都市土地利用時空模擬首先分別產製研究試區商業區適合度和住宅區適合度，接著模型預測商業區或住宅區發展分布。關於適合度，由隨機森林模型輸出每個像素中各土地使用類別的機率值，將作為適合度的依據，機率越高的類別越適合做為該像素之土地使用類別。

本研究假設空地類別會依土地利用需求逐年發展為商業區或住宅區，商業或住宅區適合度高的像素所在位置優先發展成商業或住宅區，且有發展競爭，如商業區大於住宅區之優勢條件。土地利用需求面積假設每年從空地變更至商業區或住宅區的面積占總空地面積的3%，且逐年呈線性成長，模型依照機率值大小與需求，依序選擇範圍內像素和對應機率值，分別以商業區和住宅區機率值前15%和前30%的像素作為5年後和10年後商業區和住宅區的可能發展位置，並考量商業區與住宅區發展競爭。商業區適合度圖層只保留符合條件的像素對應之商業區機率值，其他像素機率值為0，產製住宅區適合度圖層，該圖層只保留符合條件的像素對應之住宅區機率值，其他像素機率值為0，換言之，若該像素的商業區機率值大於住宅區機率值，則保留商業區機率值，反之則保留住宅區機率值，因此每個像素只會有商業區的機率值或住宅區的機率值，如此可避免在選擇未來發展成為商業區或住宅區的像素位置時有些像素可能會被重複選擇。

四、研究結果與討論

(一) 共享單車租借及歸還數量於時間上之探討

圖 2 為平日各土地使用類別站點每小時租借及歸還總數量。平日的商業區為人文活動主要活躍之處，不論是商業區之間還是和其他土地使用類別之間，市民根據不同需求穿梭其中，使商業區站點騎乘數量普遍比其他三個類別多。商業區和住宅區租借及歸還總數各有一個尖峰時段，商業區租借尖峰時段落在下午 5 點至晚上 7 點，此時段適逢下班下課時間，主要人流陸續從辦公區域和學校附近租借共享單車騎乘離開，歸還的尖峰時段落在早上 8 點至 10 點，此時段適逢上班上課時間，主要人流陸續抵達辦公區域和學校附近。相比於整體，站點之間租借歸還總數的尖峰時段各有差異，以商業區來說，不同工作場所規定的上下班時間不盡相同，在上班上課時間比較早的商業區站點就會提早遇到大量歸還人數，下班下課時間比較早則提早遇到大量租借人數，上下班時間較晚的以此類推。住宅區的租借及歸還總數的尖峰時段大致和商業區相反，代表的站點租借尖峰時段剛好都落在早上 8 點至 9 點，適逢上班上學時間，主要人流從住家附近租借共享單車往商業區移動，歸還的尖峰時段為晚上 6 點至 7 點，適逢下班下課時間，主要人流陸續騎乘共享單車回到自己的居住地附近。住商混合區由於同時保有住宅區及商業區的性質，且錯落於住宅區和商業區，所以該類別站點的租借及歸還的尖峰時段往往根據周圍建物的用途而傾向於商業區或住宅區的模式，缺乏屬於該類別特有的變化模式。開放土地的租借歸還變化情形整體來在平日跟假日有著相似的租借歸還模式，即沒有明顯尖峰時段，從近中午時間至晚上 7 點維持一定騎乘量，不同於商業區和住宅區的短時間內大幅增減，過程約在 1 至 2 小時內，表現出短暫的尖峰。租借和歸還人次於時空分布之特性和都市土地分類的空間分布有密切關係，如近市中心、人口密度高、自行車道長度長、交錯多種土地使用之站點較為熱絡 (Zhang et al.2017)。

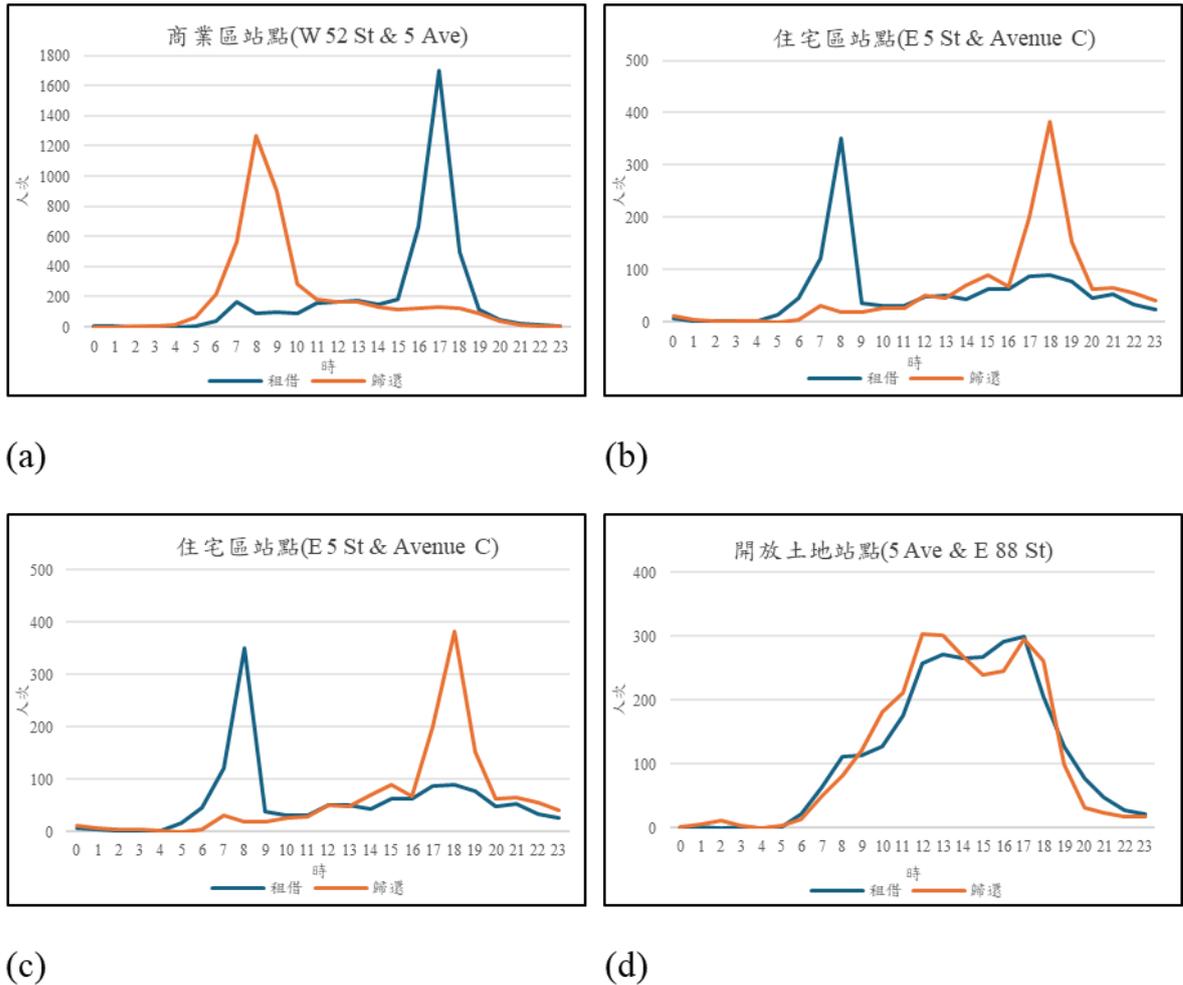


圖 2 平日各土地使用類別站點每小時租借及歸還總數量 (a)商業區(b)住宅區(c)住宅商混合區(d)開放土地

(二)共享單車租借及歸還數量於空間上之探討

圖 3 中顯示早上 8 點至 9 點的租借數量熱點主要分布在研究試區北方的中央公園兩側，以及試區中南部，大致與住宅區的分布位置吻合；早上 8 點至 9 點的歸還數量熱點則主要集中於研究試區中央，由中央公園南端往南延伸的狹長型分布，與商業區主要分布位置大致吻合。下午 5 點至晚上 6 點的租借位置熱點和早上 8 點至 9 點的歸還總數數量熱點分布類似，下午 5 點至晚上 6 點的歸還數量熱點則和早上 8 點至 9 點的租借位置數量熱點相似。由此可以推斷在這兩個時段租借及歸還主要都是同一批人，在早上尖峰時段從住家移動到工作/學校地區，於下午尖峰時段返回住宅區的通勤者。至於假日，因為沒有明確的尖峰時段，本研究取租借歸還總數相對較多的時段為尖峰時段。共享單車的移動是連續性的行為，且因為單次移動距離不會太長，因此騎乘者活動分布隨時間的變化程度較緩慢，假日的兩個尖峰時段相近，因此兩者的租借及歸還熱點在空間上具相似的分佈情形，所以只展示後者時

段的核密度圖。由圖 4 可以看到該尖峰時間租借及歸還熱點分布主要位於研究試區中南部，除了密集的百貨公司及著名景點皆聚集於此，偏西南方靠近海邊的區域，有渡輪港口以及可以眺望海景的各項娛樂設施或餐廳，以及北方中央公園周圍，在平日幾乎沒有熱點存在，可見在周末時多數人以公園綠地為騎乘目的地。不同於平日兩個尖峰時段具有顯著不同的分布位置，假日不同時段除了騎乘數量沒有明顯尖峰外，主要活躍的時段之間的租借歸還熱點分布位置無明顯差異，在細部來看，有些熱點分散其中，推測是假日騎乘的路線相對來說比較彈性，因此租借跟歸還的站點也出現隨機性，例如騎在路上突然看到有興趣參觀的景點，就在鄰近的站點還車。因此以空間分布來說平日租借及歸還熱點受時段影響聚集於商業區和住宅區，假日則聚集於娛樂場所和公園綠地。

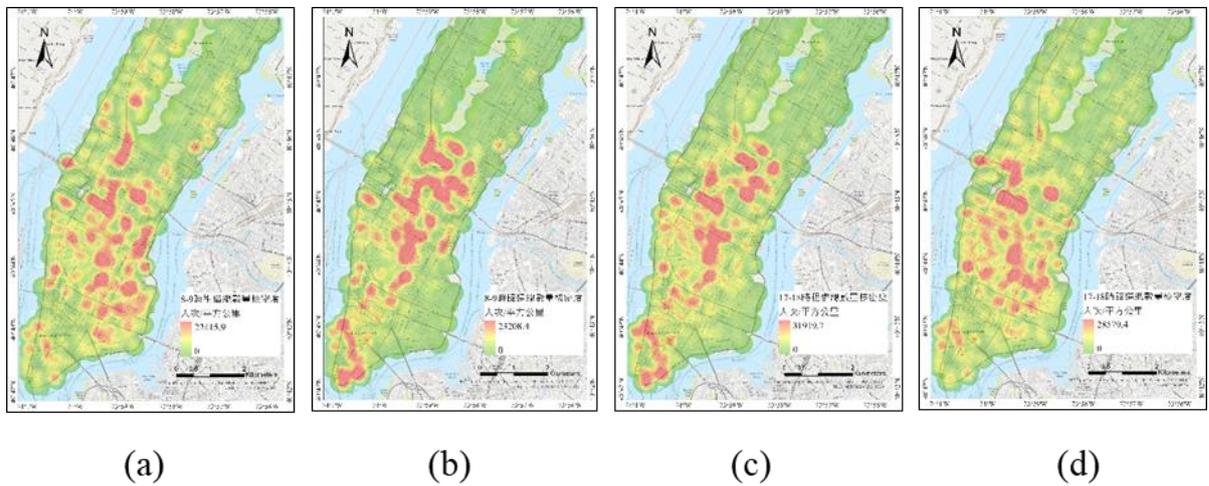


圖 3 平日尖峰時段共享單車租借及歸還總數量核密度圖(a)8 時-9 時租借(b)8 時-9 時歸還(c)17 時-18 時租借(d)17 時-18 時歸還

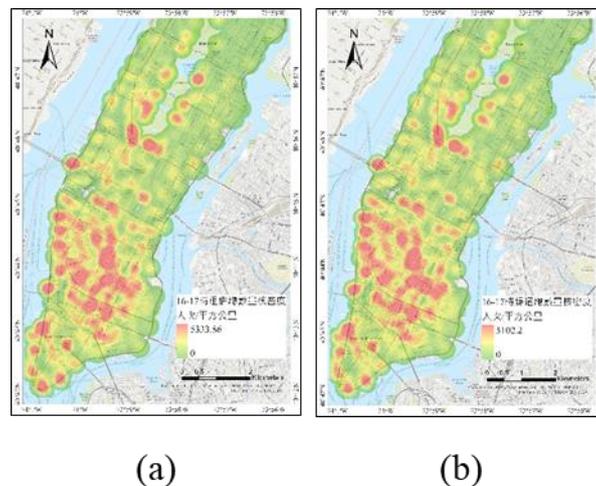


圖 4 假日尖峰時段共享單車租借及歸還總數量核密度圖(a)16 時-17 時租借(b)16 時-17 時歸還

(三) 土地使用分類結果

土地使用分類結果以混淆矩陣(表 2 至 4)所示，佐以土地使用可視化分類圖(圖 5)，圖 5 以隨機森林產製之土地使用分類圖：(a) 考量遙測資料(b) 考量社會感知資料(c) 考量遙測資料結合社會感知資料 (d) 地真資料，考量遙測資料結合社會感知資料之土地使用分類圖 5(c) 最貼近於地真資料，僅考量遙測資料之土地使用分類圖 5(a) 有許多雜訊存在，多加入社會感知資料有顯著的改善。針對考量的資料內容來瞭解土地使用分類結果，只使用遙測資料的分類結果整體精度為 0.77，開放土地的召回率和精確率最高(0.87/0.9)，住商混合區的召回率最低(0.61)，住宅區精確率最低(0.72)。只使用社會感知資料的測試結果整體精度為 0.83，開放土地的召回率最高(0.89)，住商混合區最低(0.76)，商業區的精確率最高(0.85)，住商混合區最低(0.8)。考量使用遙測結合社會感知資料的測試結果整體精度為 0.88，開放土地的召回和精確率最高(0.93/0.94)，住商混合區最低(0.79/0.84)。以混淆矩陣分析之，分別將使用遙測資料、使用社會感知資料，與使用遙測結合社會感知資料的結果作比較，發現使用遙測結合社會感知資料較僅使用遙測資料之四個類別的召回率和精確率皆提升，召回率以住商混合區提升最顯著(+0.18)，精確率商業區和住宅區皆提升 0.13；使用遙測結合社會感知資料較僅使用社會感知資料之四個類別的召回率和精確率皆提升，商業區的召回率提升最多(+0.08)，精確率以開放土地區提升最多(+0.11)。

綜合來看，遙測和社會感知資料對各土地使用類別的分類表現各有所貢獻，若將兩者結合能獲得精度高且穩健性佳的分類結果。像素為單元的土地使用分類具有高精度、特徵詳細和運用彈性的特質，能夠提供細緻的土地利用資訊，在地物變化監測上具有良好適用性，像素普遍被視為是二維圖像的最小單位，因此可在不同的空間尺度間進行切換和分析，但圖像呈現在視覺上容易因為椒鹽效應或邊界扭曲而失真。本研究試區的土地使用分類在空間分布上非常細碎複雜，不同類別摻和在一起，如此高度繁雜的資訊容易有噪聲問題，以及各類別之間的邊界分割處理上不夠明確，只使用遙測資料時單一像元之光譜反射值不足以代表地面上地物的特性，甚至可能為雜訊所在之處，因此易將雜訊誤分類成其他地物，此種現象稱之為椒鹽效應(孔繁恩 et al. 2014)。此外，隨機森林的重要因子選擇是基於 Gini gain 即不純度的差值，Gini gain 越大則該因子越重要，前五項重要因子分別為 NDVI、8 時_歸還、7_時歸還、19 時_歸還、19 時_租借，由此得知除了遙測資訊 NDVI 外，社會感知資料為多數重要因子。

表 2 土地使用分類結果混淆矩陣(考量遙測資料)

分類(像素) 地真(像素)	住商混合區	住宅區	商業區	開放土地	地真總數 (像素)	召回率
住商混合區	318244	83893	107030	12143	521310	0.61
住宅區	49294	497217	90705	24988	662204	0.75
商業區	46308	75648	671563	15716	809235	0.83
開放土地	8798	35412	30970	483675	558855	0.87
分類總數(像素)	422644	692170	900268	536522	2551604	
精確率	0.75	0.72	0.75	0.90	整體精度=0.77	

表 3 土地使用分類結果混淆矩陣(考量社會感知資料)

分類(像素) 地真(像素)	住商混合區	住宅區	商業區	開放土地	地真總數 (像素)	召回率
住商混合區	397254	54584	51596	17876	521310	0.76
住宅區	44725	554496	38823	24160	662204	0.84
商業區	42314	42327	667137	57457	809235	0.82
開放土地	12228	20902	29641	496084	558855	0.89
分類總數(像素)	496521	672309	787197	595577	2551604	
精確率	0.80	0.82	0.85	0.83	整體精度=0.83	

表 4 土地使用分類結果混淆矩陣(考量遙測資料結合社會感知資料)

分類(像素) 地真(像素)	住商混合區	住宅區	商業區	開放土地	地真總數 (像素)	召回率
住商混合區	414103	53288	47513	6406	521310	0.79
住宅區	37062	582951	33227	8964	662204	0.88
商業區	32277	37158	724693	15107	809235	0.90
開放土地	6654	13347	19434	519420	558855	0.93
分類總數(像素)	490096	686744	824867	549897	2551604	
精確率	0.84	0.85	0.88	0.94	整體精度=0.88	

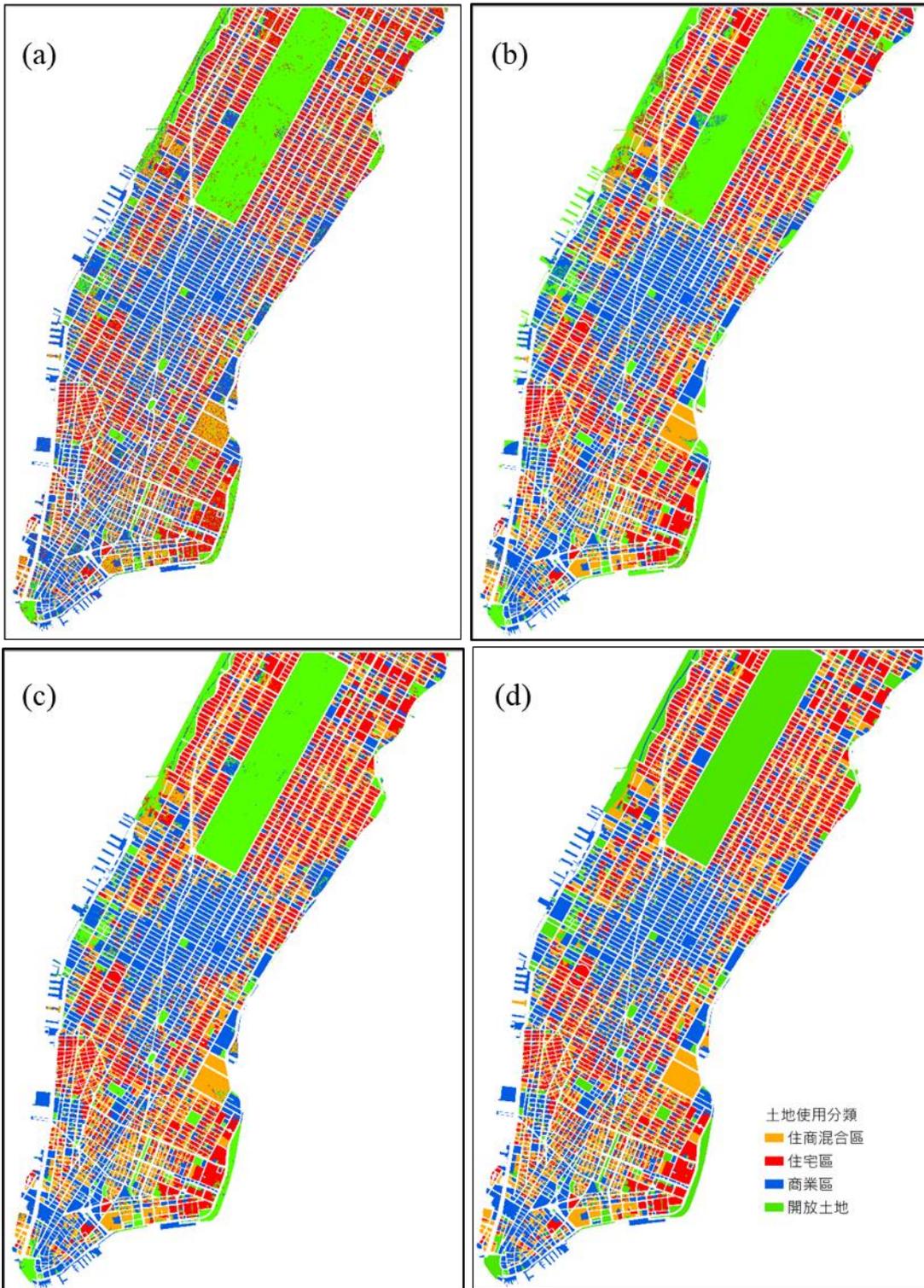


圖 5 以隨機森林產製之土地使用分類圖：(a) 考量遙測資料(b) 考量社會感知資料(c) 考量遙測資料結合社會感知資料(d) 地真

(四) 土地使用時空模擬

圖 6 為隨機森林產出之全區的商業區和住宅區適合度，可作為土地使用分類結果中住宅區跟商業區的決定依據，圖 6 中顏色最深或深度次之的區域在最終分類結果中，多數即歸類成商業區或住宅區。土地使用時空模擬結果，如圖 7 所示，從圖 7 可觀察五年與十年後原先空地變更發展的位置。測試區的都市發展程度已臻於成熟，由於商業區和住宅區有相對鮮明的使用特性，因此我們只假設空地類別將發展成商業區或住宅區而排除住商混合區，預測發展為商業區的位置主要分布在試區中部，部分聚集於西部面積較大的其中一塊空地，預測發展為住宅區的位置則主要分布在試區北部及東南部。商業區和住宅區兩個類別的預測發展位置相互有一定距離，商業區預測發展位置鄰近原始商業區類別，住宅區預測發展位置比鄰原始住宅區，由此反映出研究試區住商發展的特性。由於相鄰的像素對應相近的機率值，因此商業區和住宅區發展位置預測的走向將從幾個機率值最大的像素為中心向外逐年擴散，加上空地本身散落於市區中，因此呈現同時好幾個小區域各自群聚發展。本研究之土地使用時空模擬，透過加入特定條件包含面積需求、適合度、發展偏好等，進一步預測未來土地使用類別在時空上的變化情形，包括面積增減和分佈情況，表現出的時空演變動態，未來還可考慮其他人文活動、社會經濟發展、自然生態資源的時空屬性及其特定政策規範等約制條件。

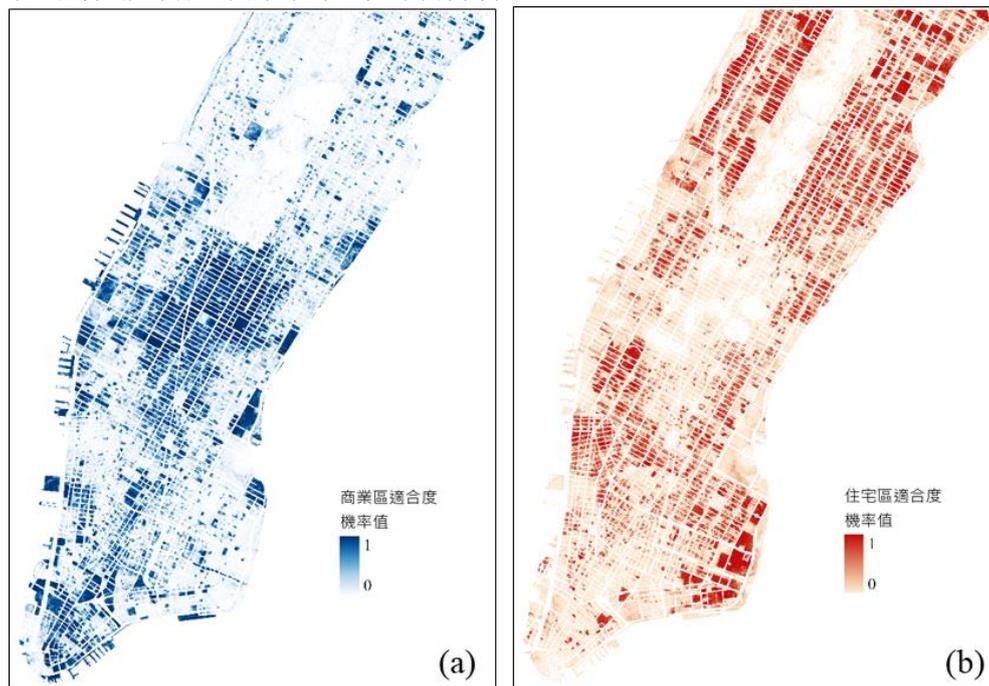


圖 6 (a)商業區(b)住宅區之適合度圖

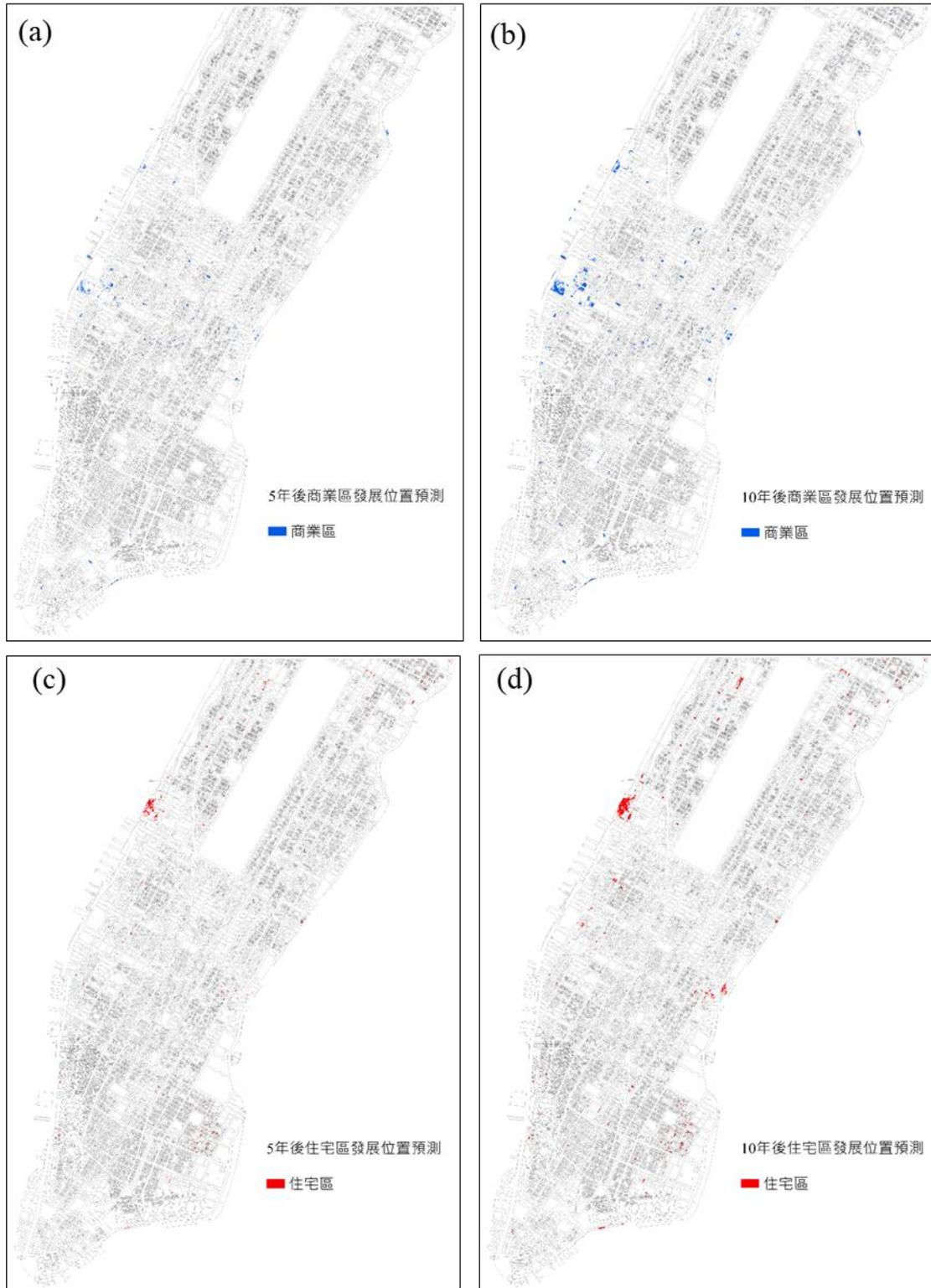


圖 7 (a) 5 年後 (b) 10 年後原空地類別發展為商業區之位置分佈預測圖; (c) 5 年後 (d) 10 年後原空地類別發展為住宅區之位置分佈預測圖

五、結論與建議

本研究結合共享單車數據和遙測影像以提高都市土地使用分類預測準確性，也印證了共享單車騎乘時空型態與土地使用類別之間存在密切關係，不同的土地使用類別反映出的租借及歸還型態具一定識別度，對細部區分建物的使用類別具相當貢獻度。研究區域曼哈頓早上尖峰時段租借熱點大致與住宅區的分布位置吻合，歸還數量熱點則與商業區主要分布位置大致吻合；下午尖峰時段租借位置熱點和歸還數量熱點則分別集中在商業區和住宅區，這說明與上下班通勤行為有很大關聯。平日大部分住宅區租借尖峰介於早上8點至10點，歸還尖峰介於下午5點至晚上7點，商業區尖峰時段與住宅區呈租還反向，住商混合區的租借及歸還尖峰時段受到周圍建物用途影響傾向商業區或住宅區模式，開放土地無明顯尖峰時段。目前僅分析平日與假日租借數量，未來可分析不同時空頻率或進行細部變化之討論。遙測數據提供大範圍的土地覆蓋資訊，但缺乏地面活動的細部，而共享單車站點的租借及歸還數據則能夠提供微觀層面的細節，幫助識別特定地區的土地使用功能，遙測資料和社會感知資料對各土地使用類別的分類表現各有所貢獻，將兩者結合能獲得精度高且穩健性佳的分類結果。遙測資料主要用於正確區分出開放土地，社會感知資料則優化模型區分商業區、住宅區、住商混合區的能力，然而住商混合區因為兼具住宅區和商業區的建物使用性質，在一定程度上還是容易被錯誤分類成住宅區和商業區。由於開放土地和其他三個類別在地物特徵上有較明顯差異，較容易區隔，因此皆有相當高的召回率和精確率，並沒有因為缺少遙測資料而大幅降低該類的辨識能力。本研究之隨機森林分類是由多顆決策樹歸納出最終結果，因此在資料量比較大且特徵較複雜的情況下，可減少噪聲影響，降低過擬合的發生，在不同資料內容中分類表現具一定穩健性。

都市發展模擬成果說明商業區和住宅區的發展位置主要分布在不同區域，反映出住商分離的特性，且隨著時間推移，這些發展位置可能會逐年自多個定點區域擴散。本研究成果在預測土地使用發展可能走向提供一初步框架，以隨機森林進行土地使用分類和機率適合度，都市發展模擬是以各土地使用類別於空間單位中機率適合度為決定依據之一。本研究都市發展模擬藉由滿足特定條件，包含面積需求、適合度、發展偏好，進一步預測未來土地使用類別在時空上的變化情形，如分佈情況和面積增減，分類結果表示輸入資料年份當下結果的樣貌，相較於單一資料年份土地使用分類結果更表現出動態的時空演變。然而，真正的變遷情形還需考慮其他人文活動、社會經濟發展、自然生態資源的時空屬性以及特定政策規範等制約條件，但本研究依據模擬已能快速推估都市發展時空變化。本研究亦未考慮可能影響都市土地使用分類的因素，例如政策法規、房地價波動、人口組成時空變化等，未來可考量這些影響因素，以及空間自相關之特性。

致謝

作者們感謝編輯與審查者之寶貴建議及幫助。文中論點僅代表作者之立場，如有任何疏漏及謬誤，概由作者負責。

參考文獻

- 謝雅婷. 2011. 以 SEED CA 模型探討台南市五期重劃區之建地成長特性 (Doctoral dissertation, National Cheng Kung University Department of Urban Planning).
- 孔繁恩、詹進發、邵怡誠、李茂園、葉堃生、陳連晃. 2014. 物件式分類法於高解析度航照影像萃取崩塌地之研究. *航測及遙測學刊*, 18(4), 267-281.
- Cheng, H. H., Hsu, Y. Y. 2022. Integrating spatial multi-criteria evaluation into the potential analysis of culture-led urban development—A case study of Tainan. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(1), 335-351.
- Shi, Y., Qi, Z., Liu, X., Niu, N., Zhang, H. 2019. Urban land use and land cover classification using multisource remote sensing images and social media data. *Remote Sensing*, 11(22), 2719.
- Sun, C., Lu, J. 2023. The relative roles of different land-use types in bike-sharing demand: A machine learning-based multiple interpolation fusion method. *Information Fusion*, 95, 384-400.
- Wang, S., Fei, T., Li, W., Zhang, A., Guo, H., Du, Y. 2022. Incorporation of intra-city human mobility into urban growth simulation: A case study in Beijing. *Journal of Geographical Sciences*, 32(5), 892-912.
- Zhang, Y., Thomas, T., Brussel, M., Van Maarseveen, M. 2017. Exploring the impact of built environment factors on the use of public bikes at bike stations: Case study in Zhongshan, China. *Journal of transport geography*, 58, 59-70.

都市區有人機傾斜攝影

製作真正射影像精度評估與探討

邱式鴻^{1*} 邱俊榮²

論文收件日期：113.09.16

論文修改日期：113.12.13

論文接受日期：113.12.17

摘要

隨著電腦視覺匹配技術之發展，航拍影像的正射糾正逐漸以密匹配產製的高密度點雲消除地物高度和影像傾斜所造成的像點位移，進而製作真正射影像，使地物像點以垂直投影呈現在正確的位置上；且隨著傾斜攝影技術的發展，航拍時可以減少更多都市區地物之遮蔽並讓製作的真正射影像更正確顯示地物(尤其是建物)邊界形狀；再加上深度學習之發展，已有研究使用有人機，即需飛行員駕駛飛機，航拍的都市區航拍影像製作的真正射影像執行相關研究，但尚未有研究探討都市區有人機傾斜攝影製作真正射影像的精度與問題。因此，本研究以臺北市信義區約 300 公頃範圍，設計垂直航拍地面解析度 8 公分，以傾斜相機獲取高重疊率的垂直與前、後傾斜影像，再以 Agisoft Metashape Pro 1.2 版本軟體執行密匹配點雲進而製作真正射影像，於 10 公頃範圍內選取 23 個均勻分布之檢核點，比較在立測地形圖上與在真正射影像坐標並計算其位置較差，顯示最大位置誤差 0.125m、最小位置 0.000m，均方根誤差 0.052m，滿足千分之一地形圖之精度。但靠近建物附近地面處之真正射影像破碎模糊；靠近植被附近之真正射影像亦可能錯誤不正確；此外，陰影仍是真正射影像待解決的問題之一。

關鍵字：真正射影像、高差位移、密匹配、傾斜攝影

^{1*} 教授，國立政治大學地政學系。

² 副總經理，自強工程顧問有限公司。

*通訊作者，TEL：02-29393091 分機 51657，E-mail: chio0119@gmail.com。

Accuracy evaluation and question discussion of urban true orthoimages produced from manned-aircraft aerial oblique images

Shih-Hong Chio^{1*}, Edward Chiu²

Abstract

With the development of computer vision in image matching approaches, the orthorectification of aerial images are gradually using high-density point clouds produced with dense image matching to resolve the image point displacement caused by the height of ground objects and image tilt to further produce true orthoimages. Thus, the object image points can be presented at the correct locations. Additionally, with the development of oblique photogrammetry, more objects in urban areas can be imaged without occlusion and make the object boundaries in the true orthoimages more correct. Moreover, with the development of deep learning, many studies had used urban true orthoimages produced from manned-aircraft aerial images of urban areas, requiring a pilot to fly an aircraft, to perform related studies. However, no research has yet explored the accuracy and issues of producing true orthoimages using manned-aircraft oblique images in urban areas. Therefore, this study selected a test area of about 300 hectares in Xinyi District, Taipei City. An oblique camera was used to obtain vertical images of 8 cm ground sampling distance, forward and backward oblique images with high overlap. Then Agisoft Metashape Pro. version 1.2 software was used to perform dense matching point clouds to further generate true orthoimages. Twenty-three evenly distributed check points were selected within 10 hectares to measure the coordinates both in topographic map and true orthoimage to calculate the position difference. The results showed maximum position error is 0.125m, the minimum position error is 0.000m, and the root mean square error is 0.052m, which meets the accuracy of 1/1000 topographic map. However, the orthoimage of the ground close to the building is broken and blurred; the true orthoimage near the vegetation may also be incorrect in addition, shadows are still one of the problems to be solved in the true orthoimage.

Keywords: True Orthoimage, Relief Displacement, Dense Matching, Oblique Photogrammetry

^{1*} Professor, Department of Land Economics, National ChengChi University,

² Vice General Manager, STRONG Engineering Consulting Co. Ltd.

*Corresponding Author, TEL:+886-2-29393091#51657, E-mail : chio0119@gmail.com

一、研究動機與研究問題

對於利用飛行員駕駛航空攝影測量專用之飛機並依照航線規劃航拍供航空攝影測量的影像，本文稱有人機航拍影像；而利用無人飛行系統（Unmanned Aircraft System, UAS）依據規劃之航線自主飛行拍攝供航空攝影應用之影像，本文稱無人機影像，不論是有人機或無人機航拍影像，其影像之幾何糾正與對位是資料應用前必須處理的過程。尤其是正射糾正過後的影像可於其上量測坐標、甚至是距離、與面積。

一般常見的有人機航拍製作之正射影像為傳統正射糾正，僅處理像片傾斜以及地形高低起伏所產生的像點高差位移，並未處理因地物高度產生的像點高差位移；而隨著電腦視覺領域所發展的匹配技術，尤其是密匹配產生點雲技術之發展（陳英煥，2007；Furukawa and Ponce, 2010; Hirschmüller, 2011；李硯婷，2014；藍裕翔，2014；陳俊君，2014），已有研究將密匹配的點雲直接處理後製作真正射影像(Haggag et al., 2018; Šušteršič et al., 2021)。

此外，隨著傾斜攝影測技術之發展，可以減少更多都市區拍攝時產生之地物遮蔽情形，將使得產製的真正射影像地物邊界更正確。此處所謂傾斜攝影是指包含一部垂直拍攝和四部傾斜拍攝之航空攝影方式，如此製作之真正射影像上呈現之地物，如建物，能於影像上正確顯示其形狀，且具有圖面量測的性質，並可以其豐富的影像資訊進行分析或提供地理資訊系統之底圖執行視覺化展示與分析，亦可以用來自動萃取地物資訊；再者，由於深度學習之發展，已有研究使用有人機航拍影像製作之真正射影像執行相關之研究，如使用真正射影像以深度學習自動辨識建物(Nahas et al., 2018)、道路(Cira et al., 2020)、建物變遷(許家彰、邱式鴻，2023)，且自動辨識的結果即具有地理坐標。但都市區以往用有人機航拍影像使用傳統航測軟體產製的正射影像，雖可以電腦視覺領域所開發之軟體執行密匹配點雲進而產製真正射影像，但尚未有研究探討都市區有人機傾斜攝影製作真正射影像的精度研究與問題。Wiedemann and Beckmann(2016)指出「理論上，對真正射影像的要求可分為三類：幾何、輻射和美學要求，但對於製圖上之應用主要目的是生成正確且可判釋的真正射影像，因此須將重點放在幾何和輻射測量上。許多要求會導致飛行時間、影像數量和互動式編輯工作量的巨大支出，但對於精度探討必須的。」目前大多數真正射影像精度之探討皆針對無人機航拍影像(Liu et al., 2018; Zatserkovnyi et al., 2020; Shoab1 et al., 2022; Belloni et al., 2023; 陳濤等人，2024)，且無人機航拍影像僅適合小區域之真正射影像產製，而有人機航拍影像則適合大範圍，因此本研究針對內政部(2022)「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」要求之精度探討有人機傾斜航拍影像製作之真正射影像可達到之精度及所面臨問題，期待提供後續發展以深度學習自動萃取地物研究之參考；綜合上述，本研究有以下之目的：

- 一、探討有人機傾斜航拍影像製作都市區真正射影像可達之精度。
- 二、探討有人機傾斜航拍影像製作都市區真正射影像製作目前面臨之問題。

二、文獻回顧與探討

(一)、傳統有人機正射影像製作與改進

一般航測專業軟體產製的正射影像為傳統正射糾正，其程序是先以區塊式的標準化互相關(Normalized Cross Coefficient, NCC)影像自配匹配影像間的共同點(Wolf et al., 2013)，配合相機參數、或直接地理定位系統(Position and orientation system, POS)化算的外方位元素、量測布設的控制點影像坐標執行空中三角測量平差(簡稱空三平差)獲取精確相機外方位參數之後，再使用區塊式的 NCC 影像自配匹配產生數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)經人工編修成為不包含建物和植被等地物的數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)；之後設定地面解析度，如千分之一地形圖要求為地面解析度 10 公分(內政部，2022)，再依據航測共線式原理依照由下而上之方式(又稱逆轉換模式)再取樣產製正射影像(Kim et al., 2001；湯美華，2006)；或者，由空載光達產製的 DEM 或現有的 DEM 經過適度編修，搭配原始航拍影像、相機參數和空三平差成果，設定地面解析度，同樣依據航測共線式原理，由下而上之方式再取樣產製正射影像。此類航測專業軟體所產生的正射影像，僅處理影像傾斜以及地形高低起伏所產生的像點位移，並未處理因地物高度產生的像點高差位移，因此，後續有研究針對建物 (Rau et al., 2002；湯美華，2006)、結合數值建物模型 (Digital Building Model, DBM)與 DEM (Zhou et al., 2005)分別對房屋與地表區塊進行處理，或使用 DBM 和樹冠表面模型分別對房屋、樹林區塊進行影像改正(Sheng et al., 2003)或建物、高架道路 (李訢卉，2008) 高差位移之影響進行改正，製作真正射影像並進行遮蔽區處理，改善傳統正射影像因地物高差位移產生之影響。若未對遮蔽區進行偵測，正射糾正過程依據航測共線式原理由下而上直接從原始影像再取樣擷取色彩值時，會造成遮蔽區產生殘影(Ghost Image)，又稱重複映射(Double Mapping)。因此如 Rau et al.(2002)和 Oda et al. (2004)即提出遮蔽偵測並選取最適合之航拍影像進行填補以解決殘影之問題。上述研究中，如 Rau 等人(2002)針對遮蔽及陰影處理之後的真正射影像精度進行精度評估，但其使用之航拍影像為掃描之數化航空影像；李訢卉(2008)以數值航空影像地面解析度約 15~20 公分，針對建物和道路正射糾正之後評估其精度，檢核點之中誤差在 X 和 Y 方向可控制在 1~2 個像元間。

傳統航測軟體是以立體模型產製的單幅正射影像進行鑲嵌，儘量利用航拍攝影影像的中間部份製作正射影像，因為中心投影影像的中間部份其投影差較小甚至無投影差，但會面臨鑲嵌線選取之問題，且鑲嵌完成之正射影像會因光照條件造成色彩不一致和陰影的問題，所以有自動鑲嵌線選取(Pan et al., 2015)以及陰影去除 (Rau et al., 2002) 等相關研究，並於遮蔽區或陰影邊界附近進行勻光處理，以提升傳統正射影像之輻射品質。

但目前實作上，依照內政部(2022)對於製作傳統之正射影像之規範，陰影則是保留不進行處理，儘量利用航拍影像的中間部位製作正射影像避免地物產生之像點

高差位移；鐵、公路、高架道路及橋梁等對地圖判讀有重要意義的基礎建設，必須依其實際測量高度進行正射微分糾正，因而產生之無影像之遮蔽區應以相鄰影像補足，若無影像可供補足，得以黑色區塊填補。寬度 40 公尺以上之道路因受建物高差移位遮蔽部份，不得超過該路寬度二分之一，影像在圖上仍必須可見道路中線。其他非受建物高差移位之遮蔽，如樹木或其他地物所造成之遮蔽則不計。相鄰圖幅正射影像之接邊應良好，無高差地物影像接邊相對移位應小於 50 公分。數值正射影像以彩色影像表示，並須進行無接縫鑲嵌 (mosaic) 及調整全區影像之色調、亮度一致，整張正射影像之色調應均勻，其明亮度 (intensity, brightness) 的直方圖分布在 5~250 之範圍 (全反射之地物不計入範圍)，影像的接邊處色調須一致，不應有人眼可辨識之邊緣線。若以光達產生的正射糾正範圍內之 DEM 或現有之 DEM 適度編修之後進行正射糾正，也是必須滿足一千分之一數值航測地形圖測製作業之規定。

(二)、密匹配點雲產製有人機真正射影像探討與應用

Haggag et al. (2018)研究由高解析度有人機航拍影像以密匹配點雲執行製作真正射影像。該方法包括三個主要步驟：(i) 基於共線性方程/光束法區域網平差的影像定位，(ii) 使用半全域匹配 (Semi-Global Matching, SGM) 技術產製數值表面模型 (DSM)，以及 (iii) 真正射影像生成。研究中指出獲得的真正射影像是無自我遮擋、鬼影效果(ghost effects)和多重紋理映射。使用半全域匹配生成 DSM 製作令人滿意的真正射影像。使用從影像本身生成的改善遮蔽和粗差的精確 DSM，可消除嚴重的鬼影效應，而無需執行後續遮蔽檢測和處理，但若無法產生密匹配點雲之區域，仍有資料缺失區之問題。

而針對有人機航拍影像以密匹配產製真正射影像之精度評估則有 Šušteršič et al. (2021)以航拍影像重疊為 80%/60% (市中心為 80%/80%)，地面解析度 5cm，完成影像的空中三角測量後 (使用 Trimble Inpho 的 Match-AT)，再使用 SURE 軟體產製數值地表模型後製作真正射影像。該研究根據地面檢核點檢核水平精度在 X 和 Y 方向均為 0.04m。

但 Haggag et al. (2018)與 Šušteršič et al. (2021)之研究使用的是高重疊之航拍垂直影像，並未使用航拍傾斜影像，且未全面探討仍存在之問題。由無人機航空攝影時可取得傾斜拍攝之高解析度影像的確可以減少遮蔽製作真正射影像(賴忠佑，2017)，陳濤等人(2024)研究中亦說明採用傾斜攝影製作真正射影像，投入的資源和時間相對更多，儘管成果影像對植被等紋理表現差，但對於都市高密度建築區，地物邊界輪廓如屋頂邊緣等表現更好。

因此有人機航拍若使用傾斜攝影亦應可以減少更多都市地區之地物遮蔽情形並製作地物邊界更正確的真正射影像。此外，大區域之真正射影像使用有人機搭配傾斜相機航拍才更有效率，而製作之真正射影像，地物能於影像上正確顯示其形狀，且具有圖面量測的性質，並可以其豐富的影像資訊進行分析或提供地理資訊系統之底圖執行視覺化展示與分析，亦可以用來自動萃取地物資訊，尤其是建物。

目前隨著深度學習之發展，已有研究使用無人機航拍影像製作之真正射影像執行相關研究，如使用真正射影像以深度學習自動辨識田埂線(汪知馨、邱式鴻, 2022)、人孔蓋(內政部, 2023)，其自動辨識的結果即具有地理坐標，而也有利用有人機航拍影像產製之真正射影像進行自動辨識如建物(Nahhas et al., 2018)、道路(Cira et al., 2020)、建物變遷(許家彰、邱式鴻, 2023)，但都市區高解析度真正射影像的精度是否達到千分之一製圖精度是個重點，因此本文以探討有人機傾斜航拍影像製作都市區真正射影像精度為主，並進一步探討其仍可能存在之問題，供後續真正射影像使用發展以深度學習自動萃取都市區相關地物研究之參考。

三、研究方法與步驟

本研究選擇臺北市信義區約 300 公頃左右範圍作為試驗區，該區諸多高樓層建物，如世貿大樓、101 大樓等，如下圖 1 所示。

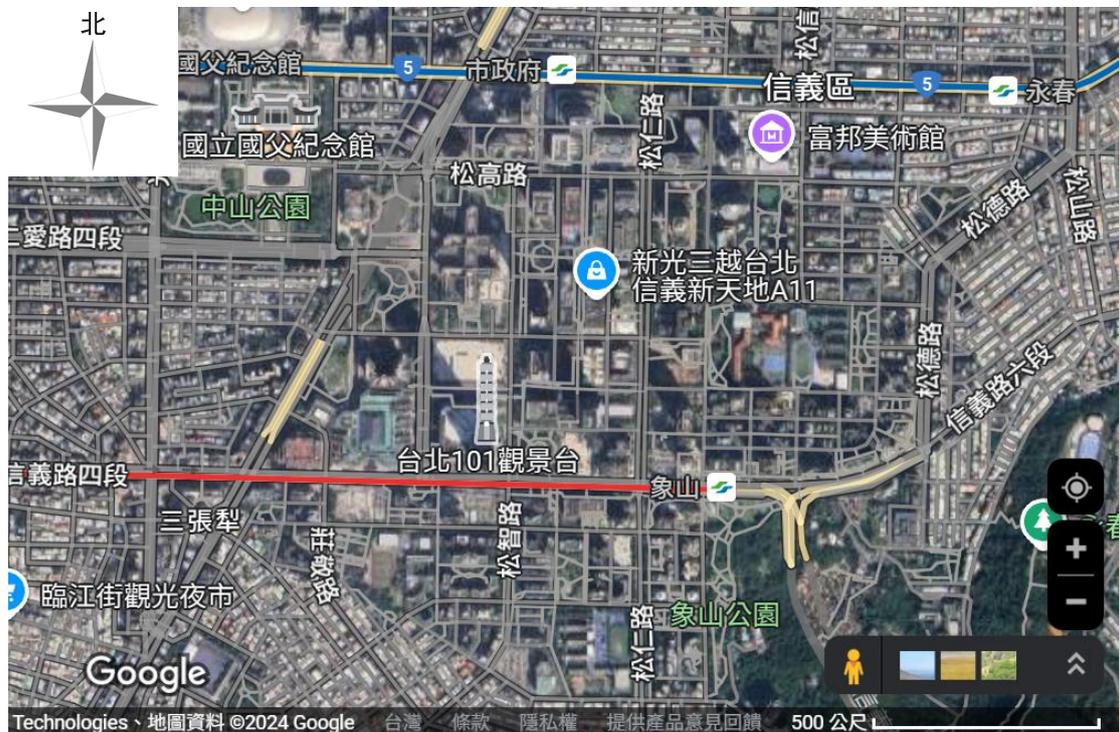


圖 1 本研究之測試區圖示

依照圖 2 之研究流程進行本研究，各研究步驟分別說明如下：

(一)、航拍規劃

研究使用 BN2B 航拍飛機(見圖 3)，其規格如表 1 所示；使用之航拍相機為 UltraCam Osprey 4.1 航空製圖相機，如圖 4 所示，包含垂直拍攝相機及四部傾斜相機(見圖 4 右圖)，規格如表 2 所示；圖 5 則說明航高 2120 公尺時，各航拍影像涵蓋之地面範圍以及相互距離關係。本研究航線規劃以航拍時垂直影像之地面解析度 8 公分，前後重疊約 80%、左右重疊約 70%高重疊率以降低建物所導致遮蔽之影響。

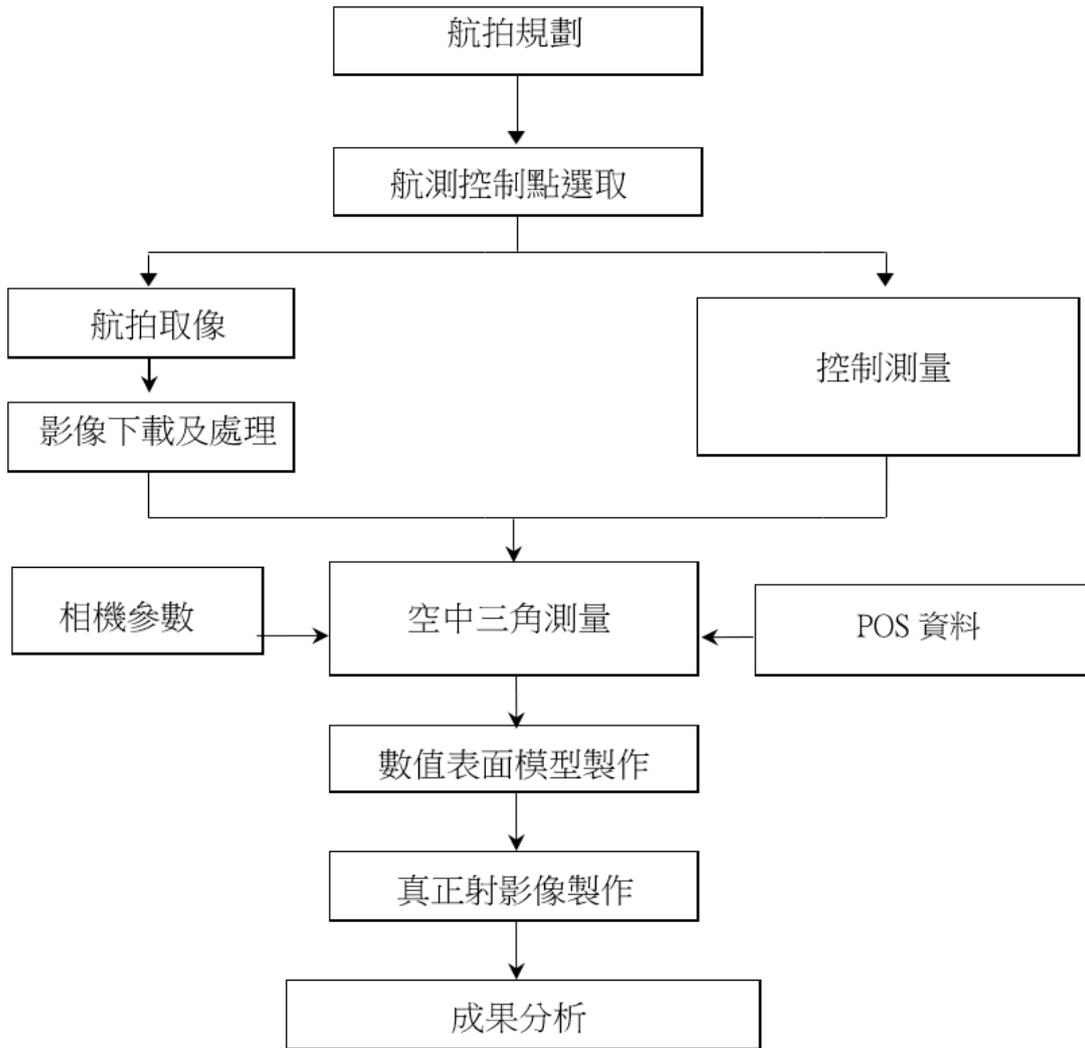


圖 2 研究流程圖



圖 3 BN2B 航拍用飛機

表 1 BN2B 航拍用飛機規格

項次	項目	內容
1	有效負重	1069 公斤
2	有效電力供應	130 A
3	座位	10
4	最高時速	262 公里/小時
5	飛行高度	6005 公尺
6	最大巡航範圍	1250 公里
7	起飛距離	189 公尺
8	飛行時間	8 小時



圖 4 UltraCam Osprey 4.1 航空製圖相機

表 2 相機規格

相機	垂直拍攝	垂直拍攝	傾斜拍攝
(成像系統)	高解析度全色態影像	RGB & NIR 影像	彩色影像
感測器	3.76 μ m CMOS	3.76 μ m CMOS	3.76 μ m CMOS
影像大小	20,544 \times 14,016 像元	12,840 \times 8,760 像元	14,144 \times 10,560 像元
焦距	80 mm	50 mm	120 mm

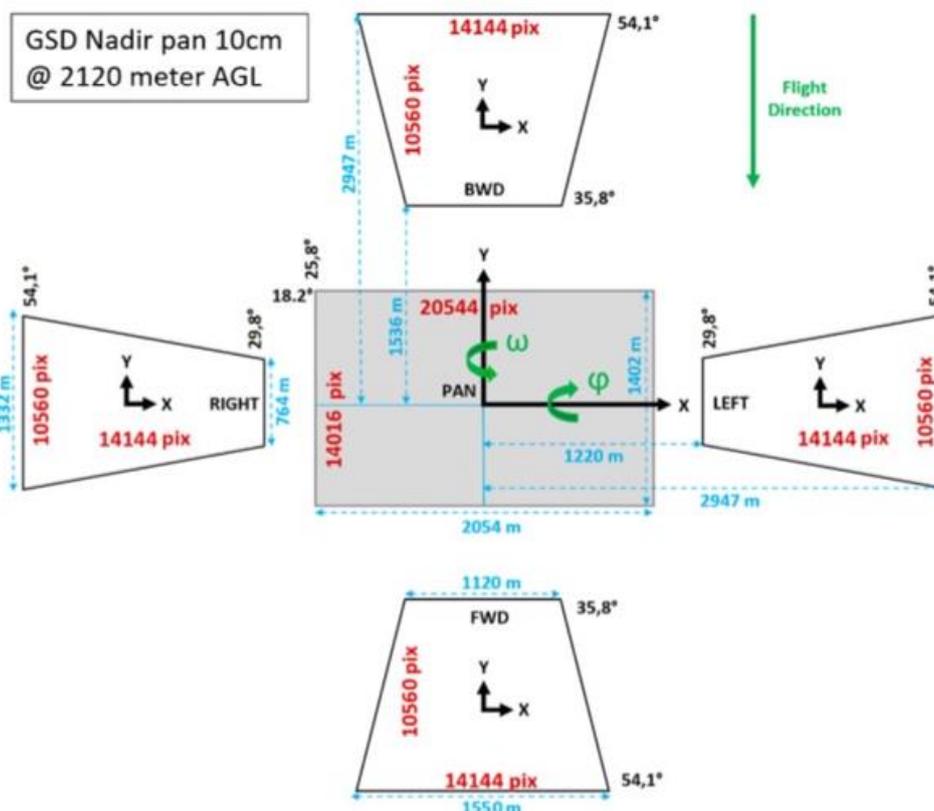


圖 5 航高 2120 公尺時，各航拍影像相互關係圖

(二)、航拍取像

航拍時，飛機上同時搭載直接地理定位 POS(Position and Orientation System)系統，配合地面選定之基站架設 GNSS 接收儀，航拍後將 POS 和地面基站接收之載波觀測資料後處理，解算飛航軌跡和姿態，搭配 POS 系統率定之結果，將其成果化算航拍影像之外方位元素，供後續空中三角平差解算精確影像外方位元素。

(三)、控制點布設與測量

因本研究以 POS 資料輔助空中三角測量平差解算精確外方位參數，因此控制點布設以均勻分布試驗區四周為原則；控制點測量方式，採用內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統服務進行 VBS-RTK 測量，並根據內政部(2022)《一千分之一數值航測地形圖測製作業規定》控制測量之 VBS-RTK 作業規範，針對同一控制點進行重複觀測兩測回，每測回至少 180 筆固定 (Fixed) 解坐標，兩測回之平面坐標較差不得超過 2 公分、高程較差不得超過 5 公分，所測之高程再依據內政部公告之大地起伏公式轉換成正高。

(四)、資料處理產製真正射影像

取得高重疊率之高解析度航拍影像之後，使用 Agisoft Metashape Pro. 1.2 版本軟體執行真正射影像製作，該軟體說明書雖未說明相關演算法，但由電腦視覺領域

發展之匹配技術發展而言，應是先採用 SIFT 演算法(Lowe, 2004)執行特徵匹配，配合相機參數以基於運動恢復結構重建(Structure from Motion, SfM)演算法(Hartley and Zisserman, 2003; Granshawt, 2018)建立航拍影像之間的相對位置和姿態亦同時產製稀疏點雲，然後加入控制點及 POS 資料化算之初始外方位參數執行光束法平差精確求解航拍影像精確的外方位元素，接續再以如基於區塊的多視角立體視覺 (Patch-based Multi-view Stereo, PMVS)演算法(Harwin and Lucieer, 2012)的密匹配技術產生密點雲，再設定地面解析度 8 公分，處理得到點雲的規則數值表面模型後，利用可視性分析確定規則網格的可視性關係集，由於每一塊規則網格通常可以出現在多幅影像，因此須選擇並確定最優的影像，最後一一對應可視性關係生成真正射影像(李怡蓁，2014；賴忠佑，2017)。

(五)、成果分析

本研究將選取試驗區均勻分布之檢核點，量測其在立體製圖千分之一地形圖上和真正射影像上之坐標，計算其位置誤差，以其最大、最小位置誤差與其均方根誤差執行精度分析，並以視覺化方式探討產製的真正射影像仍存在之問題。

四、成果與分析

(一)、航拍規劃成果

依據上節規劃設計航高約 1677 公尺，東西、南北向航線各三條，如圖 6 所示：

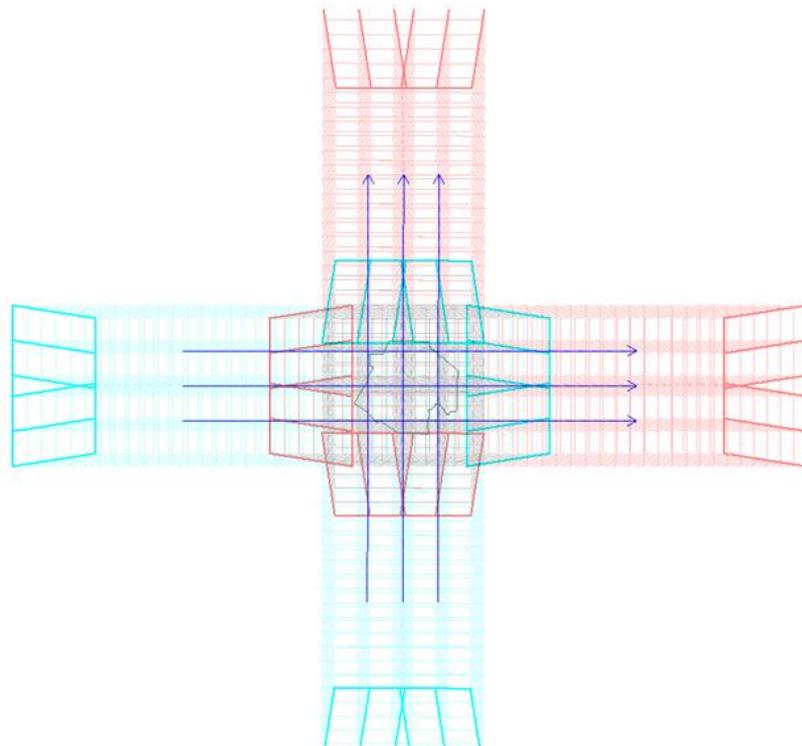


圖 6 航線規劃成果

(二)、控制點選取與測量

本實驗以 POS 資料輔助空中三角測量，且採用 VBS-RTK 測量地控點坐標，因此選取分布測區周圍且透空度良好的 8 個控制點分布如下圖 7 所示，圖 8 為部分選取之點位放大圖，所測之高程再依據內政部公告之大地起伏公式轉換成正高。

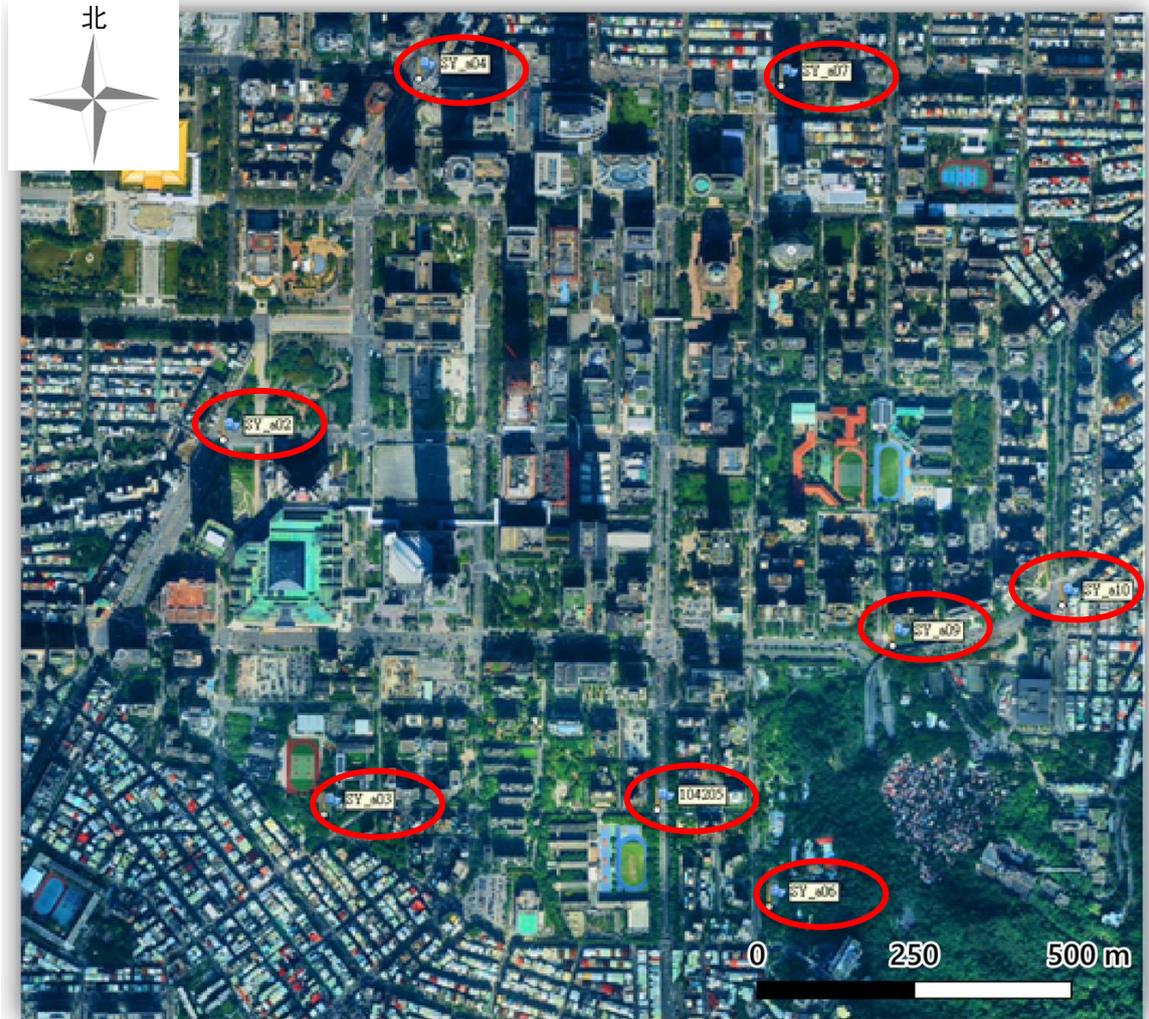


圖 7 控制點分布圖



圖 8 所選部分控制點示意圖

(三)、航拍成果

於民國 111 年 11 月 10 日取得高重疊率之高解析度航拍影像，包含垂直影像和傾斜影像，包含東西向每條航帶各 23 張垂直影像、前後傾斜影像各 23 張；南北向每條航帶各 22 張垂直影像、前後傾斜影像各 22 張作為實驗用之影像；因左、右傾斜影像拍攝位置超出試驗區範圍，所以本研究並未使用左、右傾斜拍攝之影像。

(四)、真正射影像製作

收集試驗區東西、南北向垂直和前、後傾斜影像之後，使用 Agisoft Metashape Pro. 1.2 版本軟體執行真正射影像製作。

(五)、成果分析

將臺北 101 附近真正射影像與臺北市政府部分真正射影像成果與立製地形圖套疊，成果如圖 9、10 所示。可明確看出地物高差位移均糾正至正確位置。於影像上 10 公頃範圍內選取分別位於建物、道路標線、分隔島、其他構造物上明確之角點作為均勻分布之檢核點(如圖 11)，量測這些檢核點在立測地形圖上和真正射影像上之坐標，計算其位置較差，並計算均方根誤差，結果如表 3 所示。10 公頃範圍內 23 個檢核點，最大位置誤差為 0.125m、最小位置 0.000m，均方根誤差 0.052m。



圖 9 真正射影像部分成果與立製地形圖套疊(臺北 101 附近真正射影像)



圖 10 真正射影像部分成果與立製地形圖套疊(臺北臺北市政府部分真正射影像)



圖 11 檢核點分布圖

由視覺檢視，因採用高重疊率東西、南北向所有垂直、前後傾斜航拍影像執行真正射影像製作，因此在真正射影像中並未發現黑色資料缺漏處；而正如前述，也的確避免遮蔽以及避免地物(如建物邊界線)產生扭曲之情形，圖 12 即說明利用東西及南北向垂直及前、後傾斜影像產製真正射影像之建物女兒牆(圖 12(b))其成果比僅僅以東西向垂直及前、後傾斜航拍影像製作真正射影像(圖 12(a))更正確，避免女兒牆扭曲；圖 13 亦說明利用東西及南北向垂直及前、後傾斜影像使得其真正射影像成果比僅僅以東西向垂直及前、後傾斜航拍影像製作真正射影像減少樹木遮蔽並製作更正確之跑道線位置(圖 13(b))，避免製作錯誤扭曲之跑道線(圖 13(a))。

表 3 檢核精度表

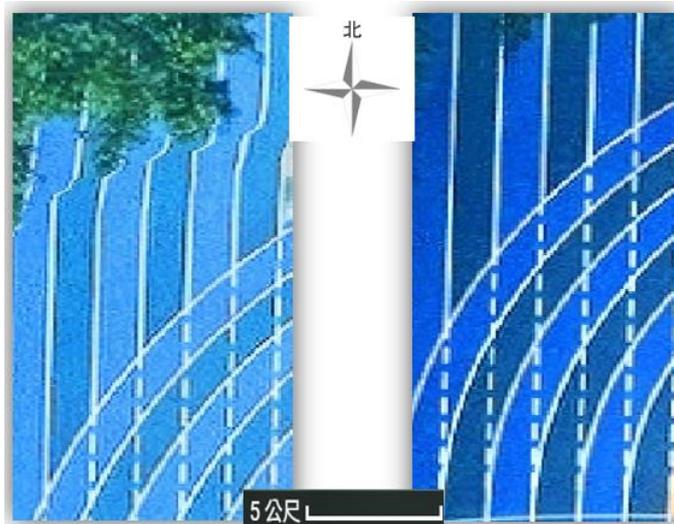
檢核點		立體製圖坐標(m)		真正射影像坐標(m)		位置誤差 (m)
		X	Y	X	Y	
1	建物 1	306694.731	2769597.165	306694.643	2769597.254	0.125
2	建物 2	306720.495	2769603.136	306720.520	2769603.196	0.065
3	建物 3	306720.413	2769598.653	306720.443	2769598.663	0.032
4	建物 4	306647.040	2769678.465	306647.100	2769678.482	0.062
5	建物 5	306615.904	2769706.393	306615.990	2769706.372	0.089
6	建物 6	306795.845	2769766.769	306795.875	2769766.845	0.082
7	建物 7	306845.530	2769806.010	306845.591	2769806.057	0.077
8	建物 8	306815.278	2769785.479	306815.204	2769785.493	0.075
9	建物 9	306605.771	2769578.593	306605.839	2769578.627	0.076
10	建物 10	306608.600	2769650.515	306608.678	2769650.562	0.091
11	道路 1	306656.593	2769536.509	306656.621	2769536.486	0.036
12	道路 2	306642.103	2769586.356	306642.103	2769586.356	0.000
13	道路 3	306628.918	2769538.759	306628.936	2769538.809	0.053
14	道路 4	306850.189	2769560.683	306850.189	2769560.683	0.000
15	人行道 1	306783.271	2769562.760	306783.203	2769562.697	0.093
16	人行道 2	306689.657	2769784.107	306689.657	2769784.107	0.000
17	人行道 3	306711.720	2769563.827	306711.720	2769563.827	0.000
18	分隔島 1	306864.471	2769580.798	306864.526	2769580.798	0.055
19	分隔島 2	306763.537	2769545.939	306763.537	2769545.939	0.000
20	行人陸橋 1	306882.182	2769608.956	306882.184	2769608.904	0.052
21	圍牆 1	306682.948	2769571.495	306682.983	2769571.57	0.083
22	圍牆 2	306811.666	2769569.012	306811.666	2769569.012	0.000
23	圍牆 3	306897.056	2769590.302	306897.096	2769590.290	0.042
最大位置誤差 0.125m、最小位置 0.000m，均方根誤差 0.052m						



(a) 僅使用東西向垂直與前、後傾斜影像

(b) 使用東西及南北向垂直與前、後傾斜影像

圖 12 不同影像資料製作真正射影像上之建物女兒牆



(a) 僅使用東西向垂直與前、後傾斜影像

(b) 使用東西及南北向垂直與前、後傾斜影像

圖 13 不同影像資料製作真正射影像上之操場跑道線

以東西、南北向所有垂直、前傾與後傾航拍影像執行真正射影像製作，的確可以避免遮蔽，並製作正確清晰的建物頂面結構及建物屋簷線或女兒牆位置之真正射影像，如圖 14 建物女兒牆、圖 15 中頂樓加蓋之屋頂屋簷線均清晰可見；圖 14 除建物女兒牆影像之外、解析度 8 公分可以呈現之水塔、其他構造物亦可清楚呈現，但檢視整區真正射影像仍存在某些問題。最常見的問題是接近建物附近地面影像破碎模糊(圖 14、15 中白線框圈選處)，推測建物外圍附近地面即使成像於垂直影像亦成像於前傾或後傾影像中，其交會角度會較小且拍攝到之影像少，造成多餘觀測少，致使密匹配點交會產生精度較差之點雲所致。

但最上層建物邊界(女兒牆或滴水線)於航拍時未被高樓層建物遮蔽，則不僅東西向、垂直影像再加上各航向之前、後傾斜影像均能拍攝到，因此密匹配時多餘觀

測數多，則密匹配時精度高且可靠度佳，可得正確之建物邊緣線影像，唯其真正射影像因建物密集仍存在大量的陰影。

圖 16~18 顯示地面上之地物，如排水溝、人孔、道路邊界、暗溝、人行道亦清晰可見；甚至拍攝張數多之交通號誌或路燈，真正射影像上仍可正確呈現其位置(如圖 16 由其路面陰影可看出該處影像確實為交通號誌和路燈)，但並非全部路燈和交通號誌均能於真正射影像中顯現，需視其拍攝張數和其尺寸是否可於原始影像中清晰呈現。此結果如 Wiedemann and Beckmann(2016)研究中所提「無法在任何 DSM 中以適當的方式表示之植被、電纜、電線杆等地物，其仍無法於真正射影像中正確清晰呈現其形狀。」之結論一致。

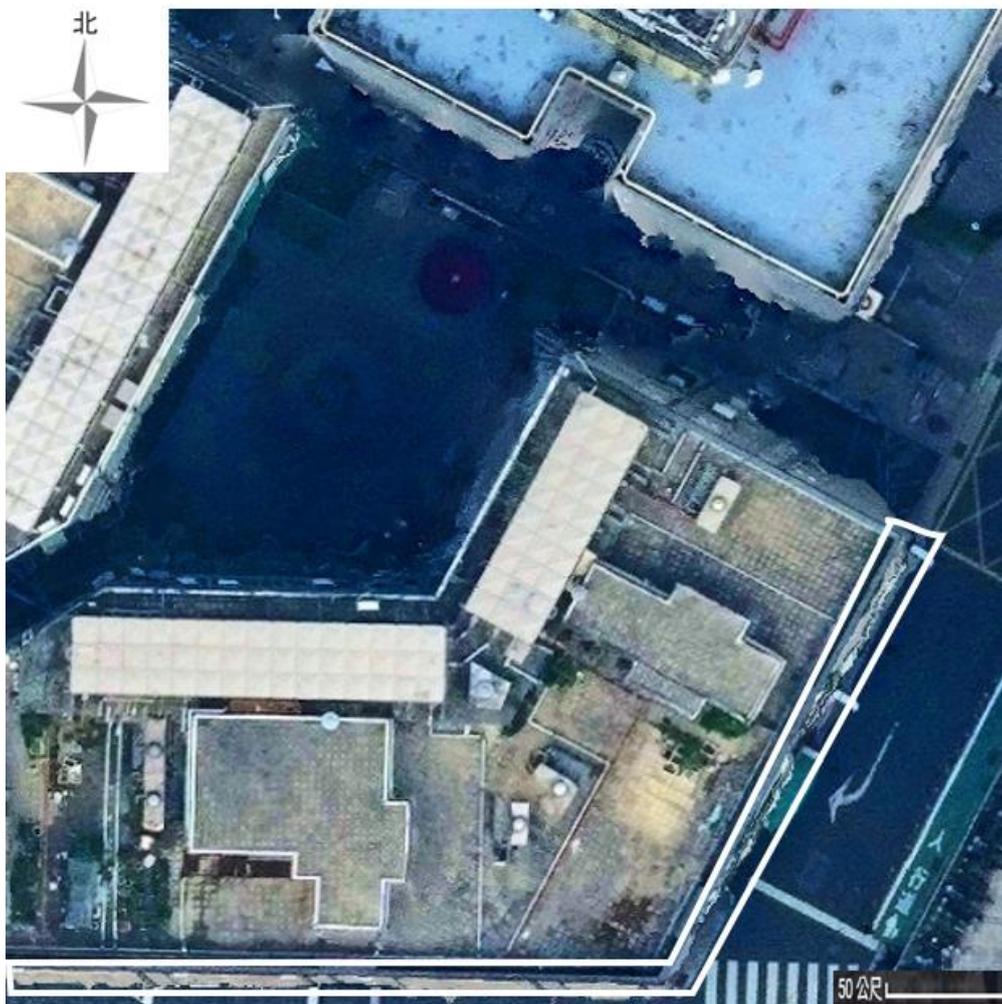


圖 14 大型建物附近真正射影像上之問題



圖 15 低矮建物附近真正射影像上之問題

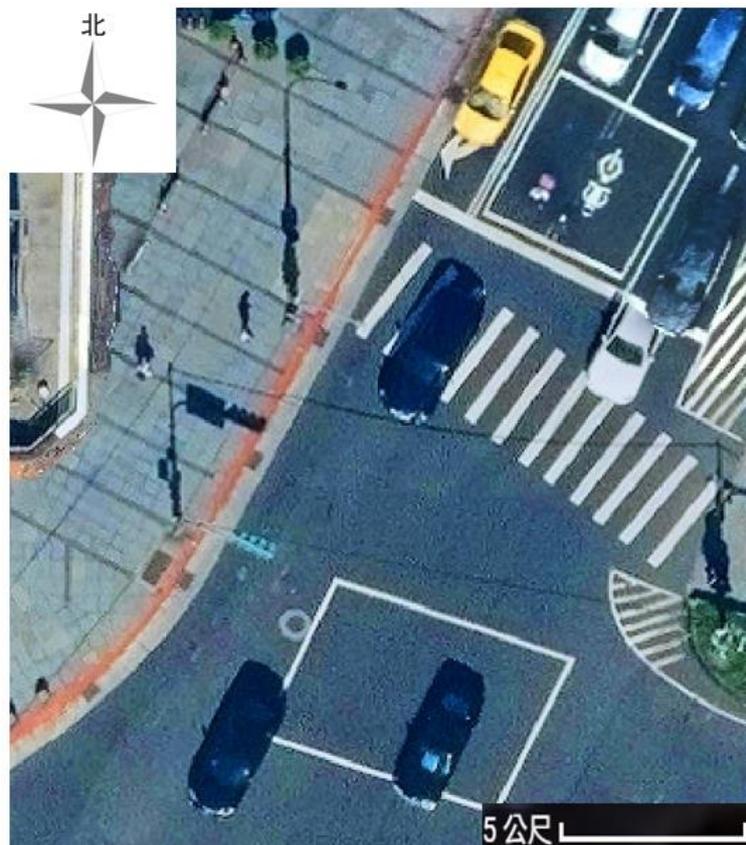


圖 16 真正射影像上之人行道、暗溝、排水溝蓋、人孔、道路邊界



圖 17 真正射影像上之行人專用道、暗溝、排水溝蓋、人孔、道路邊界

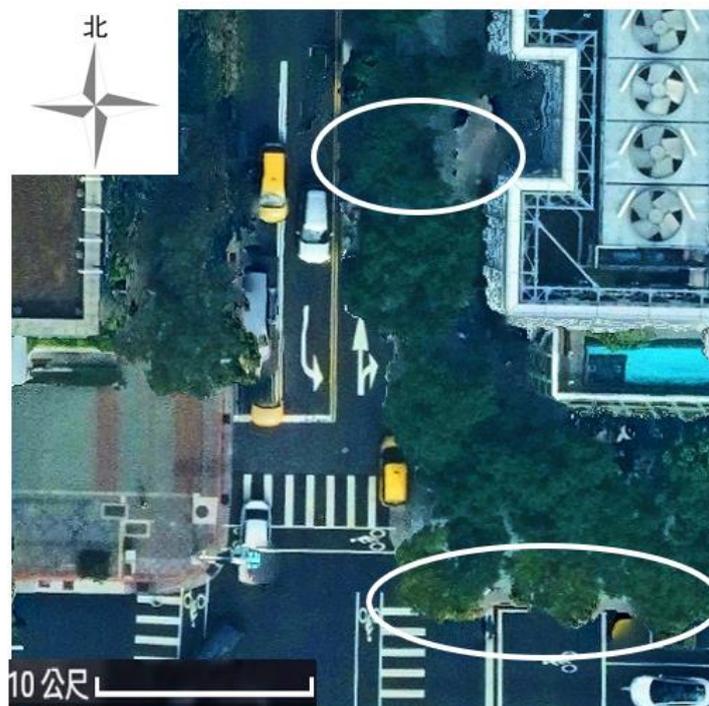


圖 18 真正射影像上之植被問題

本研究使用之 Agisoft Metashape Pro. 1.2 版本軟體其原理雖跟一般電腦視覺發展之匹配演算法有關，但仍有演算法細節無法得知，如密匹配過程對於密匹配點之

處理等，所以錯誤密匹配點亦可能造成建物外牆附近之地物點匹配錯誤，若未去除則會造成其正射糾正有誤。

移動之物體，如車子，造成鬼影，亦會影響真正射影像品質(如圖 16 中的右邊白色車子)，靜止車子不是地物，應該於真正射影像中移除；植被可能拍攝時樹葉遭風吹動，導致匹配時出現錯誤，造成影像模糊，尤其是植被外圍附近之真正射影像也如建物外圍附近影像會不正確(如圖 18 白框圈選處)，但仍可以一定精度呈現植被範圍。

但整體而言，建物邊界線、及未被植被遮蔽之道路邊界正確清晰呈現，因此後續以深度學習方式萃取其建物邊界線及道路邊界線、甚至是安全島是可以研究之方向。

五、結論與建議

本研究探討都市區需飛行員駕駛飛機航拍影像製作真正射影像，簡稱有人機航拍真正射影像，問題探討與精度評估，研究選擇臺北市信義區約 300 公頃範圍，設計垂直航拍地面解析度 8 公分，以傾斜相機獲取東西、南北向各三條航帶前後重疊約 80%、左右重疊約 70%之垂直與前、後傾斜影像，使用軟體 Agisoft Metashape Pro. 1.2 版本軟體，執行真正射影像製作。成果證實可以避免遮蔽以及避免建物邊界(如女兒牆)扭曲之情形，可獲取更正確之真正射影像。再由勻分布於 10 公頃的 23 個分別為建物、道路標線、分隔島、其他結構造上明確之角點，量測其於立測地形圖上和真正射影像上之坐標，計算位置較差，其結果顯示最大位置誤差 0.125m、最小位置誤差 0.000m，均方根誤差 0.052m，滿足千分之一地形圖之精度。因此，後續可供進行深度學習自動萃取地物，如建物或道路邊緣線之偵測。

但 Agisoft Metashape Pro. 1.2 版本軟體製作真正射影像仍面臨一些問題，如無法以地面解析度 8 公分呈現之地物，如手孔，即無法明確顯示於影像上；靠近建物附近地面處之正射影像破碎模糊；靠近植被附近之真正射影像亦可能錯誤不正確，但整體而言植被範圍可以達到一定精度；部分交通號誌可顯示但仍模糊；此外，陰影仍是真正射影像待解決的問題之一，後續研究亦可針對陰影區影像進一步後處理使其達到美觀之外，甚至提升後續發展深度學習自動正確判釋或偵測之成果。

而本次試驗僅於小區域測試，也僅使用前傾和後傾航拍影像，後續建議拓大試驗區範圍，除了前、後傾斜影像之外，再加入左、右傾斜影像探究真正射影像製作之品質和效益。

參考文獻

- 內政部，2022，《一千分之一數值航測地形圖測製作業規定》，中華民國 111 年 10 月。
- 內政部，2023，《112 年度三維國土形變及空間智能分析技術發展工作案》期末報告書。

- 李訢卉，2008，《整合房屋、道路及地形模型之高解析影像正射改正》，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
- 李硯婷，2014，《空照影像密匹配成果偵錯之瓶頸與解決辦法》，國立成功大學測量及空間資訊學系研究所碩士論文。
- 陳英煥，2007，《空照數位像機拍攝高重疊影像匹配高密度點雲》，國立成功大學測量及空間資訊學系研究所碩士論文。
- 陳俊君，2014，《立體視覺三維重建影像匹配方法的研究》，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
- 陳濤、王烽、萬阿芳、潘曉燕妮，2024，基於無人機航攝的真正射影像圖製作方法與實踐，《測繪科學技術》，第 12 卷，第 2 期，頁 159-166。
- 湯美華，2006，《空載光達點雲及地形圖輔助生產真實正射影像之研究》，國立成功大學測量及空間資訊學系研究所碩士論文。
- 藍裕翔，2014，《航照影像特徵輔助之半全域匹配 於數值地表模型建立》，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
- 汪知馨、邱式鴻，2022，以深度學習萃取高解析度無人機正射影像之農地重劃區現況資訊，《航測及遙測學刊》，第 27 卷，第 4 期，頁 193-211。
- 李怡蓁，2014，《基於多視立體視覺的三維重建與真正射影像製作》，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
- 許家彰、邱式鴻，2023，應用深度學習於不同時期真正射影像自動偵測建物變遷，《航測及遙測學刊》，第 28 卷，第 4 期，頁 209-226。
- 賴忠佑，2017，《基於傾斜攝影製作真正射影像之最佳化處理》，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
- Belloni, Valeria, Martina Di Rita, Davide Fugazza, Giacomo Traversa, Kevin Hanson, Guglielmina Diolaiuti, and Mattia Crespi, 2023, High-resolution high-accuracy orthophoto map and digital surface model of Forni Glacier tongue (Central Italian Alps) from UAV photogrammetry, 《*Journal of Maps*》, 19:1, 2217508, DOI: 10.1080/17445647.2023.2217508.
- Cira, Calimanut-Ionut, Ramón Alcarria, and Francisco Serradilla, 2020, A Deep Learning-Based Solution for Large-Scale Extraction of the Secondary Road Network from High-Resolution Aerial Orthoimagery, 《*Appl. Sci.*》, 10, 7272; doi:10.3390/app10207272.
- Furukawa, Y, J. Ponce, 2010, Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. 《*IEEE Trans Patt Anal Mach Intel*》, 32, pp. 1362–1376.
- Granshaw, Stuart, 2018, Structure from motion: origins and originality, March 2018, 《*The Photogrammetric Record*》, 33(161), pp. 6-10.
- Haggag, Mehad, Mohammed Zahran, Mahmoud Salah, 2018, Towards Automated Generation of True Orthoimages for Urban Areas, 《*American Journal of Geographic Information System*》, 7(2), pp. 67-74.

- Harwin, S., and Lucieer, A., 2012. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, 《*Remote Sensing*》, 4, pp.1573-1599
- Hartley, R., and Zisserman, A., 2003. 《*Multiple View Geometry in computer vision*》, USA: Cambridge university press.
- Hirschmüller, Heiko., 2011, Semi-Global Matching - Motivation, Developments and Applications. 《*Photogrammetric Week*》, 11, pp.173-184.
- Kim T., D. Shin, and Y.R. Lee, 2001. Development of robust algorithm for transformation of a 3D object point onto a 2D image point for linear pushbroom imagery, 《*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*》, 67(4), pp. 449-452.
- Liu , Yu, Xinqi Zheng, ID, Gang Ai, Yi Zhang, and Yuqiang Zuo, 2018, Generating a High-Precision True Digital Orthophoto Map Based on UAV Images, 《*ISPRS Int. J. Geo-Inf.*》, 7, 333; DOI:10.3390/ijgi7090333.
- Lowe, David G., 2004, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, 《*International Journal of Computer Vision*》, 60, pp. 91–110.
- Nahhas, Faten Hamed, Helmi Z. M. Shafri , Maher Ibrahim Sameen, Biswajeet Pradhan, and Shattri Mansor, 2018, Deep Learning Approach for Building Detection Using LiDAR–Orthophoto Fusion, 《*Journal of Sensors*》, Article ID 7212307, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2018/721230>
- Pan, Jun , Mi Wang, Junli Li, Shenggu Yuan, Fen Hu, 2015, Region change rate-driven seamline determination method, 《*ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*》, 105, pp. 141-154.
- Oda K., Lu W., Uchida O., 2004, Triangle-Based Visibility Analysis and True Orthoimage Generation. 《*Int. Arch. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, Spatial Information Science*》, 34, pp. 623-628.
- Rau, J. Y., Chen, N.Y, and Chen, L. C., 2002, True Orthophoto Generation of Built-Up Areas Using Multi-View Images, 《*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*》, 68(6), pp. 581-588.
- Sheng, Y.W., P. Gong, and G.S. Binging, 2003. True orthoimage production for forested areas from large-scale aerial photographs, 《*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*》, 69(3), pp. 259-266.
- Shoab1, Mohammad, Vivek K. Singh, M. V. Ravibabu, 2022, High-Precise True Digital Orthoimage Generation and Accuracy Assessment based on UAV Images, 《*Journal of the Indian Society of Remote Sensing*》, 50, pp. 613–622
- Šušteršič, Katja, Aleksandar Šašić Kežul, Mojca Kosmatin Fras, 2021, Automatically produced true orthophotos for large urban areas, 《*GIM International*》, June 3,

2021. <https://www.gim-international.com/content/article/automatically-produced-true-orthophotos-for-large-urban-areas>. Last check 2024/12/19.

Wiedemann A., and S. Beckmann, 2016, QUALITY ASPECTS OF AERIAL DIGITAL ORTHOPHOTOS, THE PRODUCERS POINT OF VIEW, 《*The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*》, Volume XLI-B2, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.

Wolf, Paul R. Bon A. Dewitt, Benjamin E. Wilkinson, 2013, 《*Elements of Photogrammetry with Application in GIS*》, Fourth Edition, New York : McGraw Hill Professional.

Zatserkovnyi ,V. I., S. D. Kryachok, L. S. Mamontova, B. Popkov, I. Chepkov, 2020, Analysis of the accuracy of the orthophoto map building according to aerial photography results executed with UAV, 《*Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*》, 2020, pp. 1-5, Kyiv, Ukraine.

Zhou, G., W.R. Chen, J.A. Kelmelis, and D.Y. Zhang, 2005. A comprehensive study on urban true orthorectification, 《*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*》, 43(9), pp. 2138-2147.

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：

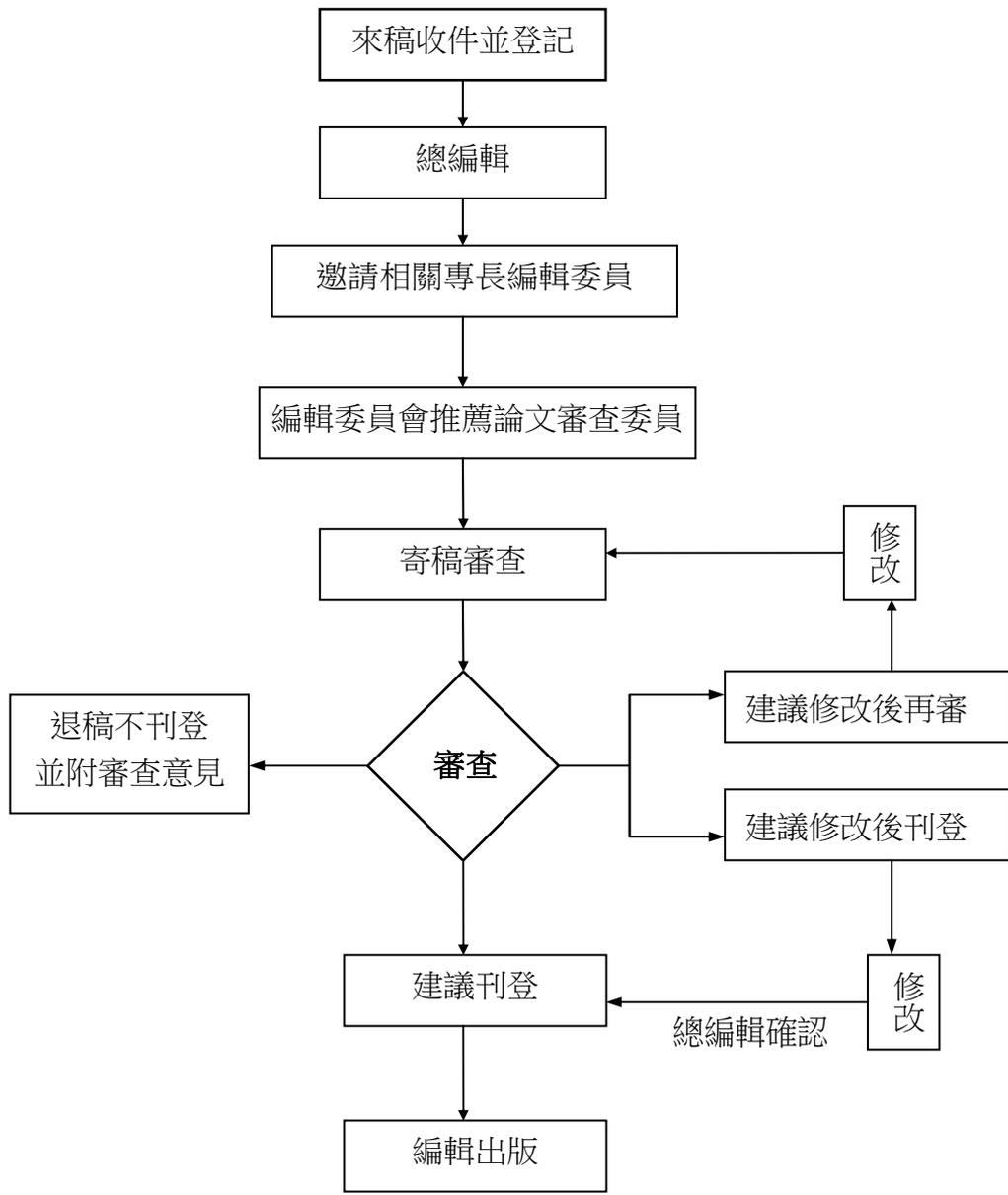
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

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 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元 國立陽明交通大學土木工程學系

林士淵 國立政治大學地政學系

張智安 國立陽明交通大學土木工程學系

陳惠玲 前台中市政府地政局副局長

曾子榜 國立成功大學測量及空間資訊學系

曾國欣 國立中央大學太空及遙測研究中心

景國恩 國立成功大學測量及空間資訊學系

蕭宇伸 國立中興大學水土保持學系

儲豐宥 國立政治大學地政學系

韓仁毓 國立臺灣大學土木工程學系

總編輯 周天穎 逢甲大學土地管理學系

編輯 葉美伶 逢甲大學地理資訊系統研究中心

洪翎嘉 內政部國土測繪中心

黃筱晴 逢甲大學地理資訊系統研究中心

發行人 楊名 理事長 國立成功大學測量及空間資訊學系

鄭彩堂 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

第十三卷第一期

民國一十四年一月

Vol. 13, No. 1

January 2025

目 錄

CONTENTS

- 利用多元資料評估臺灣深度基準及深度系統之精度**
藍文浩、李啟民、郭重言 01
Accuracy evaluation of depth datum and system for Taiwan using multi-data
Wen-Hau Lan, Chi-Ming Lee, Chung-Yen Kuo
- 利用基隆和長潭里潮位站資料估算平均海水位**
藍文浩、高煥欽、郭重言 19
Estimation of mean sea levels derived from Keelung and Zhangtanli tide gauge data
Wen-Hau Lan, Huan-Chin Kao, Chung-Yen Kuo
- 非破壞性空間科學技術應用於橋梁檢測之研究**
黃立信、徐義凱 47
A Study on the Application of Non-Destructive Testing of Space Science and Technology for Bridge Inspection
Lih-Shinn Hwang, JYi-Kai, Hsu
- 應用梯度提升樹於實價登錄之車位價格預測**
陳亭霓、張智安 71
Predicting Parking Space Prices in The Real Price Registration System Based on Gradient Boosted Trees
Ting-Ni Chen, Tee-Ann Teo
- 結合遙測及共享單車時空數據於都市土地使用分類及模擬**
林秀蓮、朱宏杰 91
Urban Land Use Classification and Simulation Using Remote-sensing and Bicycle-sharing Data
Hsiu-Lien Lin, Hone-Jay Chu
- 都市區有人機傾斜攝影製作真正射影像精度評估與探討**
邱式鴻、邱俊榮 109
Accuracy evaluation and question discussion of urban true orthoimages produced from manned-aircraft aerial oblique images
Shih-Hong Chio, Edward Chiu