

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

第五卷 第一期

中華民國一〇六年一月



VOLUME 5, NO. 1

Jan. 2017

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 18 屆組織表

一、理監事會：

理 事 長：黃榮峰

副理事長：謝福來

常務理事：蕭輔導、崔國強、梁東海

理 事：洪本善、高書屏、吳宗寶、江渾欽、楊 名、周天穎、吳相忠、曾耀賢、蕭萬禧、
邱仲銘、王定平、梁崇智、紀聰吉、謝福勝、張元旭、江俊泓

常務監事：蘇惠璋

監 事：史天元、蕭正宏、容承明、白敏思

秘 書 長：鄭彩堂(兼任)

副秘書長：陳惠玲(兼任)

秘 書：黃錦桂(兼任)、陳鶴欽(兼任)

二、各種委員會：

(一)服務委員會：

主任委員：高書屏

委 員：王定平、王啟鋒、李建利、鄭宏達、盧金胡

總幹事：梁崇智

(二)編輯委員會：

主任委員：楊 名

委 員：史天元、林老生、洪本善、洪榮宏、楊明德、黃灝雄、趙鍵哲、饒瑞鈞

總編輯：陳國華

編 輯：陳鶴欽

幹 事：趙荃敏、林以珊

(三)研究發展委員會：

主任委員：洪本善

委 員：王宏仁、江日春、李旭志、林志清、吳宗寶、吳聲鴻、黃文華

駱旭琛、蕭萬禧、謝福勝

總幹事：陳世崇

幹 事：謝東發、董荔偉

(四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導

委 員：洪本善、張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來

幹 事：由本會秘書處兼任

(五)教育訓練委員會：

主任委員：劉正倫

委 員：崔國強、李文聖、葉文凱

總幹事：蕭泰中

幹 事：謝正亮

(六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎

委 員：李文聖、葉美伶、曾耀賢、盧鄂生、羅正方

總幹事：邱明全

幹 事：李佩珊、湯美華

(七)界址鑑定及諮詢委員會

主任委員：盧鄂生

委員：邱仲銘、江渾欽、洪本善、吳宗寶、吳相忠、曾耀賢、蕭萬禧、崔國強、謝福勝

王年水、駱旭琛、王啟鋒

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

以 Drupal 整合多元網路地圖服務之網誌平台

劉婕昕¹ 王聖鐸^{2*}

論文收件日期：105.02.03

論文修改日期：105.04.19

論文接受日期：105.11.06

摘 要

臺灣可使用的網路地圖服務種類繁多，國土資訊系統下有九大資料庫分組的專業級圖資，Google、Microsoft、NOKIA 等商業公司也提供了各種消費級圖資，然而一般臺灣使用者仍多半習慣使用 Google Maps，而且多半是以截圖方式呈現在自己的網頁中。一方面是對於其他地圖的使用方式陌生，另一方面則是對網路地圖服務(Web Mapping Service, WMS)的標準亦不熟悉。因此本研究透過內容管理系統 Drupal 及其 OpenLayers 模組，整合介接國土測繪圖資之專業級圖資，以及內部已含的消費級圖資，建置一套易於使用網路地圖服務之網誌平台。使用者可依循以往使用網誌的經驗，透過新增文章的方式使用多元圖資，不需了解各個圖資身在何方，即可直接透過選單的方式選擇使用。同時擴充點、線、面繪製及多媒體上傳功能，以突破一般網誌服務僅提供點位標註的限制。使用者在同一網站即可依自身需求、區域特性、主題目標，自由選擇最適合的圖資，並針對文章主題繪製點、線、面等地理資訊。本研究透過使用者實際測試及問卷調查，為所設計之地圖整合平台進行使用性分析，根據實際任務操作後的問卷統計結果，在控制各項網路服務的使用經驗變數下進行共變數分析，結果為使用者網路地圖技術能力對於任務完成總時數的影響無顯著差異，即不具備完整地理技術亦可操作此平台，與本研究所設計的平台易用性目標相符。

關鍵詞：網路地圖服務、內容管理系統、國土測繪圖資、Drupal、OpenLayers

¹ 碩士，國立臺灣師範大學地理學系。

² 助理教授，國立臺灣師範大學地理學系。

* 通訊作者，TEL:(02)7734-1683，E-mail: sendo@ntnu.edu.tw

Integrating Versatile Web Mapping Services with Drupal for Designing a Web Blog Platform

Chieh-Hsin Liu¹ Sendo Wang^{2*}

Abstract

There are a lot of web map services can be used in Taiwan, including consumer-level and professional-level map services. However, most users only use Google Maps. If the Google Maps has problems in the area that they want to use, they cannot find another maps to replace it. Although WMS and WMTS provide a way to integrate maps into one's web, it is still difficult for common users who are not familiar with computer language. For this reason, a content management system (CMS) called Drupal is introduced to integrate both the consumer-level and professional-level map services by its OpenLayers module in this study. Users now can simply select most suitable map while adding article to their blog, without knowing any computer language or cartographic knowledge. User testing and surveys are executed in order to understand the usability of the map integration platform. Based on controlling of the network service experience variables, the ANCOVA results of the usability questionnaires show no difference on users' background.

Keywords: Content Management System (CMS), Drupal, National Land Survey and Mapping Center (NLSC) Maps, OpenLayers, Web Mapping Service (WMS),

¹Master, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

²Assistant Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

*Corresponding Author, TEL:(02)7734-1683, E-mail: sendo@ntnu.edu.tw.

一、前言

在資通訊技術的發展下，提供網路地圖的方式漸趨多元，一般使用者在擷取地理資訊時，能夠選擇的網路地圖管道也越趨豐富，這些網路地圖服務所提供的圖資可分為「消費級圖資」及「專業級圖資」，其中的差異比較如表 1。

表 1 消費級圖資與專業級圖資比較表

網路地圖服務	消費級		專業級
	Google Maps	OpenStreetMap (with Bing Satellite)	國土測繪圖資網路地圖服務系統 ¹
產製方式	Top-down	Bottom-up	Top-down
向量圖資	1.勤崙科技提供	1.圖客影像數化 2.圖客上傳 GPS 紀錄之軌跡並編修	1.運研所路網數值圖 2.測繪中心 1/5000 基本地形圖 3.測繪中心通用版電子地圖
影像圖資	1.DigitalGlobe 衛星影像 2.群立科技航測影像	1.DigitalGlobe 衛星影像	1.通用版電子地圖 2.航測正射影像
特殊圖層	1.大眾運輸 2.路況 3.地形	1.Transport Map 2.Cycle Maps	1.歷史正射影像 2.都市與非都市土地使用分區 2.門牌號碼 3.段籍圖 4.村里界圖 5.國家公園及風景區 6.避難收容所 7.工業區 8.土石流潛勢溪流圖 9.國土利用調查成果圖 10.地籍圖

¹ 國土測繪圖資網路地圖服務圖層確認日期：103 年 6 月 22 日。

		11. 野生動物保護區及棲息環境 12. 飲用水水源水質保護區 13. 垃圾衛生掩埋場 14. 高速公路參考里程
優點	1. 都市地區更新快 2. 一致的處理原則 3. 可使用之相關應用與產品較豐富	1. POI 豐富多元 2. 更新快、具即時性 3. 道路屬性標籤豐富且劃分層級多。 4. 符合地區需求 5. 開源地理資料
缺點	1. 影像幾何校正程度不一致 2. 影像部分區域受雲遮蔽 3. 道路僅有簡單等級畫分	1. 地理語意可能模糊 2. 版本變動大 3. 臺灣除城市地區外，許多地區目前尚不完整 4. 需要大量且自發之圖客 5. 雖有社群維護與共同討論，但製圖者素質不一，且對於屬性的詮釋各有主觀意識

從上述的比較可得知，不同的網路地圖服務具備各種不同的特點，因此，在使用上多樣化的選擇及搭配也應運而生。在臺灣，網路地圖的使用者主要接觸的地圖服務為消費級圖資，以 Google 公司所提供的地圖服務為大宗，部分使用 Microsoft 公司所提供的 Bing Map。除了商業公司提供的地圖服務，近年來在歐洲興起以協同製圖(Collaborative Mapping)發展出 Wiki-style 的開放街圖(OpenStreetMap, OSM)亦是選擇之一。

此類消費級圖資，在臺灣的都市地區更新效率與圖資豐富程度是不容置疑的，但在非都市地區的圖資，仍存在不少問題。在遙測影像的部分，如圖 1，Google 的衛星影像在所擷取的地區即無法使用，若需參考此區影像，則可選擇通用版正射影像的詳細圖資，如圖 2。在電子地圖部分，OSM 的更新效率佳，可以仰賴

公眾力量來建置，但在非都市區域圖資仍明顯不足，如圖 3。比對同區域的部分，Google Maps 的圖資詳細程度與 OSM 相似，如圖 4；此時，通用版電子地圖具備更細緻的圖資內容，將會是使用者的絕佳選擇，如圖 5。

此類專業精確的地圖通常由政府投資測製，作為空間資訊的基礎建設 (Spatial Data Infrastructure, SDI)，例如：內政部國土測繪中心整合所轄通用版電子地圖、國土利用調查成果、航測正射影像等圖資開放介接使用，其採用 OGC (Open Geospatial Consortium) 的 WMS 及 WMTS 標準發布，因此可透過 OpenLayers 函示庫介接。然而一般的使用者對於此類網路地圖服務的熟悉程度不足，甚或不知有這些圖資可使用，其使用門檻亦高。

因此，本研究欲解決之問題主要有二：

1. 臺灣可使用的網路地圖服務類型豐富多元，包含消費級與專業級圖資，但使用者所能聯想並使用的地圖以 Google Maps 為主，若該地圖服務在使用上出現問題，使用者對於其他網路地圖服務不熟悉，則無法順利使用。
2. 網路地圖服務種類繁多且分散，但多數網路地圖服務的使用並不普及，儘管圖資優良，一般的使用者並無法得知該服務，因此如何將分散的多元網路地圖服務整合其中，是本研究欲解決的第二個問題。

根據以上討論，本研究欲將消費級及專業級等多元圖資，整合於同一平台中，使用者不需要到分散的各個平台去擷取所需圖資，並讓不具備任何地理資訊相關技術的一般使用者也能輕易使用圖資。在生活、學術或教育等各領域，將深植各處的「位置資訊」便利地放置在任何想使用的圖資上。提供一個有效率地整合現有的網路地圖服務，並運用網路地圖來分享自己的地理資料，是本研究的重點。

在使用圖資的方式上，根據多數網路使用者對於經營網誌、微網誌、個人社群的經驗，本研究欲透過此操作方式讓使用者獲取多元圖資，架設一套地圖整合平台的網誌服務，使用者可以經由以往使用網誌的經驗，透過新增文章的方式使用多元圖資，不需要去了解各個圖資身在何方，即可直接透過選單的方式選擇使用，同時提升以往網誌服務僅提供點位標註的功能，本研究之平台將會提供更多元的資料格式上傳服務，例如行動裝置紀錄之 GPS 航跡也可透過網站上傳，並直接展繪在地圖中。

彰化縣大城鄉(120.3109128E, 23.874576N)

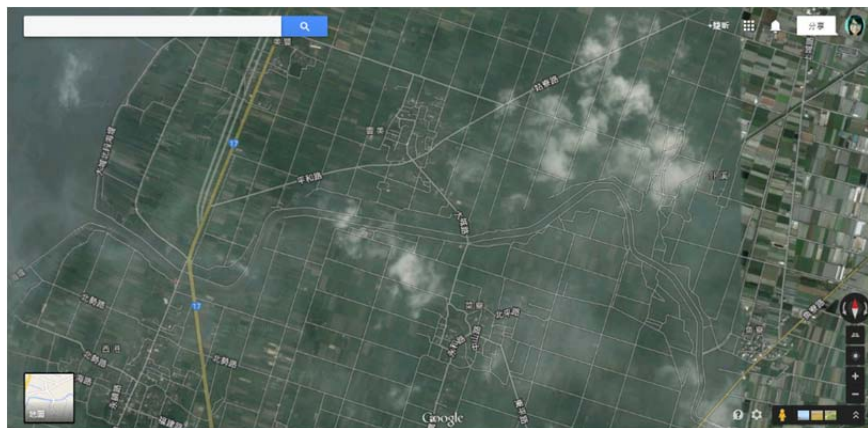


圖 1 彰化縣大城鄉之 Google 衛星影像

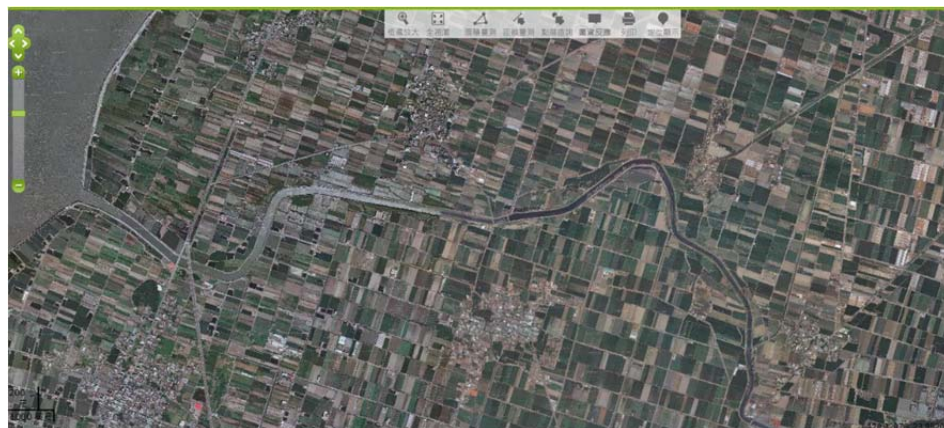


圖 2 彰化縣大城鄉之通用版正射影像

臺東縣知本國小附近(121.05425E, 22.70571N)



圖 3 知本國小附近 OpenStreetMap



圖 4 知本國小附近 Google 地圖



圖 5 知本國小附近通用版電子地圖

二、文獻回顧

本研究提出以內容管理系統作為架設網路地圖服務系統的技術工具，Athan (2007)將已知的 45 種技術工具根據相似功能進行分類，選出各分類中較為穩定的開源免費技術工具作為參考，並依據網路地圖服務系統提供典型的四種服務類型作為比較方式並進行功能、成本、風險與所需技術的可行性分析。Drupal 為具有空間感知(Spatially-aware)的內容管理系統，它具備將帶有地理標記的內容展示在地圖上，同時 Drupal 也是一個免費獲取的開源軟體，在 Athan 的技術工具分類中，Drupal 在該分類屬於穩定性較佳的參考，因此在架設網路地圖服務上，是一項值得考慮的方案。內容管理系統也和地理資訊系統的結合並運用在各領域，如表 2：

表 2. 內容管理系統與 GIS 整合的應用範例

System Name	開發單位／ 開發者	CMS	Web Mapping Tool	Other Tools
公路養護資訊 整合應用平台	交通部運輸 研究所 (2011)	自行開發	Google Maps API	PostgreSQL, PostGIS
國家重要濕地 資料庫入口網 站	內政部營建 署城鄉發展 分署(2010)	Drupal	Google Maps API, MapServer for Windows, GeoMOOSE	PostgreSQL, OpenLDAP, MetaCat
文化資源地理 資訊系統	中央研究院 人文社會科 學研究中心 地理資訊科 學研究專題 中心(2009)	Plone	Google Map API	PostgreSQL,
數位說故事的 地理教學工具	Papadaki et al. (2010)	Joomla!	OpenLayers, GeoServer, GeoNetwork	PostGIS
優人神鼓少年 安途生計畫	柯皓仁等 (2012)	Drupal	Google Map Service V3	iBike 團體定位 移動系統 Facebook Plugin

儘管上述各案例均根據不同需求，而採取不同的技術工具與使用策略，但各項案例主要都是使用內容管理系統作為網站的框架，再搭配各自選擇的網路地圖工具。雖然功能完善且豐富，但對於一般使用者在使用多種網路地圖服務來講，

會有諸多的技術問題。因此，本研究嘗試以不搭配其他工具的情況下，根據 Drupal 的 OpenLayers 模組做升級，讓使用者在架設網路地圖服務時能夠更加簡便。

OpenLayers 是一個將動態地圖嵌入網站的物件導向 JavaScript API，有許多來源不同的地圖都可以被匯聚到 OpenLayers 的地圖中。使用此程式語言製作的地圖是具有互動性的，使用者可以放大、縮小地圖，也可以拖曳或調整地圖顯示的比例尺、勾選想要啟用觀看的圖層，也可以標記想要顯示的位置資訊或是編輯向量資料。OpenLayers 的優點是：它可以完全根據網站的架構客製化地圖，它也提供使用者自行定義工具和設定，同時也支援新的地圖圖資匯入(Sauerwein, 2010)。由於 OpenLayers API 是由 OSGeo 在開放時，採用 WMS-C(Web Mapping Service-Tile Caching)規格，因此，OpenLayers 可以應用以 WMS 發布之圖資(陳世儀等, 2012)，此外，它也支援 XML, GML, GeoJSON, GeoRSS, JSON, KML, WFS, WKT(Well-Known Text)等格式(林佳樺 2011)，只要是能夠被支援的格式，即可在網站前台顯圖。

本研究的目標族群為網路地圖服務的使用者，目前的研究主要是網路地圖平台的使用性評估，針對網路地圖服務使用性評估並不多，因此採用一般網站使用性評估的方式。網站的使用性(Usability)評估因子包含：有效(Effectiveness)、效率(Efficiency)、滿意度(Satisfaction)、錯誤率(Error Frequency and Severity)、記憶性(Memorability)五項。評估使用性的方法分為兩項：專家導向評估與使用者導向評估(Genuis 2004)。Newman et al. (2010)開發公民科學(citizen science)的 Web Mapping 網站，針對大眾參與者進行網路地圖服務的使用性評估，評估使用者對網站的滿意度、效率、有效此三項使用性評估因子，根據定量和定性兩種方法分別設計評估方式，評估結果後再進行系統的修正，系統上線後會持續收集網友的回饋來做系統修正，最終從網站開發與參與者經驗中習得改善網站的問題，並提供一套以公民參與科學為基礎的 web mapping 網站架設指引。

三、研究方法與流程

本研究採用開放源碼的內容管理系統—Drupal，除了本身具備的核心模組，它具有非常多的模組可以用來添加各種功能，使用者可以在不需要修改程式碼的情況下，依照自己的需求來設定網站的功能。此外，Drupal 有強大的社群做後盾，使用者遇到問題即可隨時上網尋求援助(Byron et al. 2012)。

透過此一彈性的系統構造，可以將架設網路地圖服務的作業流程更加簡化，如圖 6，在使用內容管理系統前，使用者若要使用網路地圖服務，必須具備相關的技術能力，方可自行發布網路地圖或者取得其他方所發布的網路地圖；然後修改後的網路地圖服務架構，如圖 7，透過內容管理系統去介接其他來源的網路地圖服務，使用者不需了解網路地圖身在何方，而可以直覺的使用網路地圖，使得網路地圖服務的取得更為便利，提升使用地圖的架站者及一般使用網路地圖的用戶，在操作地圖時的意願與內容的豐富程度。

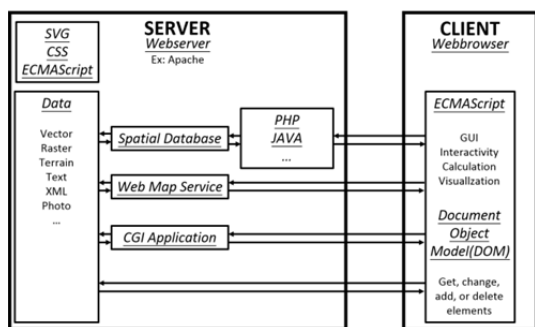


圖 6 網路地圖服務架構圖

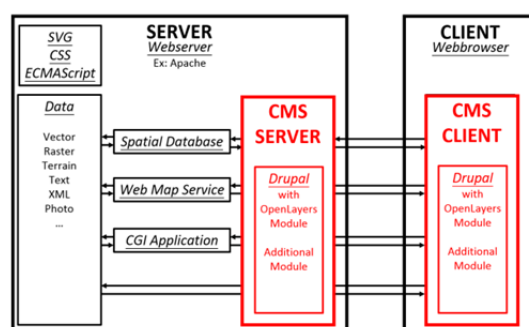


圖 7 修改後的網路地圖服務架構圖

因此，本研究以內容管理系統 Drupal 為架設網路地圖服務之基礎工具，搭載其具備完整功能的 OpenLayers 模組，整合以國土測繪圖資為基礎的網路地圖平台。此一以內容管理系統建造之網路地圖整合平台應達成以下條件：

- OpenLayers 模組需整合臺灣公部門自產之專業級圖資
- 簡化網路地圖服務架設之流程與時間
- 提升一般使用者對於專業級地圖的可及性
- 具備符合使用者所需之網路地圖整合平台之功能
- 建立符合使用者需求之網路地圖服務操作基本流程

在網路地圖整合平台的設計與使用方面，一般網路上現行包含地圖功能的服務多為單一主題，如：帶我去旅行、TripAdvisor 等鎖定使用族群的主題性功能，且提供的地圖服務同樣為單一來源的 Google Maps，其實是不利於社區深度旅遊時使用。圖 8、圖 9 以南投桃米社區為例，社區營造的結果卻無法呈現在 Google Maps 上，由於旅遊網站多半採用 Google Maps，以致於以旅遊為需求所設計的地圖網站，卻不一定有辦法滿足旅遊的需求，因為使用者沒有其他圖資可供選擇。如果使用者除了 Google Maps 之外，還可以選擇 OpenStreetMap，就有機會看見不同的結果，選擇其合適的旅遊方式。



圖 8 Google Maps 上的南投桃米社區



圖 9 OSM 上的南投桃米社區

本研究希望將多種圖資集結在一個網站中，使得每位使用者無論其背景、來源或使用目的，均可根據自身需求輕鬆選擇使用多元圖資。在圖資使用上以使用

者自身目的為主，一般使用者也能輕易使用專業級網路地圖服務，而不再侷限於少數專業的使用者。因此，本研究所設計之平台不預設主要使用族群、不預設主要使用目的，為各類使用者皆可操作為主的通用性平台。

四、多元網路地圖服務平台設計與建置

(一) 平台功能分析

本研究之地圖整合平台建置之目的為：使用者能夠將自身已有且欲分享的地理資料，快速地使用地圖來發布資訊與內容。而在此同時，能夠有更多樣化圖資的選擇，且選擇的方式是便利的，使用者毋需具備深厚的地理資訊技能，短時間內即可輕易上手使用。

地圖網誌平台之使用者端概念具象化如圖 10，現今的網誌、微網誌服務與地圖服務多以發布圖文、影音及地理位置資訊為主要功能。為了讓使用者能夠在最快速上手並使用網站的前提下設計網站，採用的方式即是以常用的「新增文章內容」的方式，無論任何功能的達成，皆採用此方式。而發布的文章會自動生成個人頁面，使用者不需要做個別的設定即可建立個人網誌專頁。

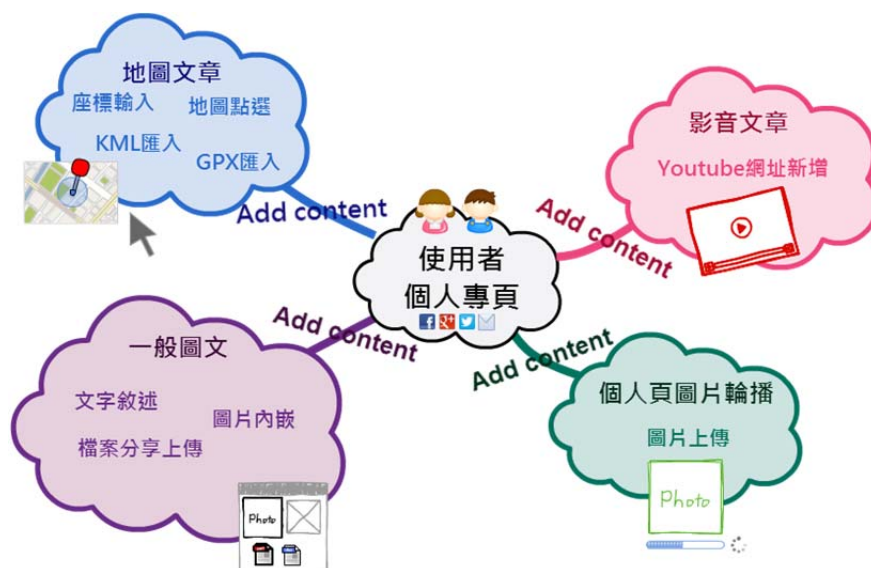


圖 10 地圖整合使用平台 - 使用者端概念圖

(二) 內容管理系統

採用 Drupal 架設地圖網站之概念圖如圖 11 所示，架站環境採用支援 php 及 MySQL 的網站伺服器，並符合 Drupal 所需的系統需求規範。下載核心壓縮檔後安裝至伺服器；一個含有地圖功能的 Drupal 網站必須安裝額外的附加模組，包含為了新增地圖內容，存放地理資料格式的 Geophp、Geofield 等，另外還需要安裝將地理資料展繪在地圖上的模組，如 OpenLayers、Leaflet 等。

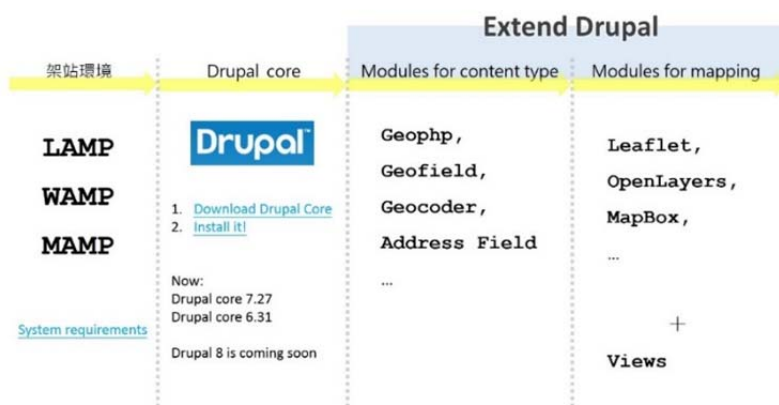


圖 11 Drupal 架設地圖網站概念圖

Drupal 社群所開發之 OpenLayers Module 使用 OpenLayers JavaScript 函式庫，讓 Drupal 網站可以創建地圖內容，模組內包含三部分，如圖 12：OpenLayers（核心模組包含地圖、圖層、樣式和圖徵設定及 API）、OpenLayers UI（使用者介面和表單）、OpenLayers Views（所有與建立地圖列表頁相關的部分），一般架站者可以直接透過 OpenLayer UI 來加入其他 WMS、WMTS 所發布的地圖，但是使用者必須具備投影坐標及其他相關的地圖知識，考慮到無法假設每位架站者皆具備此能力，因此決定將圖資直接加入 OpenLayers 模組的預設圖層中（openlayers.layers），如同已預設在模組中的消費級圖資（Microsoft、Google、MapBox、MapQuest、OpenStreetMap），架站者在安裝的同時，即可獲得專業級圖資的來源選項，而網站使用者只需透過選擇的方式來使用地圖。

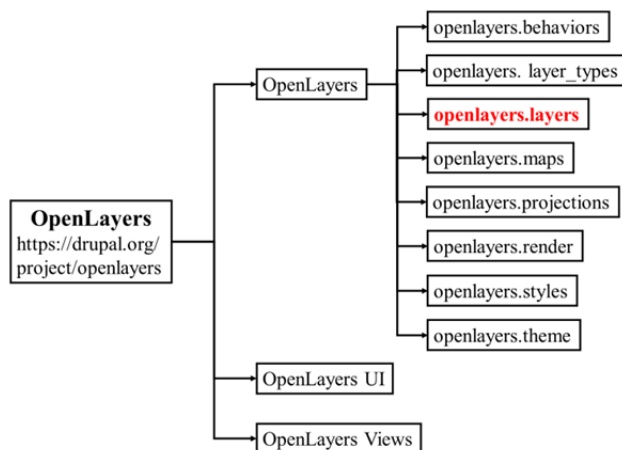


圖 12 Drupal 的 OpenLayers 模組架構圖

(三)建置成果與操作流程設計

本研究之地圖整合平台建置流程如圖 13。在硬體設備上採用一般桌上型電腦，作業系統採用 Ubuntu Linux 12.10，網站伺服器環境的部分採用 Apache HTTP Server 加上 MySQL 資料庫與 php 共同組成的架構。準備完成平台架設的基礎環境後，安裝 Drupal.org 提供的 Drupal 7 核心程式 7.27 版（2014.04.30），執行標

準的安裝程式後，將平台進行初步的設定，如：網站資訊、更新通知、伺服器設定等部分，並中文化網站操作介面，Drupal 核心與模組的翻譯檔由志願者翻譯，並提供於 localize.drupal.org，但並非所有翻譯皆已完成，因此在使用者操作介面未翻譯完成的部分，也可透過管理後台逐步翻譯。

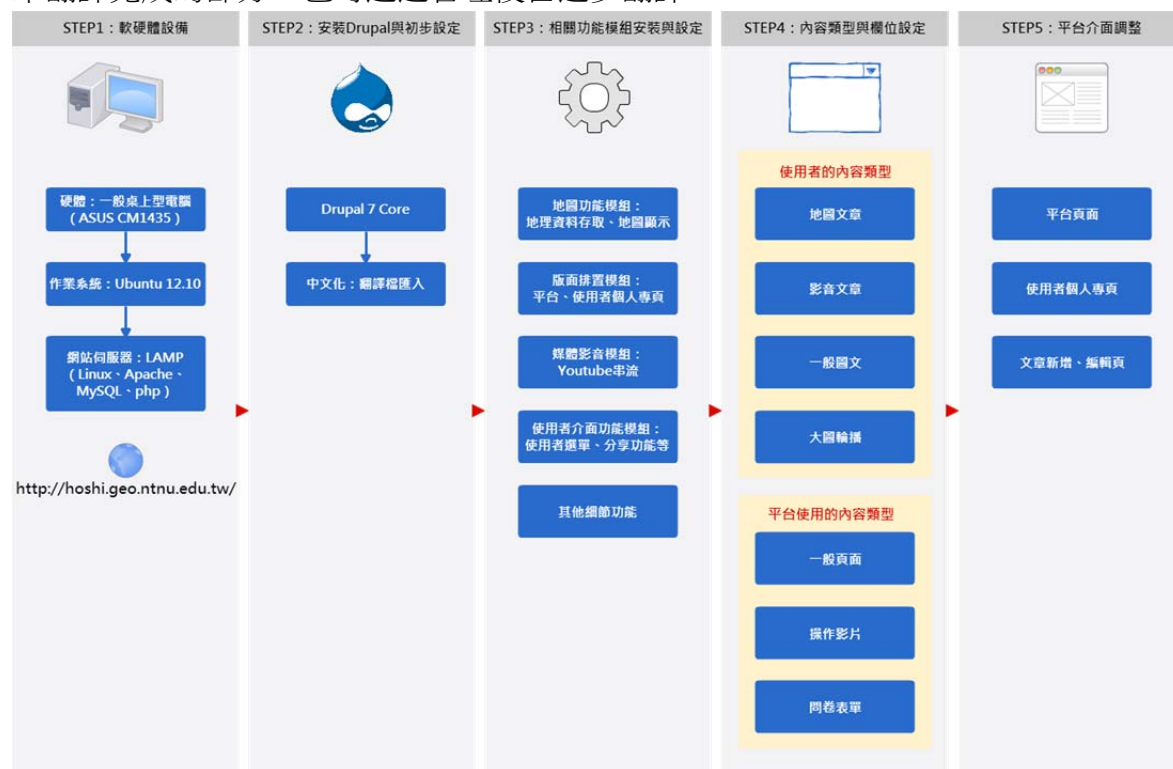


圖 13 地圖整合平台架設流程圖

在地圖功能相關模組的部分，此類模組主要用來存取各種類型的地理資料，並將之轉換後顯示於地圖上，並且能夠介接外部圖資，本研究使用到的模組如表 3。

表 3. 地圖功能相關模組

模組名稱	功能
Geofield	存取地理和位置資料，包含點、線、多邊形。
OpenLayers	需連結 OpenLayers.org 的 OpenLayers library 或是裝在本機端（建議）；OpenLayers API 基本模組、管理 OpenLayers 的使用者介面和製作地圖頁面或區塊的 Views plugins
Geocoder	將多種地理資料地理編碼成其他 GIS 資料類型。
Geofield Map	提供基本的地圖介面來存取點、線、多邊形。
geoPHP	包裹了 geoPHP library，可以在 php 中進階使用幾何操作。
Conditional Fields	根據狀態或值來控制欄位間的依存關聯。

(四) 地圖整合平台的建置成果

本研究架設之平台為「MapIntegration 便利的地圖使用平台」，網址為：<http://hoshi.geo.ntnu.edu.tw/>。使用者進入此平台後，可以閱讀首頁的簡短說明，相關的操作影片也放置在首頁，細節的說明則在主選單中的系統說明、系統功能、操作說明等，如圖 14 所示，以落實本研究希望建立一套簡單易用平台之目的。網站範例呈現出使用者個人頁面的配置方式，如圖 15 所示。首頁可直接註冊平台的帳號，註冊成功系統會自動寄送驗證信至使用者電子信箱，啟動帳號後即可開始編輯個人帳號及新增地圖文章。

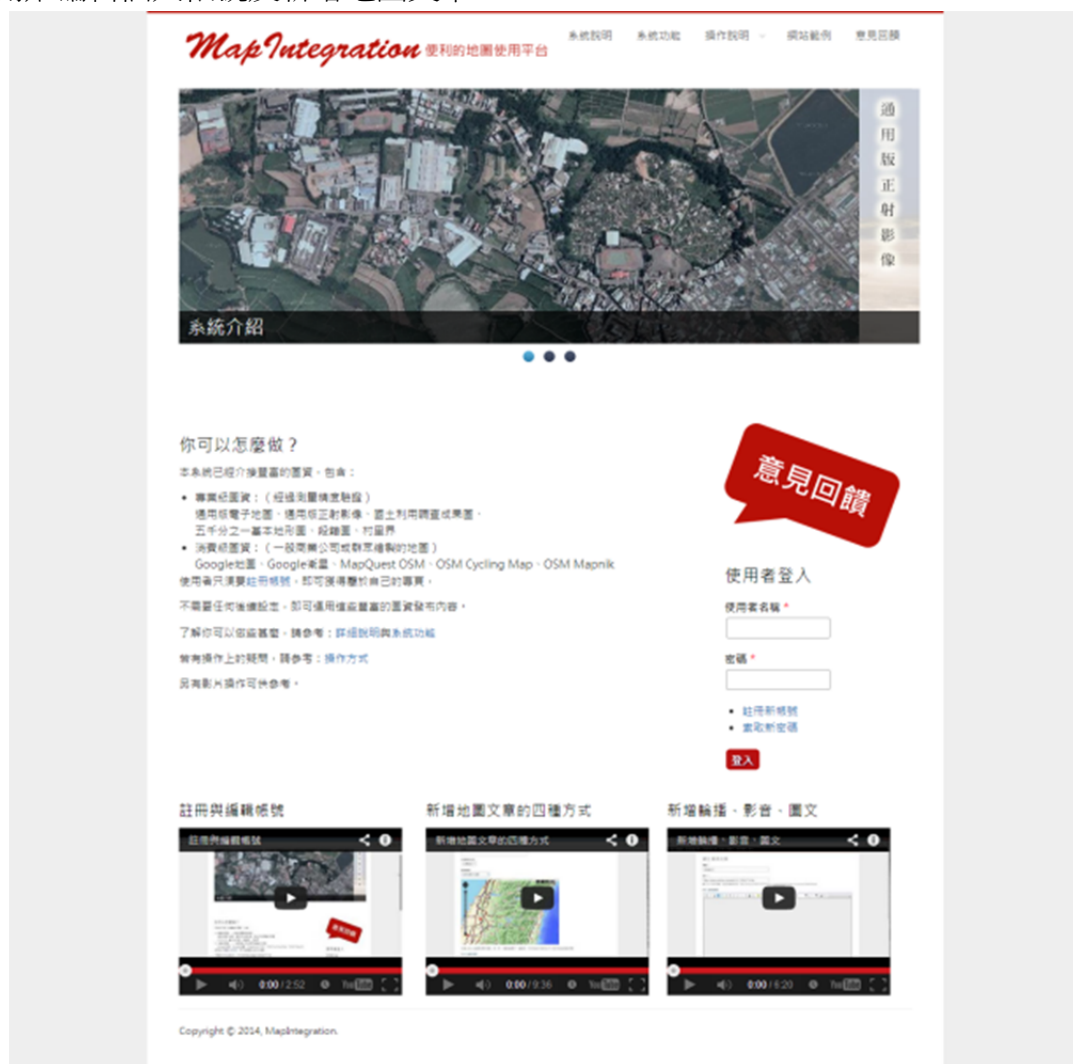


圖 14 MapIntegration 地圖整合平台建置成果圖



圖 15 個人專頁範例

選新增的文章類型後，會出現新增文章的畫面，如圖 16，此為新增地圖文章的頁面，使用者只需要選擇自己想要新增地理資料的方式，包含：座標輸入、地圖點選、KML 匯入、GPX 匯入四種方式。除了以往線上網誌服務提供的新增點位功能，使用者可以新增路徑或多邊形，不再局限於只能新增單一點位。而在圖資呈現的選擇部分，目前平台預設介接的圖資包含：

1. 經過測量精度驗證的專業級圖資：通用版電子地圖、通用版正射影像、國土利用調查成果圖、五千分之一基本地形圖、段籍圖、村里界。
2. 一般商業公司或群眾繪製的消費級圖資：Google地圖、Google衛星影像、MapQuest OSM、OSM Cycling Map、OSM Mapnik。

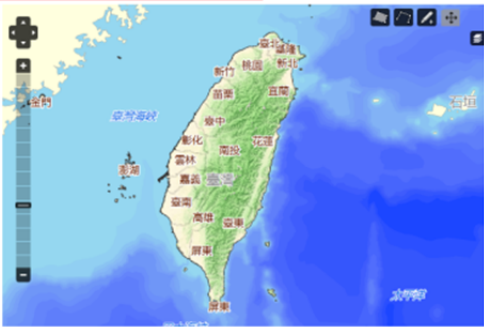
[回到MapIntegration](#) [新增地圖輪播](#) [新增地圖文章](#) [新增影音文章](#) [新增一般圖文](#) [文章列表](#) [我的帳號](#) [登出](#)

建立 MAP

標題 *

地理資料格式
 地圖載進
 圖資選擇
 通用版電子地圖

選擇新增地理資料的方式，以及想要呈現在哪種地圖。此為：在通用版電子地圖上用地圖點選的方式新增資料。



在圖上的icon選擇您要新增點、線、面。地圖僅會顯示一種圖層，平移及縮放可使用左方工具列或直接滾動滑鼠，某些介接之遠測影像背景路邊明疊加著，故先設置道路圖層供參考，要切換到影像請點選圖中右側切換圖層的icon。

內文 ([編輯摘要](#))

文字格式 Full HTML ▼

- 自動將網址與電子郵件地址轉為連結。
- 自動斷行和分段。

[更多關於文字格式選項的資訊 ⓘ](#)

文章代表圖

[選擇檔案](#) [未選擇檔案](#)

上傳

代表圖出現在文章列表表頁的小型縮圖，幫派上傳系統會採用預設圖片。

檔案必須小於 50 MB。

允許上傳的副檔名：[png](#) [gif](#) [jpg](#) [jpeg](#)。

儲存

Copyright © 2014, MapIntegration.

圖 16 新增地圖文章畫面範例

選擇完新增地理資料的方式及想要呈現在的地圖後，輸入敘述的內文和插圖，即可發佈文章，發佈的結果如圖 17 所示：



圖 17 地圖文章發佈成果範例

五、教育應用可能性探討

本地圖整合平台的除了以網誌撰寫為主要概念，並增加數種新增地理資料的功能、方式，並整合多元圖資供使用者選用。因此除了紀錄功能，應可依使用者的需求，應用在各種不同層面，例如：教育、休閒、觀光、旅遊、生態保育、古蹟保存、環境教育等。本研究透過與時任中學地理教師進行訪談，探討本平台應用於教育之可能性。

國中地理教師在訪談中表示，空間資訊相關的教學，在國中的部分進度僅止於等高線、航空影像判釋等，無相關的課程需求；在高中地理教師訪談的部分，了解此名教師及其服務高中的地理資訊教學實行方式如下：

1. 教師授課方面：目前主要以板書教學，有教師會使用網路地圖服務進行示範，如：NGIS 所屬九大資料庫之網路電子地圖平台。
2. 實地踏查方面：學校提供平板，但該器材不易使用，教學以老師做好教材提供學生下載，到現場最多僅有拍照及標示，戶外限制多且受限網路。
3. 學生操作方面：使用百年歷史地圖查詢自己的家；使用 Google Earth 介紹觀光景點，標記五個點位並加上照片，存成 KMZ 檔案後上台報告。

同時，該名受訪教師亦表示，地理資訊的教學上若需安裝軟體是非常不便的，若可以線上直接實行，不需加裝軟體會更加便利。

根據以上訪談內容可以得知，教師在地理資訊的教學上有以下困境：

1. 受限於硬體設備：學校提供之平板不易於學生操作，同時受限於平板連線網路的問題。
2. 安裝軟體不方便：若使用 Google Earth 或其他 GIS 軟體，需安裝至電腦中，故教師上課時使用網路地圖服務進行示範，且學生操作時能夠進行的課堂及課後作業有限。

根據普通高級中學必修科目「地理」課程綱要中，關於地理資訊教學之具體目標包含「地理資訊蒐集及處理，並且能夠了解地理資訊在生活中的存在與如何使用地理資訊」。在 GIS 操作上建議使用 Google Earth 及 Umap，正巧與地理教師的「安裝軟體不方便」相悖，而 Umap 亦非目前一般民眾常用之網路地圖。

除此之外，目前地理教師常用的網路地圖服務，如：百年歷史地圖、NGIS 國土資訊圖台，雖然也都整合了許多地圖資源，但是在使用上主要是以圖層資料展示為主，使用者可進行線上的地圖基本測量、匯入自己的地理資料、線上數化等基本功能，教師在教學上可快速使用，在展示上十分方便。但在這些網站中，使用者無法發布屬於地理資料的相關內容，也無法賦予地理資料更多的知識與資訊，並長久發布於網站，對於以上的網站，地圖功能僅是在開啟網站時可用，關掉網站之後即消失。如此一來，地理教學中的地理資訊操作，僅僅成為倏忽即逝的瞬間，然而地理教學的意義即是整合，無論是技術、自然、環境、人文、社會等，若能將地理資料賦予內容價值，與現行網路地圖服務互相搭配使用，便可讓一筆地理資料有更多的價值。

由於新增地圖的方式包含坐標輸入、地圖點選、KML 匯入、GPX 匯入，應用地圖點選的功能可以協助說明關於圖層、Point、Polyline、Polygon、KML 的概念；「歷史、鄉土、文化的教學意義」，亦可以應用此平台，讓學生進行家鄉的探查，平台能夠讀取行動裝置的位置資訊，並將位置或路線資訊紀錄後即時上傳至個人專頁，如圖 18，可以免去平板連線或操作不易等問題，學生可使用自己平時的手機進行位置存取及發布，發布關於家鄉的探查文章，提供即時的數位化教學互動場域。



圖 18 透過讀取智慧型手機所在位置發布地圖文章截圖

六、地圖整合平台使用性分析

(一)任務設計與平台施測

在使用性分析中的任務設計部分，由於平台的設計目的是希望將任何專頁的元素都以發布文章的方式來進行，讓使用者可以透過發布文章的模式來得到一個屬於自己的專頁，因此，在平台施測的部分，本研究設計七個任務，如圖 19，使用者完成七項任務後即可獲取一個屬於自己的完整個人地圖專頁，達成此目標需要完成的任務。

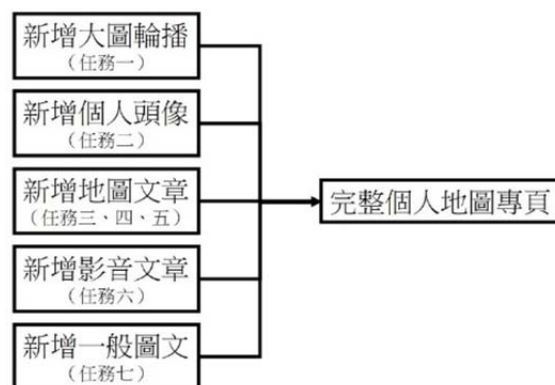


圖 19 使用者測試任務設計步驟

本研究採用的施測方式為，地圖平台的設計是以平時會使用網路服務的用戶為目標群，同時必須需要了解對於地理資料熟悉的專業人群與一般使用者的差異，因此施測的方式採用網路問卷，獲取受試者的管道如表 4：

1. Facebook、Twitter、Plurk、Google plus 社群網絡分享：獲取一般使用者及更多類型使用者的回饋；
2. 國立臺灣師範大學空間資訊學程所開設之「地理資訊科技」課程：取得平時會使用地理資料的使用族群。

表 4. 問卷發放管道及回收整理統計.

	原始問卷數		可用問卷數	
	次數	百分比	次數	百分比
INTERNET 社群網路分享	32	51.6%	27	51.9%
GEO_CLASS 課堂施測	30	48.4%	25	48.1%
總和	62	100.0%	52	100.0%

(二)使用者背景能力分析

平台網站測試時，本研究假設使用者在操作網站時，會受到自身使用過的網路服務種類、數量等相關經驗而受到影響，因此針對使用者對於網路服務使用的經驗進行統計，也針對使用者的專業領域或工作領域進行調查，了解除了日常生活之外，是否在專業及工作領域使用網路地圖服務；此外，也調查使用者對於網路地圖技術的了解程度，將此二者視為使用者在操作平台時的背景知識。

■ 使用者背景資料：為了獲取了解網路地圖技術的使用者，因此有 34 位(65.4%)為地理專長的學生及老師，另外 18 位(34.6%)使用者則是來源於各種類型的領域，有助於獲得一般使用者的體驗感受與平台修正意見，促使平台能夠更加親民。

■ 網路服務使用經驗背景評估：網路服務使用經驗背景評估的部分，包含使用者對於網路地圖、一般社群專頁、網誌的使用經驗，根據以上使用經驗，本研究預設六個有關於網路地圖與專頁、網誌使用經驗的題目，依照使用者填答使用過的網路服務，評估其網路服務經驗的豐富程度，將使用者進行網路服務使用能力計分，方式如下：

1. 是否曾經使用過網路地圖與其相關的服務？

本題採開放式作答，依照使用者填答的使用過的網路地圖服務數量給予分數，如：使用過 Google map、OSM 兩種服務，則評為 2 分，無使用過為 0 分。

2. 分享網路地圖的方式多為？

本題給予封閉式作答，使用的技術難易度分別給予 1 至 3 分，包含螢幕擷圖（1 分）、網路地圖服務提供的分享方式（如連結、框選範圍圖片下載等）（2 分）、自己寫 API（3 分），及其他（依照方式給予權重）。

3. 是否有經營網誌、個人專頁、社群專頁的經驗？

本題採開放式作答，依照使用者填答的使用過的服務數量給予分數，如：使用過無名小站、PIXNET 兩種服務，則評為 2 分，無使用過為 0 分。

4. 您的專業領域／工作領域是？

5. 是否有將網路地圖使用在您個人的專業領域／工作領域？（多選）

第四、五題，使用者若於專業領域或工作領域中會使用網路地圖服務方式，表示其接觸網路地圖的頻率比一般使用者更高，因此先詢問使用者的專業或工作領域，並給予封閉式作答選項 9 項（衛星航拍影像判讀、教學講解使用、導航分析、地址門牌查詢、坐標查詢、標註位置、描繪路線、描繪範圍、疊加圖層及其他），依照使用者填答的使用過的網路地圖服務方式數量給予分數，若有填寫其他方式則依照數量遞增分數，如：使用過描繪範圍、疊加圖層兩種方式，則評為 2 分，沒有使用在專業領域／工作領域為 0 分。

6. 是否有將網路地圖使用在您個人的一般生活？

本題採開放式作答，依照使用者填答的使用過的網路地圖方式數量給予分數，如：使用過地址查詢、html 嵌入兩種方式，則評為 2 分，無使用過為 0 分。

■ 網路地圖技術能力背景評估：本研究設計的網路地圖平台目的是希望，即使不具備充足網路地圖技術相關的能力，也能夠依照一般使用網路上各項服務的經驗，而達成使用地圖的目的，因此，本研究預設五個題目有關於網路地圖技術的使用程度，每個題目對照的選項有對應的能力分數，如圖 20，調查的項目包含對 KML、KMZ、GPX 等地理資料檔案格式的了解程度；網路地圖服務標準 WMS、WMTS 的了解程度；網路地圖提供的 Google Maps API 及 OpenLayers API 的了解程度。

使用者網路地圖技術能力背景評估					
1. 您對KML、KMZ檔案的熟悉程度？					
沒聽過 0分	僅聽過 1分	僅會匯入、匯 出2分	會編輯 3分		
2. 您對GPX檔案的熟悉程度？					
沒聽過 0分	僅聽過：1分	僅會匯入、匯 出2分	會編輯 3分		
3. 您對WMS、WMTS等地圖服務標準的熟悉程度？					
沒聽過 0分	僅聽過 1分			僅會介接 4分	會發佈服務 5分
4. 您對Google Maps API的熟悉程度？					
沒聽過 0分	僅聽過 1分				會寫程式使用 5分
5. 您對OpenLayers API的熟悉程度？					
沒聽過 0分	僅聽過 1分				會寫程式使用 5分

圖 20 網路地圖技術能力評分對應圖

■ 平台任務操作分析：

本研究預計設計一套即使不具備完整地理資訊技術背景的使用者也可以輕易使用的地圖平台，因此需要了解，無論網路地圖技術能力分數高或低的使用者，皆可輕易上手此平台，因此必須驗證是否達成此目標。但由於平台任務操作的項目可能受到網路服務的使用經驗的影響，亦即經常使用網路上提供服務的使用者，對於網站使用的熟悉度較高，在操作上會更容易上手，有鑑於此，因此需要控制網路服務的使用經驗，因此將網路服務使用能力視為控制變數進行共變數分析（ANCOVA），將相同分數者視為同能力類群，檢視網路地圖技術能力分數相異的使用者，在操作平台任務完成總時數是否具有顯著差異。

此一共變數分析結果如表 5，在 Levene 的變異數同質性檢定為不顯著， $F_{(10,41)}=2.057$ ， $p=0.052$ ，符合同質性假設，表示受試者間的離散情形不具明顯差別。此外，組內迴歸係數同質性考驗的結果顯示，自變數（網路地圖技術能力）與共變數（網路服務使用能力）的交互作用項 $F_{(8,32)}=1.031$ ， $p=0.434$ ，未達顯著水準，表示各組內的共變數與依變數的線性關係具有一致性。共變數的效果檢驗則發現， $F_{(1,40)}=8.281$ ， $p=0.006$ ，達顯著水準，表示共變數（網路服務使用能力）對於依變數的解釋具有統計意義，其具有控制的實務意義。組間效果的考驗結果為 $F_{(1,40)}=1.762$ ， $p=0.100$ ，表示網路地圖技術能力的不同在任務完成總時數無顯著差異，效果量的 $\eta^2=0.306$ ，顯示自變數對於依變數的並無過高的解釋力，亦即網路地圖技術能力對於任務完成總時數的影響無顯著差異。

表 5. 共變數分析結果摘要表

變異來源		SS-I	df	MS	F	p	Eta ²
無共變項	GISabilitySum (X)	6940671.96	10	694067.20	2.530	.018	.382
	Error	11246390.71	41	274302.21			
有共變項	WebabilitySum (Cov)	2285280.652	1	2285280.65	8.281	.006	.172
	GISabilitySum (X)	4863331.58	10	486333.16	1.762	.100	.306
	Error	11038450.44	40	275961.26			
Total		85208817.00	52				
		0					

*p<.05

(三) 平台使用性評估

■ 任務計時量化分析：

探討地圖整合平台的使用性問題，本研究採取的分析之一是任務計時量化分析，由於本研究設置任務時，無法預測每位使用者在編輯部落格時填寫內容的詳細程度，可能導致時間計算的差異，欲避免每位使用者完成任務的時間計算不平等，故施測過程中，請受試者留下該篇任務文章之網址用以評估，若時間過長者，是否是因編輯內容而導致。問卷預設七項任務進行測量，並由結果計算出任務花費時間的平均數、標準差及完成率。

在此分析中，任務一、六、七皆僅一人無法順利完成，因此視之為個案不予討論，任務二、三兩項任務時皆能順利完成；任務四的部分，完成率為 92.3%、任務五的完成率僅 46.2%，超過一半以上的人無法達成此任務，此二任務與新增地圖文章相關，因此將之進行細部討論使用者遭遇困難的原因。

此兩項任務題目為：

任務四：用「坐標輸入」的方式，隨意輸入一個有興趣的點在「OSM Mapnik」上，並把這篇文章的標題命名為「[問卷任務 4]-(坐標)」

任務五：用「KML 匯入」的方式，成功匯入在任何一張地圖上，並把這篇文章的標題命名為「[問卷任務 5]-KML 匯入」

多數使用者在回饋的部分給予之原因為：

1. 坐標輸入問題：使用者不確定坐標輸入的格式、不知道自己要輸入地方的坐標為何。
2. KML 匯入問題：使用者不知道什麼是 KML、不會用 KML，以致於無法達成此任務。

以上回饋顯示一般使用者可能傾向使用地名或地址輸入，因此本平台應加入地址編碼的功能，或者坐標範例及坐標轉換功能；另在 KML 的部分，可以得出

一般使用者較少使用 KML 來儲存地理資料，因此在平台的地圖功能設計上，可能必須做使用者分群的設定。

■ 使用者主觀使用性量表分析：由於使用者即便能夠完成所有任務，也未必能夠反映平台是否能夠符合該名使用者的需求，亦即有效性和效率。因此，透過針對地圖整合平台所設計的主觀認知的使用性量表，採用 Likert-type 五點量表，以用來了解使用者對於操作的感想，主要在地圖資源、地圖功能整合的使用面上設計此量表，了解使用者是否在使用地圖上能夠有效率地完成想做的事情，並且使用到想用的圖資與地圖功能，其結果如圖 21，使用者對於操作的感想，在問題的答覆上比例多為普通至正向意見，惟使用者對於再訪平台的意願中等，顯示平台有急需改善與新添功能的議題。

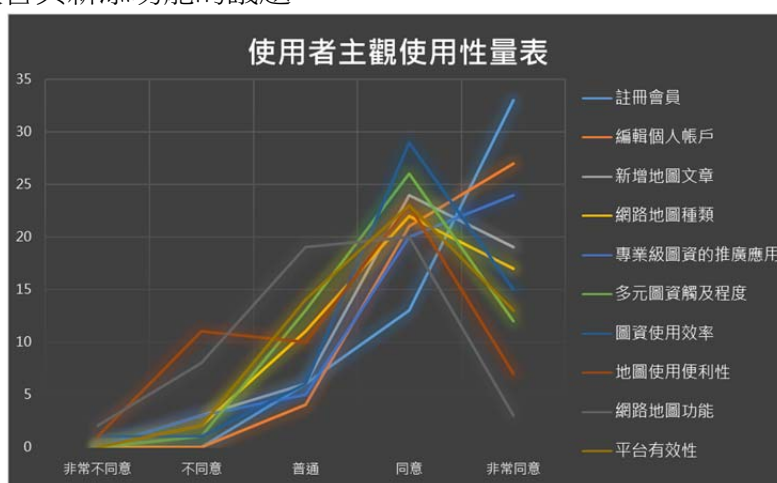


圖 21 使用者主觀使用性量表

■ 平台滿意度評估

平台整體滿意評估的方式採用系統使用性量表 System Usability Scale (SUS) 進行評估，總計為 65 分，標準差為 15.48。將使用者體驗完平台所提供的功能，用以了解使用者對平台的感受滿意度，其結果如圖 22。對於平台的評價，由於前述對於地圖功能、地圖圖資與分級有不同的意見，因此在各個題項中皆有部分不滿意的族群，但使用者對於操作平台的信心上皆是普通至正向，惟使用者對於再訪平台的意願中等，顯示平台有急需改善與新添功能的議題。

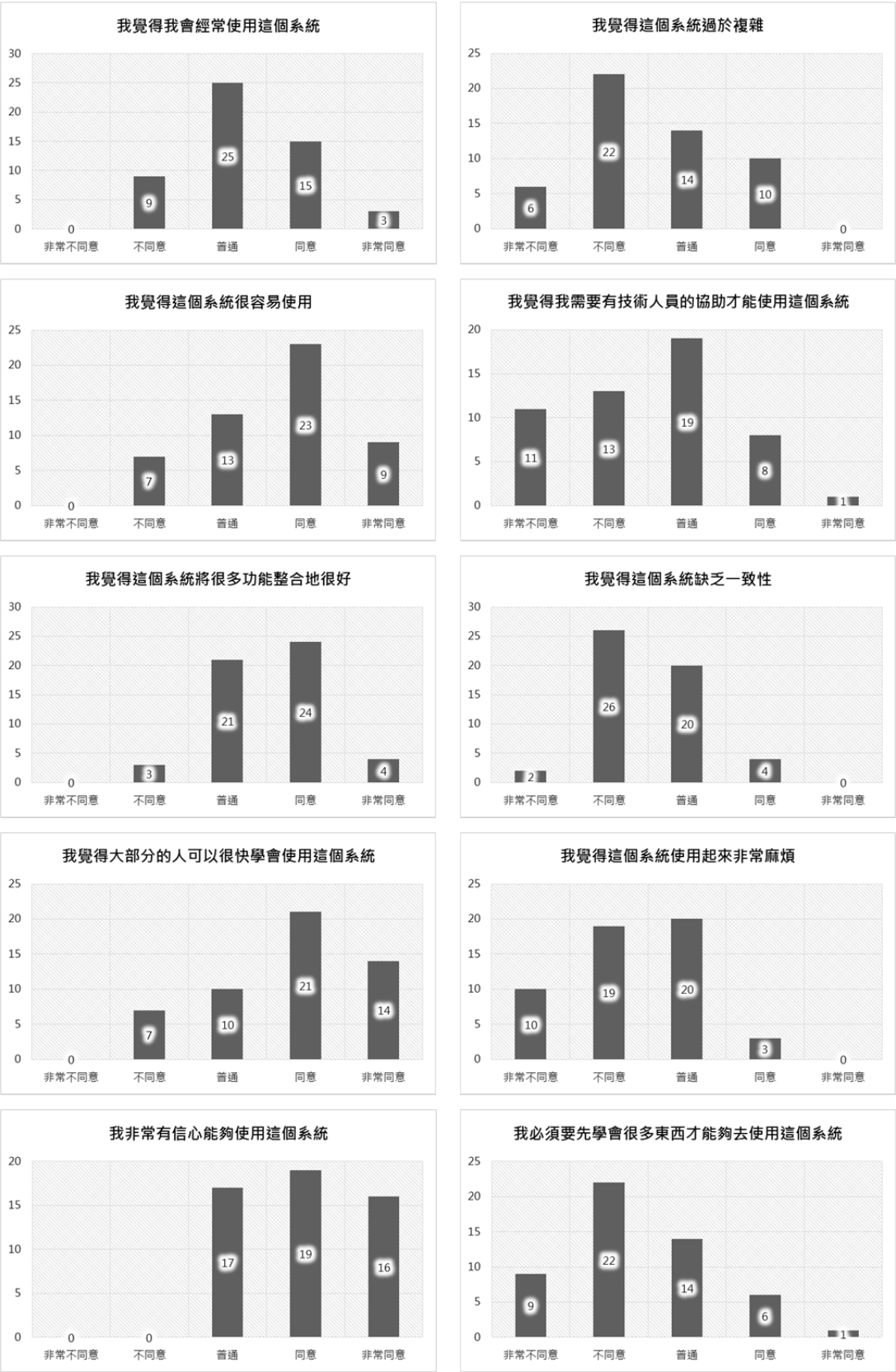


圖 22 系統使用性量表長條圖

■ 意見回饋

將使用者的意見回饋進行分類，如附圖 23，主要針對地圖功能的新增與修正為大方向，細節的操作問題和其他議題可採用 Q & A 的方式處理。

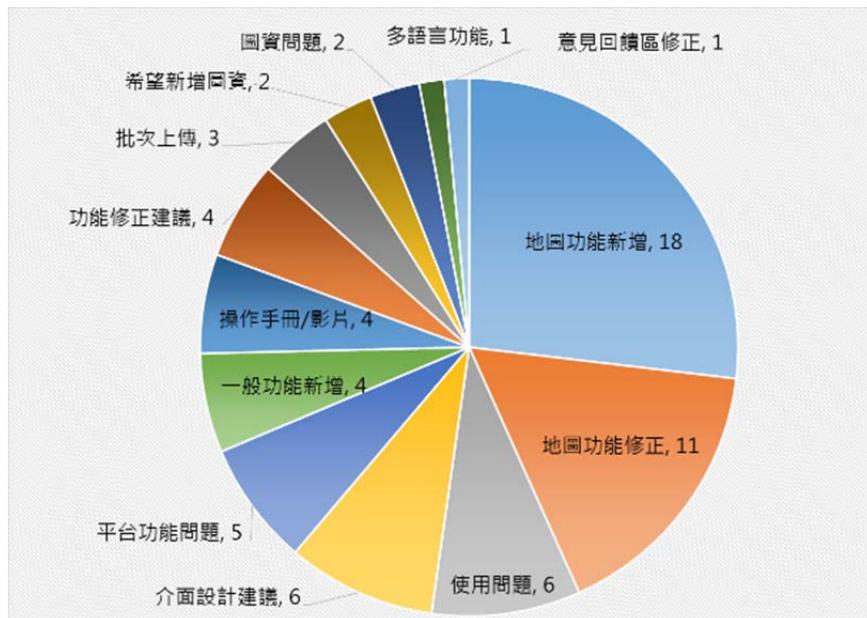


圖 23 地圖整合平台使用者意見回饋分類圓餅圖

在使用者的感想部分，主要歸類有：

1. 地圖功能新增
2. 地圖功能修正：
3. 介面設計建議：
4. 平台功能問題回報：
5. 一般功能新增：
6. 操作手冊及影片建議：
7. 現有功能修正建議：
8. 批次上傳多檔案。
9. 希望新增圖資
10. 圖資問題詢問
11. 多語言功能：使用者希望網站介面可以朝多語言版本邁進。
12. 意見回饋區修正

使用者回饋時，即便在相同的議題下，使用者的感想紛沓不一，圖資整合面上，有使用者認為多元圖資的整合便於使用，但也有使用者反映圖資類型太多用不到；在地圖功能部分，非專業的使用者當中有覺得平台功能方便，亦有覺得功能難以上手；介面感受上，有使用者覺得介面簡潔乾淨，亦有覺得缺乏設計感，從以上觀感可以看出，不同的使用者感受不一，因此本研究認為平台的設計可能需要走向使用者分群的步調。

在實用性質上，本研究預設的應用層面藍圖在地理老師中得到相同的看法，即便在未公開此平台可能的應用層面上，亦有老師提及此平台在教學上可用性，其他領域的應用則有待其他領域的使用者試用與回報。

七、結 論

本研究以 Drupal 內容管理系統整合多元圖資，建立一套使用者友善的網際網路地圖平台，使一般無架站經驗的使用者可透過選擇的方式，使用多元圖資快速建立發布地圖內容的主題網站，以下檢視本研究所提目標：

1. 多元圖資整合：一般使用者無從掌握四處分散的地圖資源，僅使用一、兩項慣用地圖服務，因此本研究透過 Drupal 的 OpenLayers 模組介接內政部國土測繪中心所轄專業級圖資，同時搭配內部已含的消費級圖資，增加圖資的豐富程度，使用者在同一網站即可依自身需求、區域特性、主題目標，自由選擇最適合的圖資。
2. 使用者友善的圖資使用平台：整合多元圖資平台勢必會比單一圖資平台更加複雜，因此必須提供友善的使用方式，一般使用者才願意了解並接觸更多的網路地圖，本研究藉由 Drupal 架設一套整合多元地圖圖資的網誌服務平台，使用者不需要具備程式設計或網頁設計的先備知識，直接套用以往使用網誌的經驗，就可以透過新增文章的方式使用多元圖資。使用者也不需要指定各項圖資來源位址，系統提供選單讓使用者選擇，選擇後可立即顯示。現行網誌服務平台所提供的地圖，多半僅提供點位標註功能，本研究則提供更多元的資料格式上傳服務，例如：行動裝置紀錄之 GPS 航跡可直接展繪在所選擇的多元圖資中。
3. 平台易用性：本研究目標為，無論使用者是否具備地圖知識，也不論其空間資訊技術程度，皆能毫無障礙地無差別使用此地圖整合平台。根據實際任務操作後的問卷統計結果，本研究所設計的平台符合原先設定目標，在控制各項網路服務的使用經驗變數下，單獨針對網路地圖技術能力背景進行分析，網路地圖技術能力對於任務完成總時數的影響無顯著差異，即使不具備完整地理技術亦可操作此平台。
4. 分眾瀏覽的需求：本研究預先設計之平台目的為一整合多元網路地圖服務的通用性使用平台，故無預先設定使用者角色，因此未針對特定對象進行需求分析，希望使用者可以依自己需求來決定使用之圖資與地理資料；然而，後續針對使用者的意見回饋進行分析，發現部分使用者在主觀使用性量表與滿意度分析中顯示為不滿意，主要是針對地圖功能的修正和新增。惟使用者回饋的意見彼此間即有所差異，部分使用者認為功能不足，需要提供更多新的功能以利使用；但另一部分的使用者則取向功能及圖資太多元，致使不知如何使用此平台。因此可以得知，在同樣議題下，不同使用者亦會有不同意見，平台的設計可能必須轉向分眾瀏覽，然而分種瀏覽的方式亦需再研究，提供使用者角色不同程度的功能。
5. 平台應用層面：除了一般生活的使用性，本研究期許能夠有更多應用層面的發展。有使用者指出，平台的地圖功能足以應用在地理資訊的教學上，可用以教

導「數化、標示點位」等概念；另有使用者與訪談中提及可用於實察後地理資料的彙整；也有使用者指出若有多人編輯的功能，則可用以研究報告的共同彙編。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2012，國土測繪圖資網路地圖服務系統——系統簡介，
<http://maps.nlsc.gov.tw/>，最近檢索時間 2016 年，11 月。
- 內政部國土測繪中心，2013。基本圖測製說明，
<http://bmap.nlsc.gov.tw/index.php/2015-09-16-08-17-43/file/3-bmap-survey-standard?tmpl=component>，最近檢索時間 2016 年 11 月。
- 王豫煌、林惠真、郭奇正、林幸助，2010，以開放原始碼軟體建置國家重要濕地資料庫入口網站，國家公園學報，20(4): 64-70。
- 李昕迪、劉俊宏、鄧東波，2012，自願性地理資訊之生產與管理——以開放街圖為例，2012 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會，臺中。
- 林佳樺，2011，應用 OpenLayers API 開發 WebGIS，中央研究院計算中心通訊電子報，19，http://newsletter.ascc.sinica.edu.tw/news/read_news.php?nid=2230，最近檢索時間 2016 年，11 月。
- 范毅軍、張智傑，2010，空間資訊技術於地方社會比較研究之應用——以文化資源地理資訊系統為例，2010 年第八屆兩岸三院資訊技術交流與數位資源共享研討會。
- 柯皓仁，2012，地理資訊系統與社群教育活動之虛實整合——以少年「安途生」行動學校計畫為例，2012 年數位典藏地理資訊研討會。
- 陳世儀、林文亮、鍾文彥、林志清，2012，發布圖磚以應用 OpenLayers 建立網路地圖，2012 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會，臺中。
- 曾志煌、許書耕、胡智超、張添基、李煌樟、尤重智，2011，公路養護資訊整合應用之研究，ISBN 9789860279740，208 頁，交通部運輸研究所。
- 廖玄銘，2010，文化資源地理資訊系統之服務介接應用成果，中央研究院人文社會科學研究中心。
- Angela, B., A. Berry, and B.D. Bondt, 2012, Using Drupal-Choosing and Configuring Modules to Build Dynamic Websites: Covers Drupal 7.
- Athan, T., 2007, Introduction to Web-based GIS: Feasibility Study of Web-based GIS Services, Retrieved from:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.459.8755&rep=rep1&type=pdf> (Last Checked 2016/11/18)
- Haroula P., E. Gadolou, E. Stefanakis, G. Kritikos, Y. Cao, A. Hannemann, D. Kovachev, R. Klamma, G. Pagomenos, 2010, The role of CMS in the education of GIS using storytelling, Seventh European GIS Education Seminar.

Tobias S., 2010, Evaluation of html5 for its use in the web mapping client openlayers. *Bachelor Theses. Fachhochschule Kaiserslautern, University of Applied Sciences.*

Usability.gov, Usability Evaluation Basics, Retrieved from:

<http://www.usability.gov/what-and-why/usability-evaluation.html> (Last Checked 2016/11/17).

W3Schools, HTML5 Canvas, Retrieved from:

http://www.w3schools.com/html/html5_canvas.asp (Last Checked 2016/11/18).

利用自製紅色地圖輔助地形判釋：以太魯閣地區為例

蕭宇伸^{1*} 郭耀駿²

論文收件日期：105.04.17

論文修改日期：105.07.07

論文接受日期：105.07.18

摘 要

本文利用自行發展之紅色地圖技術輔助判釋台灣太魯閣地區之地形特徵。本研究紅色地圖成果乃結合地形開闊度與地形坡度而得到。用於產製紅色地圖之軟體為 Generic Mapping Tools(GMT)，而用於計算地形開闊度與坡度之數值高程模型為 40 公尺空間解析度。本研究主要目的為發展新的視覺化方法來表達地形特徵，以提供相關使用者細微且重要地形資訊，並希望後續能對災害預防、水土保持、環境監測與資源探勘做出貢獻。研究中依據不同地形開闊度計算之罩窗半徑值(200m~1600m)，分為 8 個研究測試例。結果顯示，罩窗半徑 1000m 與 1200m 為最佳選擇。研究中發現，自製之紅色地圖與傳統等高線圖或分層設色圖相比，更能夠清楚凸顯出山脊線、山谷線與集水分區等地形特徵。

關鍵詞：地形開闊度、紅色地圖、地形坡度

¹助理教授，國立中興大學水土保持學系

²碩士生，國立中興大學水土保持學系

*通訊作者，TEL:(04)22840381#101，E-mail: yshsiao@nchu.edu.tw。

Interpretation of Terrain Features by Self-Developed Red Relief Image Map: A Case Study in Taroko Area

Yu-Shen Hsiao¹, Yao-Chun Kuo²

Abstract

We develop the red relief image maps (RRIMs) to help interpretations of terrain features in Taroko area, Taiwan. The RRIM is produced based on the combination of the terrain openness and the terrain slope. The software for generating RRIM is Generic Mapping Tools (GMT). A digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 40m is used for both terrain openness and terrain slope computations. The purpose of this research is to develop a new visualization method of topographic maps in order to provide users subtle and important terrain information, and further bring contributions to the regions of disaster prevention, soil and water conservation, environmental monitoring, and resource exploration. In this study, 8 test cases for deriving self-developed RRIMs are designed according to the use of the different search radii for terrain openness computations. The result shows that the cases with search radii of 1000m and 1200m are best recommended. In addition, the ridgelines, valley lines and terrain-based subcatchments are more clearly revealed by the self-developed RRIMs than by the traditional contour plots and color mapping.

Keyword : RRIM, Terrain Openness, Terrain slope

¹Assistant Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

²Master, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

*Corresponding Author, TEL:+886-4-22840381#101, E-mail: yshsiao@nchu.edu.tw.

一、前言

地形測繪的技術日新月異，數值地形模型的精度也隨之提升。早期製作數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)及數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)模型，均採用航空攝影測量技術，以內政部全台 5m 空間解析度 DEM 與 DSM (網址：<http://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/ApplyContent.aspx>)為例，即利用航空攝影測量技術產製而成，並為台灣提供了高精度與高解析度之地形模型。除此之外，近年來空載光達技術也已經非常成熟，全台灣利用光達產製之 1m 空間解析度之 DSM 與 DEM 也已建置完成 (網址：<http://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/ApplyContent.aspx>)。空載光達所獲取的高程精度甚高，可達公寸等級(Hodgson and Bresnahan, 2004)。上述兩種測量方式所產製之 DSM 與 DEM 均能提供國內水土保持、土砂災害、國土規劃、防救災、環境監控與資源探勘等良好的參考依據。傳統上，表達 DSM 與 DEM 大多還是採用等高線，分層設色或陰影等圖資來表示(張玲等，2014)，這些高程表現方法有其特殊目的與優點，例如等高線圖能以簡單的線條與較小的空間儲存量展現地形起伏變化；分層設色圖能清楚呈現地形之實際高程與變化；陰影圖能使圖面增加立體感，並輔助判釋坡度變化。然而上述高程之表現方法亦有其限制，例如均未能清楚呈現地形開闊度，這將可能造成地圖使用者遺漏 DSM 與 DEM 上重要地形資訊，並對地形判釋與災害預防上造成損失，如此也將枉費這些高解析度與高精度之高程模型成果。

紅色地圖為一種較新的地形渲染技術，此技術利用地形開闊度與地形坡度之間的關係，搭配紅色色階與黑色色階來表現出地形開闊度與地形坡度(Chiba et al., 2008)。由於紅色地圖考慮了地形開闊度之因素，相較於等高線圖、陰影圖或分層設色圖，紅色地圖能提供更佳的立體感與更細緻之地形資訊。紅色地圖的發展可追溯至彩繪明暗圖(李錫堤，1996)，此圖利用日照方向與觀測角度，並搭配彩度色階，來呈現 DEM 之高度變化。後來(Yokoyama et al., 2002)提出地表開闊度的概念，分別對於地形的凹陷與凸起計算地上開闊度 a 與地下開闊度 b ，其中 a 凸顯山谷地形而 b 凸顯山脊地形，將兩者合併計算可進而得到尾根谷度值 c 。其中 $c=(a-b)/2$ 。利用尾根谷度值產製的圖即為尾根谷度圖。由於尾根谷度圖考慮到地形開闊度，故在山脊、丘陵、窪地與山谷等地形判釋上有不錯的成果。(Chiba et al., 2008)進一步將尾根谷度圖與地形坡度之關係，配合紅黑色階直接表現出紅色地圖，此技術已廣泛應用於地形學、地理學與地質學等領域，並對地形判釋有不錯的結果。(Wang et al., 2015)對於黃土高原研究地形開度和差值圖像閾值分割，更進一步提及關於紅色地圖相關研究還包括(Lin et al., 2013)、(陳奕中等，2014)、與(李璟芳等，2015)。一張適宜的紅色地圖，可表達出豐富且詳細的地表資訊，並提供有關單位防救災、水土保持、環境監控與資源探勘與土砂災害潛勢之相關設計規劃與風險評估。故本研究以 GMT 軟體(Wessel et al., 2013)為發展基礎，自行發展製作紅色地圖之相關技術。並以太魯閣地區為本文研究區域，分析紅色地圖在表現地形起伏與地貌判釋上，與傳統等高

線圖、分層設色圖與陰影圖相比之優缺點。本研究為台灣首次自行發展繪製紅色地圖技術，可說別具意義，希望能提供有關政府學術單位做參考。

二、紅色地圖原理

傳統地形陰影圖原理是以模擬不同光線的入射角以建立陰影，此方法雖然能夠輔助地圖立體化，但也容易因入射光線角度而造成地形判讀錯誤。紅色地圖呈現之概念類似醫學手術燈，光線從全方向照射地形，山脊或山峰部分因地形較開闊，故能接受的光照較多，顯得越亮；反之，山谷和窪地由於地形開闊度差，故顯得較暗(圖 1)。進一步分析，如圖 2 地形示意圖所示，點 A 與 A' 之高程與坡度值均相同，但地形開闊度不同，則點 A 與 A' 地形在等高線、分層設色或陰影圖表達上將無差異。另一方面，對於紅色地圖來說，由於點 A 與 A' 地形開闊度不同，兩者於圖上將呈現不同的彩度(詳細比較說明見第四章)，也較能夠表達出 DEM 之細微地形，這對於地圖使用者來說，更有機會從地圖上判讀出山脊線、山谷線、地質斷層帶、順向坡、岩層崩滑及土石流潛勢區域等區域。

本研究之紅色地圖即分別計算出研究區域 DEM 之地形開闊度與地形坡度，再利用二者之關係去對應紅色色階與黑色色階來表達立體地形，若以此方式繪製地形圖，陡峭地形將呈現較深彩度，平緩地形將以較淡的彩度表現，色階主要顏色選擇紅色是因為此顏色對人眼有較佳的辨識度，相較於其他顏色，更能增進地形解讀與地貌判釋。

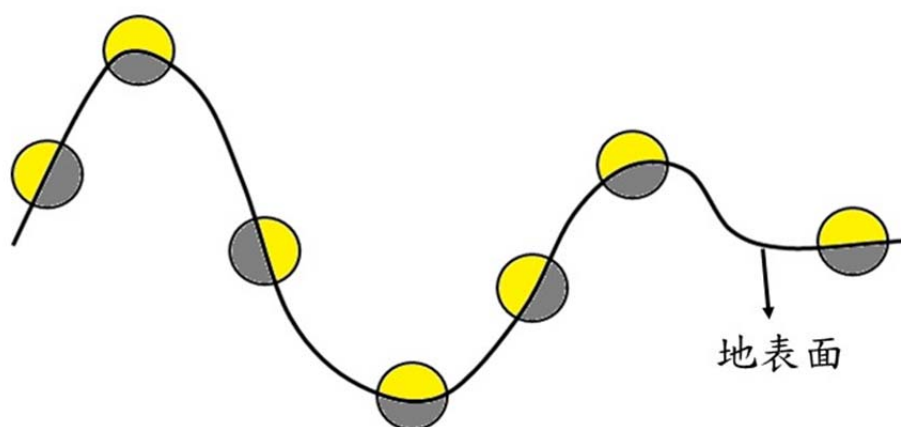


圖 1 對於光源接收量之開闊度示意圖，其中黃色面積代表所在地形光源接收量，圖中地形在山頂(山脊)處由於地形開闊度較佳，故光源接收量較多，在山谷處則光源接收量較小。此圖改編自亞洲航測株式會社開闊度示意圖 (<http://www.ajiko.co.jp/>)。

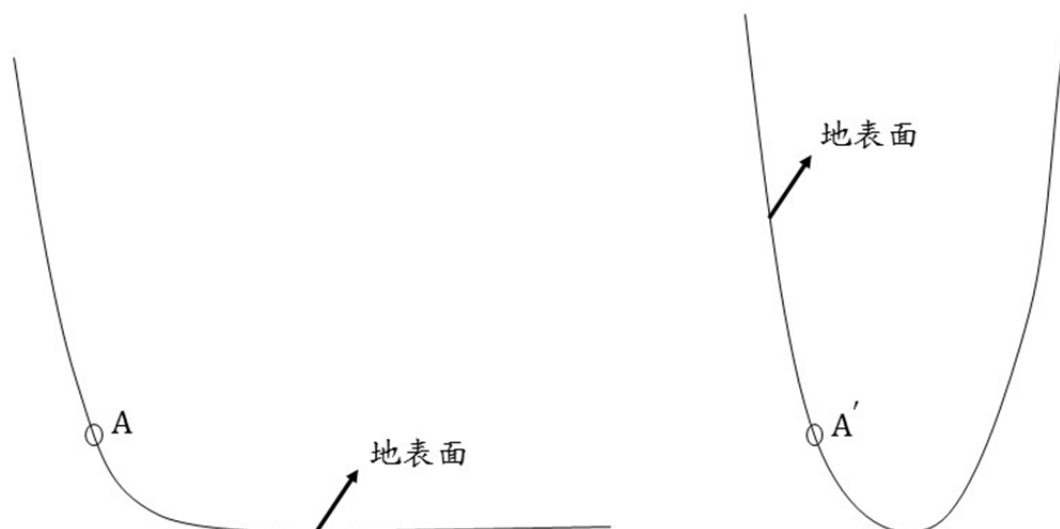


圖 2 地形示意圖，其中點 A 與點 A' 之高程值與坡度值均相同，但地形開闊度不同。

三、研究方法

本研究發展紅色地圖所使用的主要軟體為 GMT 軟體。先撰寫程式來計算 DEM 地形開闊度，並利用 GMT 計算地形坡度、製作紅色地圖調色盤與繪製紅色地圖。GMT 為一免費繪圖軟體，雖然其為免費，但繪圖功能強大，已廣為地球科學界採用。

在地形開闊度方面，有別於過去研究所採取的計算尾根谷度值(Yokoyama et al, 2002; Chiba et al., 2008)，本研究所定義之地形開闊度乃計算待算網格點與周邊網格點之水平距離與高程差所形成的縱角平均值。以圖 3(a)為例，待算網格點 A 位於山谷中，點 A 與周邊較高處某一網格點 B 所形成的縱角為 ϕ (仰角)，但若點 A 位於山頂處(如圖 3(b))，則點 A 與點 B 所構成之縱角為 $-\phi$ (俯角)。本研究計算以點 A 為中心，罩窗半徑 r 範圍內所有網格點與點 A 所構成的縱角值總和(如圖 3(c))，再取其平均值作為本研究之地形開闊度值(範圍介於 -90° 到 90° 之間)；在坡度計算方面，本研究以 GMT 軟體的 `gdgradient` 程式計算得每個網格點之坡度值，`gdgradient` 為 GMT 內建之計算規則網格微分之程式，若輸入檔為一 DEM，則輸出檔即為該 DEM 每個網格之斜率值，再將斜率值轉換為坡度(單位：度)，即為本研究所定義之地形坡度值 θ (圖 3(d))， θ 範圍介於 0° 到 90° 之間。

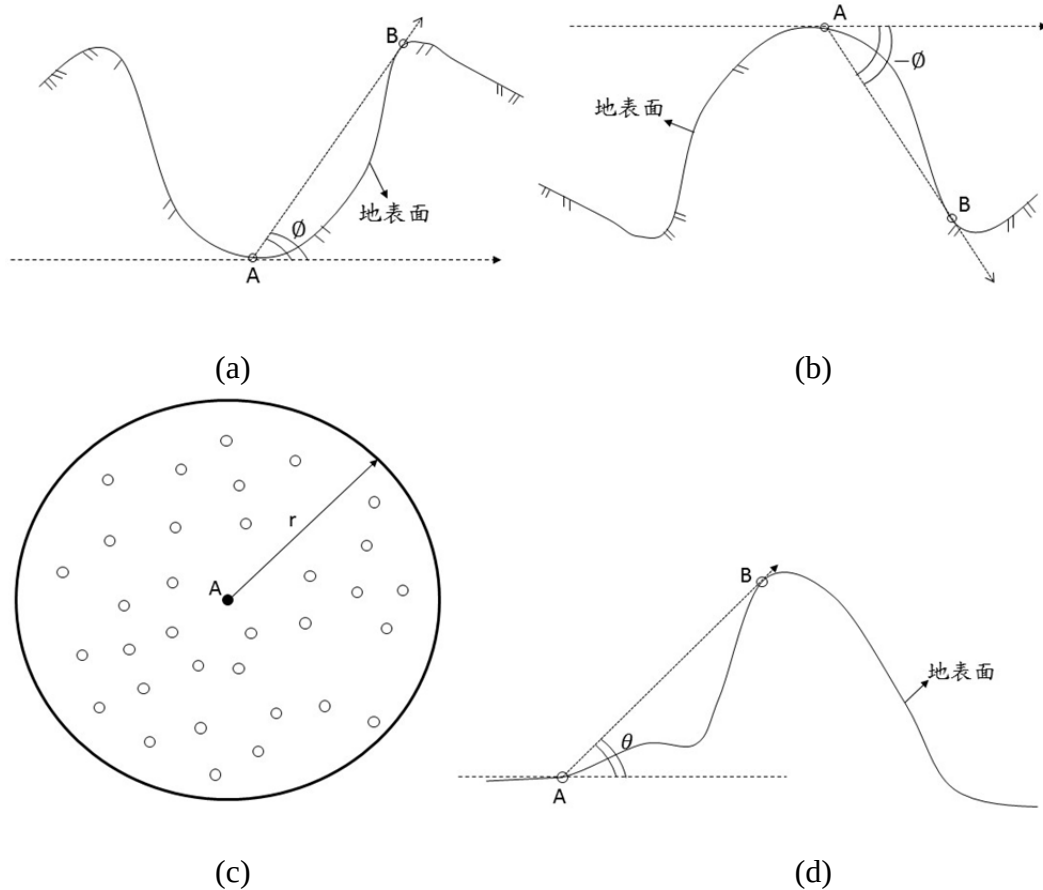


圖 3(a)正地形開闊度示意圖。(b)負地形開闊度示意圖。(c)地形開闊度計算罩窗半徑示意圖。(d)地形坡度示意圖。

圖 4 為本研究之紅色地圖調色盤，其中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度(單位:度)，顏色配置參考(Chiba et al., 2008)之研究，即地形開闊度 -90° 到 90° 的顏色配置為白色(灰階值 255)漸層至黑色(灰階值 0)，這代表地形開闊度越佳之網格點，應具有較多之光照，故顏色偏白色，反之地形開闊度越差之網格點，由於光接收量少，故顏色應模擬為偏黑色；另一方面，地形坡度 0° 到 90° 的顏色配置從白色漸層至紅色(RGB 配色: 255,0,0)，這代表地形坡度越陡之網格，其色彩越偏紅色，而較平緩之地形則偏白色。

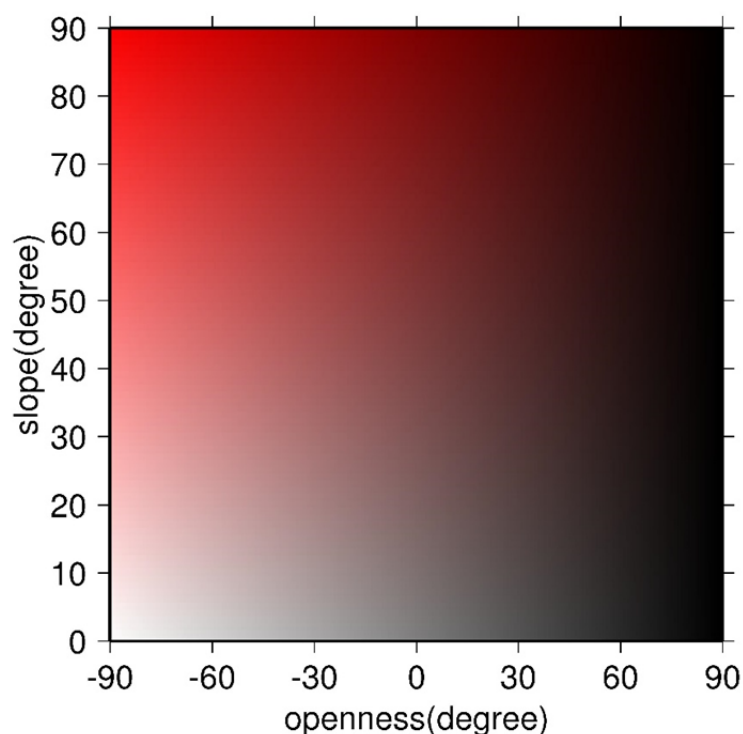


圖 4 本研究紅色地圖調色盤，其中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度(單位:度)。

利用上述地形開闊度與地形坡度計算方式，即可得到研究區域每個網格點之地形開闊度與地形坡度值，再以圖 4 之紅色地圖調色盤作為配色標準，即可將各點地形開闊度與地形坡度值對應至調色盤所指定的顏色，進一步產製出紅色地圖。此外，本研究依照地形開闊度計算罩窗半徑(圖 3(d))之不同，共分為 8 個測試例，其分類如表 1 所示，各測試例所計算得到之紅色地圖成果將於第四章分析比較。

表 1 測試例 1-測試例 8 之地形開闊度搜尋罩窗半徑

	地形開闊度搜尋罩窗半徑(m)
測試例 1	200
測試例 2	400
測試例 3	600
測試例 4	800
測試例 5	1000
測試例 6	1200
測試例 7	1400
測試例 8	1600

四、研究成果

本文研究區域初步選定台灣太魯閣及其周邊區域(圖 5)，研究範圍為經度 $121.35^{\circ}\text{E} \sim 121.60^{\circ}\text{E}$ 與緯度 $24.10^{\circ}\text{N} \sim 24.25^{\circ}\text{N}$ 之間約 $25\text{km} \times 17\text{km}$ 之區域，選擇此區域的原因為太魯閣地形相當崎嶇，不論高程與坡度變化均相當劇烈，故更能比較出傳統地圖與紅色地圖呈現上的差異。此外，本研究使用之 DEM 為內政部 40m 規則網格(網址：<http://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/ApplyContent.aspx>)。圖 6 為研究區域採用傳統方法繪製 DEM 之成果，包括圖 6(a)等高線圖、圖 6(b)分層設色圖、圖 6(c)分層設色陰影圖與圖 6(d)分層設色陰影鳥瞰圖。這些圖均能清楚表現出研究區域高程變化資訊，研究區域最低位於東邊立霧溪河谷地區，高程低於 500m，而西邊中央山脈最高可達 3000m。除此之外，經由圖 6(a)圖中等高線圖的疏密，與(b)~(d)等圖陰影與高程的分布，亦可輕易判斷出研究區域坡度的緩傾程度。然而由於這些傳統圖資之繪製缺乏了地形開闊度的概念，故在判釋特殊地形上，例如山脊線、山谷線或集水分區等，將不容易搜尋。

圖 7 與圖 8 分別為本文計算得之研究區域地形坡度與地形開闊度值。由圖 7 可發現除了少部分山脊線與山谷線外，研究區域大部分坡度非常陡峭。在地形開闊度計算方面，依據不同罩窗半徑值，共有圖 8(a)~(h)等 8 個測試例的計算結果。由圖中明顯看出山脊線的地形開闊度極佳，故色彩呈現偏亮白色，反之山谷線由於地形開闊度差，故圖中呈現偏暗黑色。除此之外，不同的罩窗半徑選擇也決定了地形開闊度表現的清晰度，以圖 8(a)~(c)(測試例 1-3)為例，由於罩窗半徑較短，導致圖中呈現之地形開闊度的雜訊較多，若使用較長的罩窗半徑(測試例 5-8)則計算得到之地形開闊度雜訊較小且呈現較佳。另外由圖 8 可發現測試例 5-8 之計算結果彼此之間差異已不大，這代表罩窗半徑選擇 1000m 為最佳選擇。罩窗半徑小於 1000m 將造成圖中雜訊值增加，若罩窗半徑大於 1000m 將增加不必要之程式計算時間。此外，無論是圖 7 或圖 8 均可發現，地形坡度與地形開闊度成果與傳統地形圖(圖 6)有一定程度上的吻合，這可證明本研究開發之程式初步正確無誤。

若將上述地形坡度(圖 7)與地形開闊度(圖 8)產製成果相結合，並以圖 4 之調色盤配色，即可得到本研究最終之紅色地圖成果(圖 9)。圖 9 即代表在不同地形開闊度罩窗半徑選取下，同時呈現地形坡度與地形開闊度之地形圖。由圖中亦可明顯看出，若罩窗半徑的選擇距離過短(測試例 1~4)，彼此紅色地圖呈現有顯著的差異，以測試例 1(圖 9(a))之結果為例，若地形開闊度罩窗半徑為 200m 時，所製成紅色地圖對於地形的判釋結果最差，地形起伏的立體感無法由肉眼直接觀測出，這對於山脊線、山谷線或其他地形之判釋將產生嚴重誤差。當罩窗半徑漸漸增加至 800m 以上(測試例 4)之計算結果，可以明顯看出與罩窗半徑 200m(測試例 1)之結果的差異，測試例 4 整體地形呈現較立體，其山脊線、山谷線甚至集水分區也可於圖中明顯觀察出。整體而言，在地形表現與程式計算時間取捨下，當罩窗半徑選擇 1000m 至 1200m 時(測試例 5 與 6)，具有本研究區域最佳之紅色地圖結果，當罩窗半徑超過

1200m 時(測試例 7 與 8)，所製成之紅色地圖與測試例 5 與 6 相比，並無太大差異。

若進一步比較分層設色圖(圖 6(b)~(d))與本文紅色地圖(圖 9)繪製結果，可發現由於傳統地形分層設色圖是利用 DEM 高程值去對應彩色值所製成，所能獲取的地理資訊只有 DEM 的高程值(圖 6(b))，並無法在分層設色圖上獲取高程以外的地理資訊，若輔以陰影圖套疊(圖 6(c))或以鳥瞰圖形式表達(圖 6(d))，確實能夠輔助判釋坡度大小。然而若以圖 2 地形開闊度示意圖為例(點 A 與點 A' 之高程與坡度值均相同，但地形開闊度不同)。點 A 與點 A' 不論在圖 6(b)、6(c)與 6(d)所呈現之色彩將完全一致，這對地形判釋將產生誤差，例如山脊線、山谷線與集水分區並不容易由圖 6(b)~(d)中觀察出。而本研究之紅色地圖(圖 9)，由於同時考慮地形坡度與地形開闊度，故點 A 與點 A' 在紅色地圖是呈現不同的顏色，這是紅色地圖獨有的優點，此優點能幫助地圖使用者更容易以肉眼觀察地形的樣貌以進行地形判釋。

然而本研究自製之紅色地圖現階段亦有缺點，即無法直接從圖上觀察出每個網格點的實際高程值，或兩網格點的實際高程差，故若要獲取此高程資訊，必須輔以分層設色圖或等高線圖來配合判釋解讀。未來本研究將持續修正相關程式軟體，期望能在考慮地形開闊度與地形坡度之餘，亦能同時將 DEM 之高程資訊呈現於紅色地圖中。

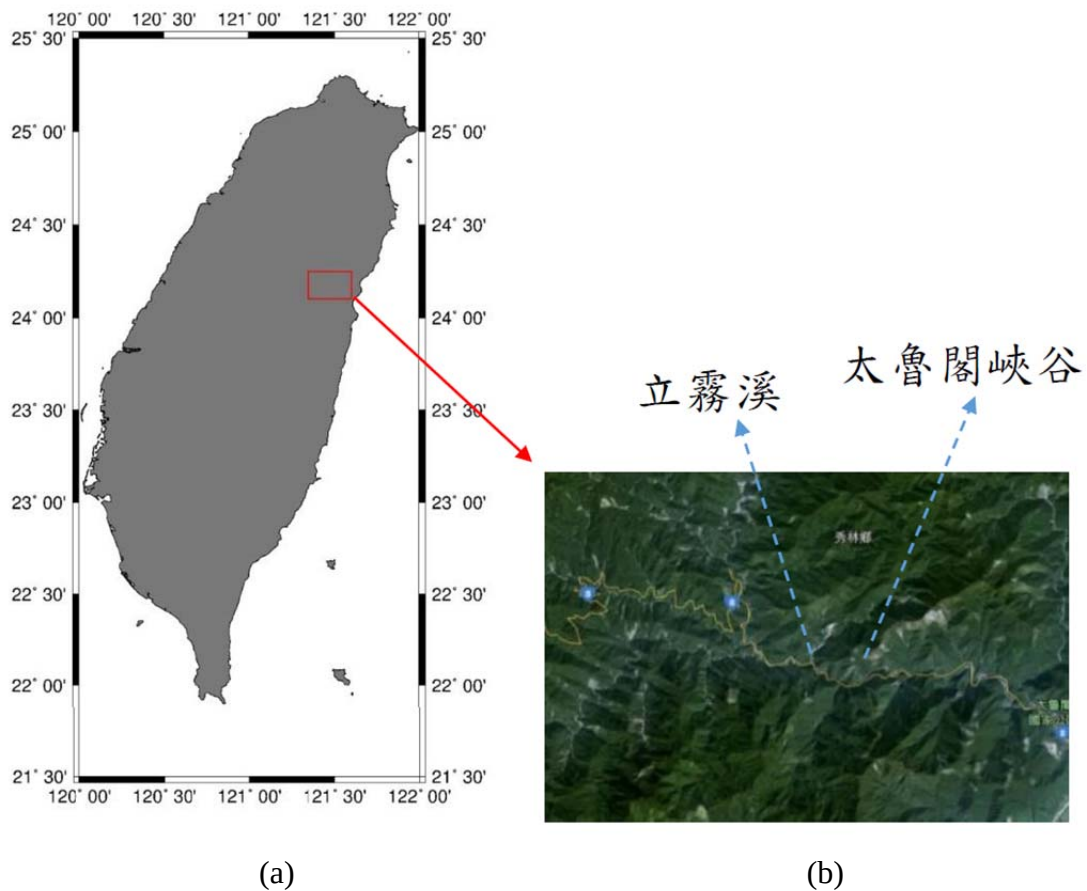


圖 5 (a)研究區域(紅色框，即太魯閣周圍區域)，(b)研究區域衛星影像圖(資料來源:Google map)

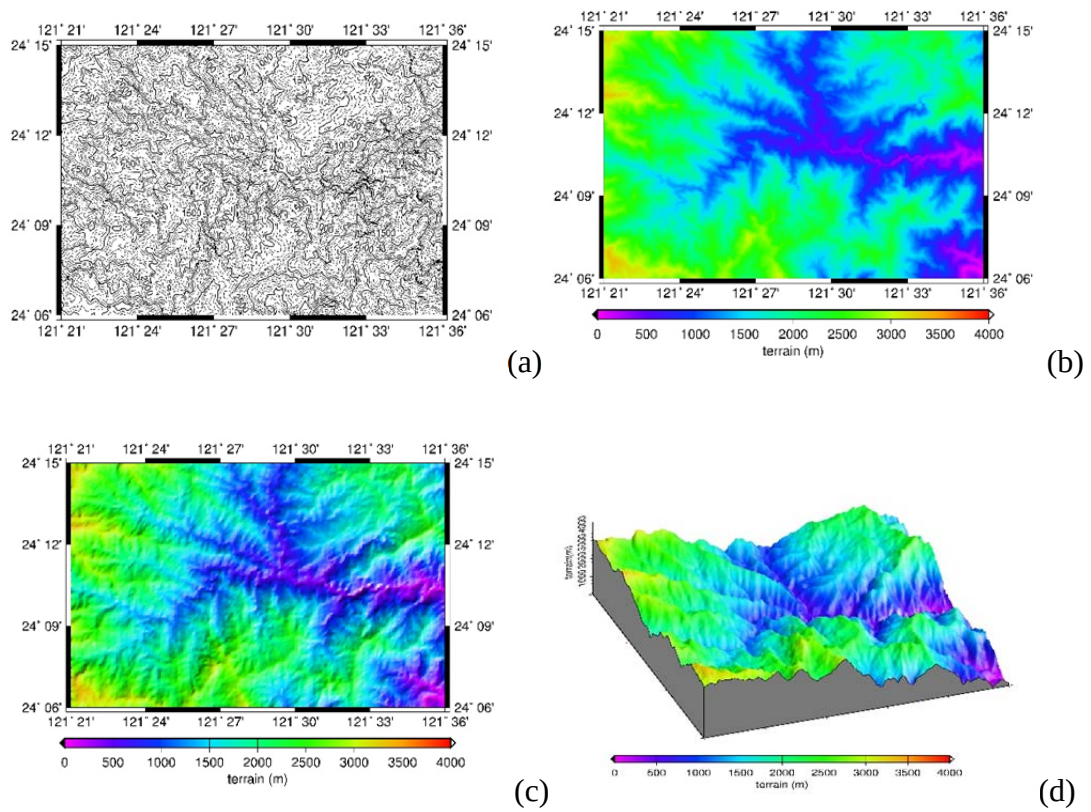


圖 6 研究區域之(a)等高線圖、(b)分層設色圖、(c)分層設色陰影圖與(d)分層設色陰影鳥瞰圖。

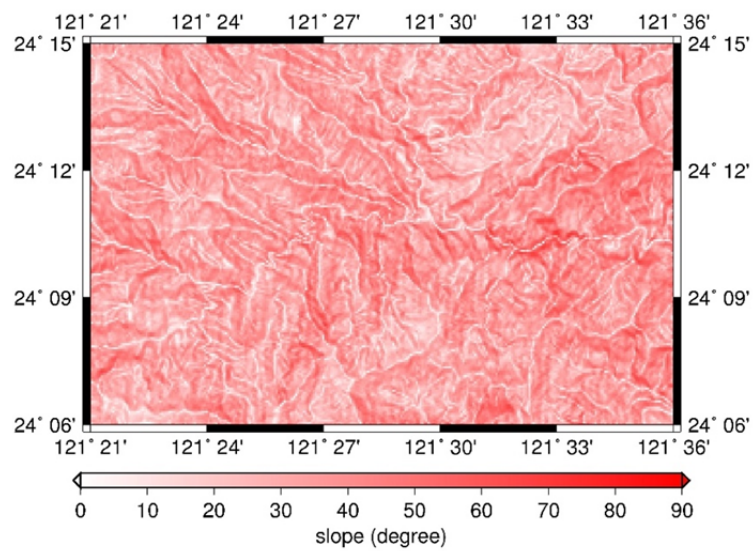


圖 7 地形坡度計算結果。

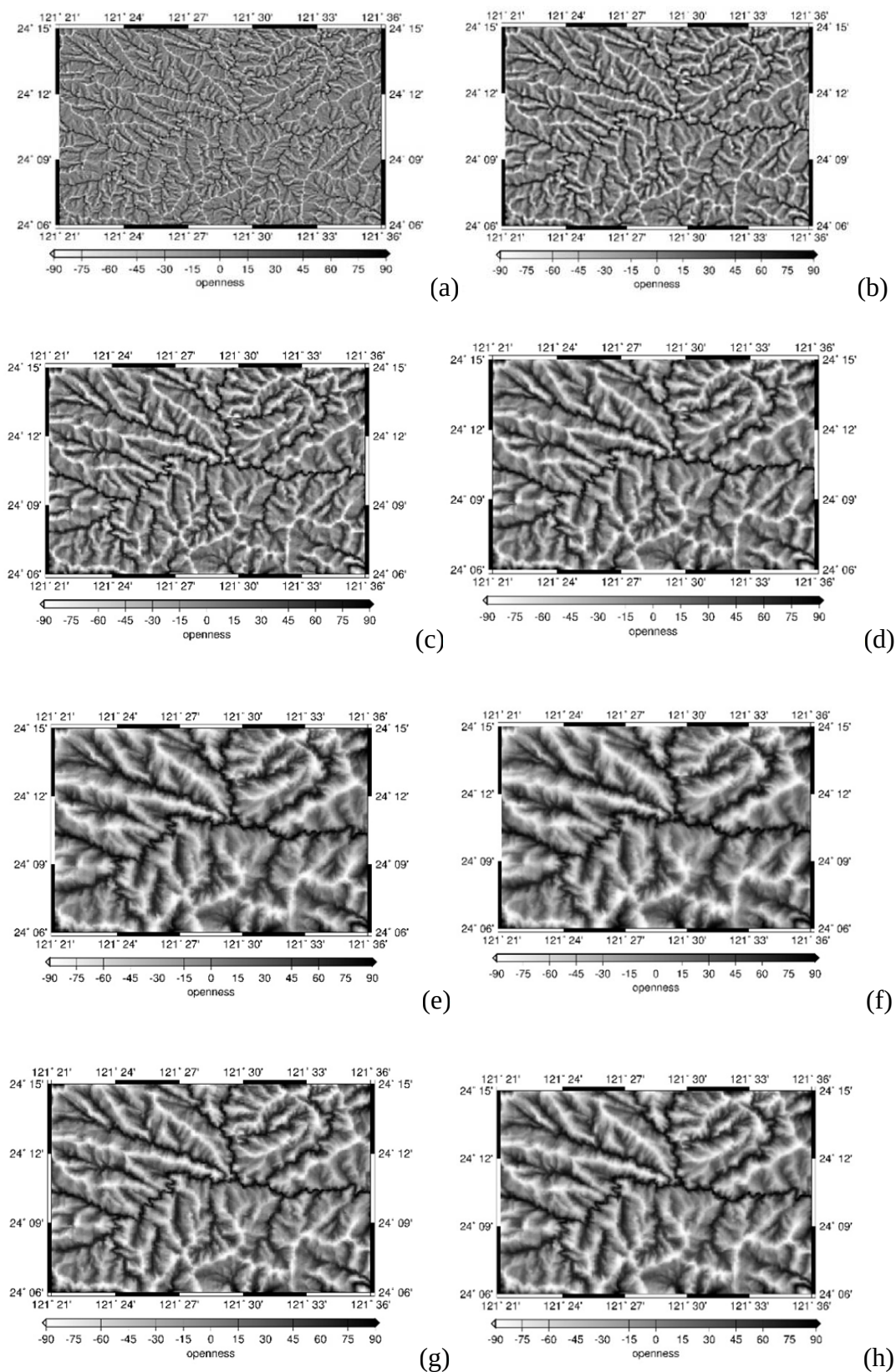


圖 8 研究區域地形開闊度計算結果，其中圖(a)~(h)分別為測試例 1~測試例 8 結果。

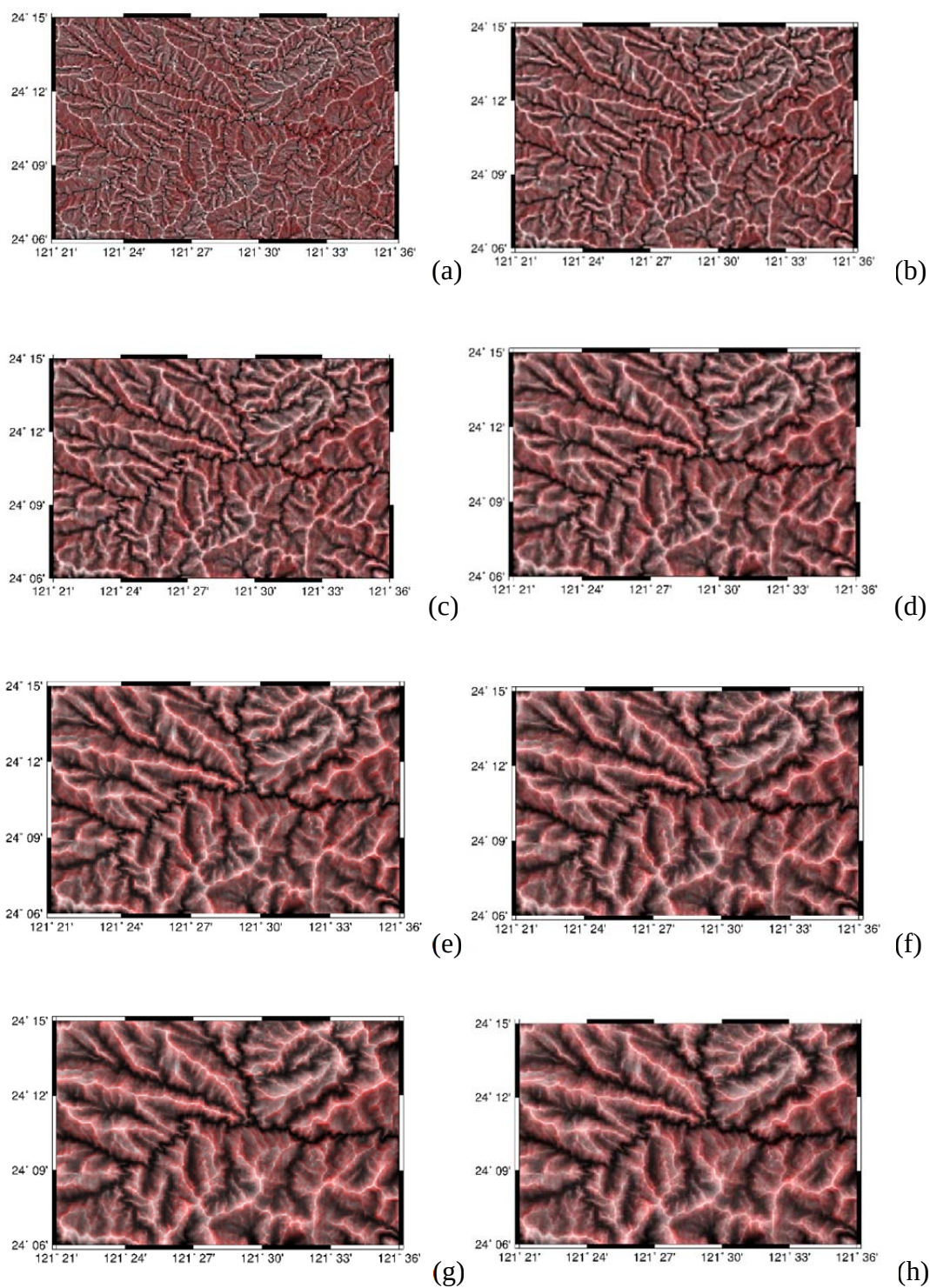


圖 9 研究區域紅色地圖結果，其中圖(a)~ (h)分別為測試例 1~測試例 8 結果。

五、結論與建議

本研究利用 GMT 軟體為基礎開發產製紅色地圖之相關技術。研究區域選定太魯閣及其周邊約 25km x 17km 之範圍，分析此區域 DEM 之紅色地圖呈現結果。這是國內首次以自行發展紅色地圖技術為主之研究，故極具有學術價值。過程中需計算研究區域的地形坡度與地形開闊度，並將產製之紅色地圖與傳統地圖(等高線圖、分層設色圖、分層設色陰影圖與分層設色陰影鳥瞰圖)作比較分析。研究顯示紅色地圖在表現山脊線、山谷線和集水分區判釋上有非常明顯的優勢，也更能夠清楚的解讀地形起伏樣貌，這對於往後分析土砂災害(山崩與土石流等)風險評估助益極大。

此外，本研究目前還在持續測試各種不同的紅色地圖調色盤，找出地形開闊度與地形坡度之最佳組合，希望未來能針對不同地形均能製作精確之紅色地圖，以期對地形判釋及山坡地土砂災害潛勢之預估做出貢獻，並提供政府有關單位管理山坡地資源之參考。未來本研究將持續進行以下工作：

- (1) 建立各種地形與最適宜之地形開闊度單窗半徑計算值的關係，提供給後續使用者參考。
- (2) 在現有的基礎上，繼續精進產製高精度紅色地圖之技術(例如針對原始 DEM 平滑處理、設計不同調色盤、採用不同方法計算坡度與開闊度等)，進一步對台灣空間資訊、地理、地球科學與水土保持等領域做出貢獻。
- (3) 紅色地圖除了應用於傳統坡地災害分析之外，後續將探索應用在海底地形圖、重力異常圖、大地起伏圖、甚至溫度圖與雨量圖等可能性，期望藉由紅色地圖，發掘更多傳統圖資無法呈現的資訊。

誌 謝

本文為 105 年度行政院農委會水土保持局補助之創新研究計畫「以自行研發之紅色地圖技術輔助預判土砂災害之潛勢地區」(計畫編號：105 保發-13.1-保-01-06-001(1))初步成果，謹此致謝。

參考文獻

- 李錫堤，1996，數值地形的彩繪明暗製圖及應用，地工技術，第 56 卷，第 69-84 頁。
- 李璟芳、黃韋凱、冀樹勇，2015，遙測新利器—立體彩繪明暗圖，地工技術，第 113 期，第 113-115 頁。
- 陳奕中、侯進雄、謝有忠、陳柔妃、吳若穎，2014，高解析度空載光達資料結合地形開闊度分析於構造地形特徵之應用，航測及遙測學刊，第 18 卷，第 2 期，第 67-78 頁。
- 張玲、楊曉平、魏占玉、黃偉亮，2014，三維數據的二維可視化方法綜述，地震地

質，第 36 卷 第 1 期，第 275-284 頁。

- Chiba, T., S. I. Kaneta, and Y. Suzuki, 2008, Red relief image map: new visualization method for three dimensional data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, pp. 1071-1076.
- Hodgson, M. E., and P. Bresnahan, 2004, Accuracy of airborne Lidar-derived elevation: Empirical assessment and error budget., *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(3), pp. 331-339.
- Lin, Z., H. Kaneda, S. Mukoyama, N. Asada, and T. Chiba, 2013, Detection of subtle tectonic- geomorphic features in densely forested mountains by very high-resolution airborne LiDAR survey, *Geomorphology*, 182, pp. 104-115.
- Wang, K., C. Wang, Q. Zhang, and K. Ding, 2015, Loess shoulder line extraction based on openness and threshold segmentation, *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 44, pp. 67-75.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. Luis, and F. Wobbe, 2013, *Generic Mapping Tools: Improved version released*, EOS Trans. AGU, San Francisco, USA.
- Yokoyama, R., M. Shirasawa, and R. J. Pike, 2002, Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, pp. 257-265.

開源軟體 RTKLIB 解算 GPS 連續站資料精度： 地球科學應用探討

范姜士彥¹ 陳建良² 鄭凱謙^{3*}

論文收件日期：105.09.30

論文修改日期：105.10.27

論文接受日期：105.11.02

摘 要

GPS 連續觀測陣列(Continuous GPS array)是近年來監測活動構造與其變形的有效工具之一。台灣現有的高密度 GPS 連續觀測陣列，在地震發生後常被用來計算地震的同震位移，後續更可用來協助解算震源機制與地體動力模型反演等工作。在眾多 GPS 解算軟體中，RTKLIB 為一款開源(open-source)自由軟體(freeware)，有圖形化介面、便於安裝、操作簡易等特色，同時具有主要的 GPS/GNSS 資料處理與導航功能，然而軟體本身並非專為地球科學應用來開發。再加上開源的特性，與一般地球科學常用的專業軟體，例如 GAMIT/GLOBK、Bernese GPS 等相比，有價格、取得容易、操作簡單的優勢；與其他線上精密單點定位服務(Precise Point Position, PPP)軟體相比有可控制的參數多、批次處理、無需網路即可解算等優勢，尤其有利於教學與初學者的需要。本文包含兩個主軸：一、利用 RTKLIB 以單基線相對定位解算 2016 年 2 月美濃地震前後三天的 GPS 資料，估算同震位移，結果顯示使用 RTKLIB 2.4 版解算的同震位移與 GAMIT/GLOBK 的結果相近，各站相關係數都達 0.8 以上，同震位移的南北與東西向較差分別為 0.5 與 0.8 mm，合乎地科估算同震位移的需求。二、以 RTKLIB 精密單點定位解算嘉南地區三站 2013 年的速度場，結果無法滿足地殼變形後續分析。整體而言，以此版本的測試結果，採用單基線相對定位方法可以有效看出地震同震，精密單點定位用於速度場計算方面雖然還有待改進，但應足以滿足公分等級的工程應用精度。本文也提出相應的 RTKLIB 解算配置，以版本 2.4 而言，同震估算成果可以相當接近專業軟體 GAMIT/GLOBK 的結果。

關鍵字：GPS 連續觀測站、RTKLIB、開源軟體、自由軟體

¹ 碩士生，國立中正大學地球與環境科學系碩士班

² 科長，經濟部中央地質調查所

³ 副教授，國立中正大學地球與環境科學系碩士班

* 通訊作者，TEL: (05)272-0411，E-mail: cheng.168@ccu.edu.tw。

An Investigation of Earth Science Applications Using RTKLIB, an Open-Source Freeware

Shi-Yan Fan Jiang¹, Chien-Liang Chen², Kai-chien Cheng^{3*}

Abstract

The Continuous GPS (CGPS) array has been proved to be one of the effective tools for active deformation monitoring. One typical application of a CGPS array in Taiwan is to estimate coseismic displacements for the inversions of geodynamic models. Among the specialized GPS processing software packages, RTKLIB is an open-source freeware that provides fundamental GPS/GNSS data processing capability with a graphic user interface and is easy to install and operate. Compared to the specialized software packages such as GAMIT/GLOBK or Bernese, its cost-effectiveness is obvious. On the other hand, when it compares to the on-line Precise Point Positioning (PPP) services, it is flexible and opens up more control options to the users with the capability of batch processing. These advantages are essential for the beginners to learn. We analyzed the coseismic displacement of the Meirong earthquake happened on February 6, 2016 with RTKLIB using relative positioning and compared the results to that estimated by GAMIT/GLOBK. The correlation for both estimations are >0.8 and the discrepancies are 0.5 and 0.8 mm in the easting and northing, respectively. In addition, we calculated the velocity field with 3 CGPS stations in 2013 with its PPP mode. However, the result is not as expected and can not support the requirement of crustal deformation. Overall, with the current tested version, v2.4, RTKLIB is effective in relative positioning and the use of it in determining coseismic displacement is successful. The result is nearly identical to that of GAMIT/GLOBK. We also reported the best configuration in doing this. On the other hand, its PPP mode is not accurate enough to support active deformation monitoring at this point but should be sufficient for engineering applications that require decimeter accuracy.

Keywords: Continuous GPS, RTKLIB, open-source, freeware

¹Master Student, Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University.

²Section Chief, Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs.

³Associate Professor, Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University.

*Corresponding Author, TEL: +886-5-2720411, E-mail: cheng.168@ccu.edu.tw.

一、前 言

近年來台灣各單位架設了接近 400 個 GPS 連續觀測站，對於整個全台灣與離島的地殼變形也做了完整資料統合與處理(郭隆晨，2016、2008)，呼應了國際上使用 GPS 連續觀測站來監控地殼變形的主流趨勢。然而，GPS 解算軟體種類繁多，不同軟體在解算的差異是值得關心的。本研究選用一款常見的開源軟體(open-source) RTKLIB (Takasu and Yasuda, 2009)，進行常用的地球科學上應用，包括：地震後的同震位移解算、高頻資料逐時解算(epoch-by-epoch)、精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)估計速度場等。RTKLIB 與傳統的大型科學解算軟體相比，例如：GAMIT/GLOBK (以下簡稱 G/G)、Bernese GPS 等，有安裝簡便、免費、容易取得、圖形介面、操作簡單等優勢。它與其他線上解算軟體相比，例如：CSRS-PPP、線上 GIPSY 等，有可控制參數較多與批次處理功能。因為 RTKLIB 軟體具有上述的優點，讓一般地球科學研究人員初次學習 GPS 資料處理時，能專注在 GPS 的解算流程與概念上，不會因為這些大型專業軟體所需的較高資訊門檻(例如學習 Linux、BASH、批次等)而分心或望之怯步。本文的目的是測試開源的 RTKLIB 是否能滿足一般地球科學研究的需要，評估它處理地球科學相關應用的精度，並探討它能否成為學習大型專業軟體前的學習軟體的可行性，以提高學習成效。

二、RTKLIB 開源軟體與其他檢驗軟體

(一)RTKLIB

RTKLIB 為東京海洋大學高須知二等人在 2007 開發(Takasu et al., 2007)，為了開發出簡單、便攜、多功能的 RTK-GPS 開源應用程式，作者在 2007 年 01 月 25 日發佈了 RTKLIB 第一版，因第一個版本功能尚未完整，在同年 3 月 21 日發佈 1.1 版，此版本加入了文字操作模式可以完成批次處理的工作，並且加入圖形功能修正錯誤改進性能，2009 年在 GPS/GNSS 國際研討會(International Symposium on GPS/GNSS)中報告 RTKLIB 的相關發展，加入了 RTKNAVI 與 RTKPOST 應用程式，提供使用者能完成即時觀測與繪圖的功能(Takasu and Yasuda, 2009)。2013 年推出 2.4.2 版，支援讀取 Galileo、北斗和 RINEX3 的資料，繪圖方面也在這個版本有大幅的升級，提供衛星透空圖與衛星路徑分析，並且結合 Google 地圖預覽，此版本的應用程序已有完整的功能。此軟體分為兩種操作模式，圖形介面模式與命令介面模式(表 1)，兩種模式提供的功能是相同的，但是繪圖與相關資料下載必須透過圖形介面操作，以下將詳述 RTKLIB 的應用程序與功能。

RTKLIB 是一款開源軟體(Stallman, 1999)，內容包含幾個簡單的程式庫與應用程式。它的設計目標是簡單、便於攜帶、功能齊全。RTKLIB 包含多個應用軟體，可以完成多項定位相關工作，可使用多種衛星系統，可做各種單點定位、動態定位、靜態定位、移動基線、RTK-GPS、即時定位，能夠使用圖形介面展示各種資

料狀況，也可匯入地圖資訊可以直接了解各種坐標的相關位置，各種解算時所需要的資料軟體中也能抓取。相較於其他解算軟體 G/G、Bernese，RTKLIB 擁有處理 RTK-GPS 與精密單點定位的能力，定位精度可以達到公分等級，且相較這兩套軟體 RTKLIB 是免費的，而且沒有複雜的安裝流程符合這本身的設計目標簡單與便於攜帶的特性，在使用 RTKLIB 的過程中，可以讓使用者對 GPS 解算有初步的了解，解算時需要的參數與各參數的影響量都可以清楚的了解，對於初次接觸解算的使用者可以學習到許多入門知識；也因為它有免費與高精度的優點，對於業界來說也是可以將這款軟體當作第二驗證工具來使用。

(二)線上軟體 APPS 與 CSRS-PPP

APPS (Automatic Precise Positioning Service)是美國噴射動力實驗室(Jet Propulsion Laboratory, JPL)所提供的全球差分定位(Global Differential GPS System, GDGPS)線上服務，定位模式包括採用了 AutoGIPSY 的 PPP 模式。此外 CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning)為加拿大大地測量局(Canadian Geodetic Survey, CGS)所提供的加拿大空間參考系統精密單點定位服務。兩個系統都需要在線上申請帳號來使用，APPS 需要設定解算模式(靜態或動態)、測量類型(單頻或雙頻)、電碼種類(CA 電碼或 P 電碼)、衛星仰角、解算頻率，另外檔案上傳是有 5MB 的限制，解算完成後將會在網頁回傳資提供供使用者下載完整解算報告。CSRS-PPP 可動設定少，主要調整解算模式(靜態或動態)與垂直基準調整，另外 CSRS-PPP 可加入 OTL 檔，在檔案上傳方面並沒有限制，解算報告會透過電子郵件發送給使用者，提供使用者下載。兩個系統的入口網頁如圖 1。

表 1，RTKLIB 的圖形與命令介面的應用程式列表(修改自 Takasu, 2013)。

功能	圖形介面應用程式	命令介面應用程式
應用程式啟動程序	RTKLAUNCH	-
即時定位	RTKNAVI	RTKRCV
通訊服務	STRSVR	STR2STR
後處理定位	RTKPOST	RNX2RTKP
原始資料轉換	RTKCONV	CONVBIN
輸出資料繪圖	RTKPLOT	-
相關資料下載	RTKGET	-

范姜士彦、陳建良、鄭凱謙：使用開源軟體 RTKLIB 探討 GPS 連續站地球科學應用案例

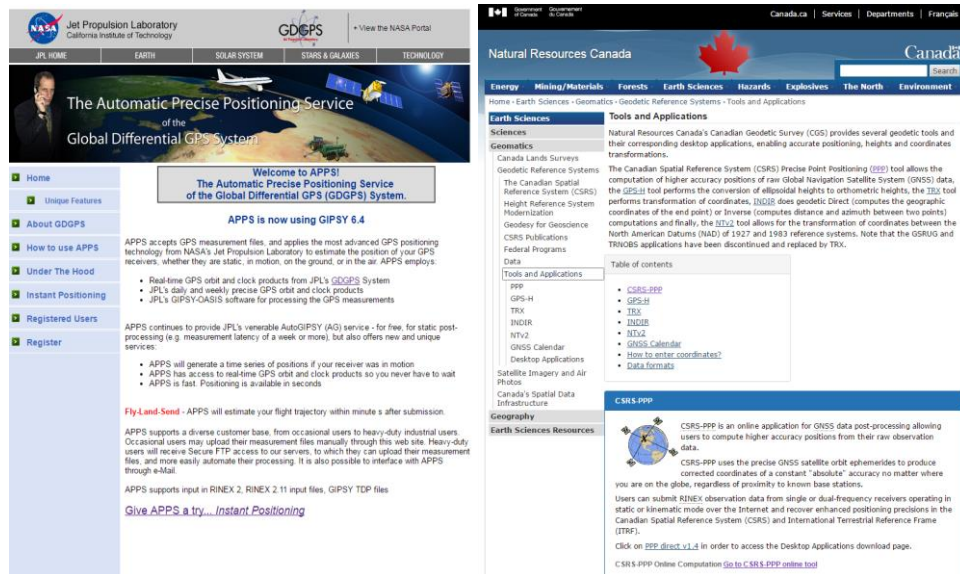


圖 1，GIPSY(左)與 CSRS-PPP(右)線上解算頁面，資料來源：<http://apps.gdgps.net>、<http://www.nrcan.gc.ca>

(三)GAMIT/GLOBK

G/G 軟體是在美國國家科學基金會(National Science Foundation)的資助下，由麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)、斯克里普斯海洋研究所(Scripps Institution of Oceanography)和哈佛大學共同研發之 GPS 解算軟體，該軟體須在 UNIX 系列的系統下運行。G/G 是個綜合的 GPS 分析軟體，主要功能包括：定軌、估計測站坐標、速度、震後形變分析或解釋、大氣延遲、衛星軌道、地球自轉參數等(Herring et al., 2015)。

三、定位模式與解算

(一)單基線差分定位

為相對定位的一種，需要兩部接收器，其中一部接收器為參考主站，另一部接收器為待測站。兩部接收器同時接收 4 顆以上的 GPS 衛星訊號，透過二次差分解算並加入各項誤差修正，可以獲得精確的坐標。RTKLIB 在處理單基線差分解算必須給定精確的主站坐標，解算程式會也算出待測站的空間位置(曾清涼、儲慶美，1999)。

(二)單點定位

單點定位(Single Point Positioning, SPP)，單台接收器同時接收 4 顆以上的衛星訊號，空間距離的後方交會，為了求取測站的空間坐標，只需要三個獨立測距就足夠了，定位時以測站為球心與三顆不同衛星的相對距離為半徑，此時測站就是這三個球面的交點，但定位時不使用精密星曆與時表修正(曾清涼、儲慶美，1999)。

(三)精密單點定位

精密單點定位利用 GPS 單點定位(SPP)的基礎，為了提高單點定位的精確度，在 1997 年提出精密單點定位的概念(Zumberge et al., 1997)使用單台接收儀之雙頻載波相位觀測量，搭配 IGS (International GNSS Service)所提供的精密星歷產品、衛星時錶資料，就可以在全球範圍內進行動態與靜態定位作業，並有高精度的表現(Gao and Chen, 2005)。

四、成果分析

本研究中所選用兩個區域做實驗，區域一為美濃地震周圍，選用了地質調查所與氣象局的 GPS 連續觀測站，使用 RTKLIB 進行單基線相對定位，使用中正大學(S103)作為主站解算美濃地震前後 3 天的資料，計算出同震位移，並與 G/G 解算出的同震位移比較，測站分佈如圖 2。接著使用 1Hz 資料觀測區域中三個與震央距離不同的測站，分析地震到時資訊。區域二為嘉義雲林地區，測站分布在九芎坑斷

層、觸口斷層之間，如圖 3。選取區域中本研究室所架設的三個測站，進行即時定位過程中使用 RTKNAVI 以單點定位的模式進行，另外選取觀測資料時間為 2013 年，以一年的時間做測試，選取測站為永光國小(YOKN)、劍湖山(JHSN)、太平國小(TAPN)，這部分的研究會以 RTKLIB 後處理中的精密單點定位(PPP)方式進行。

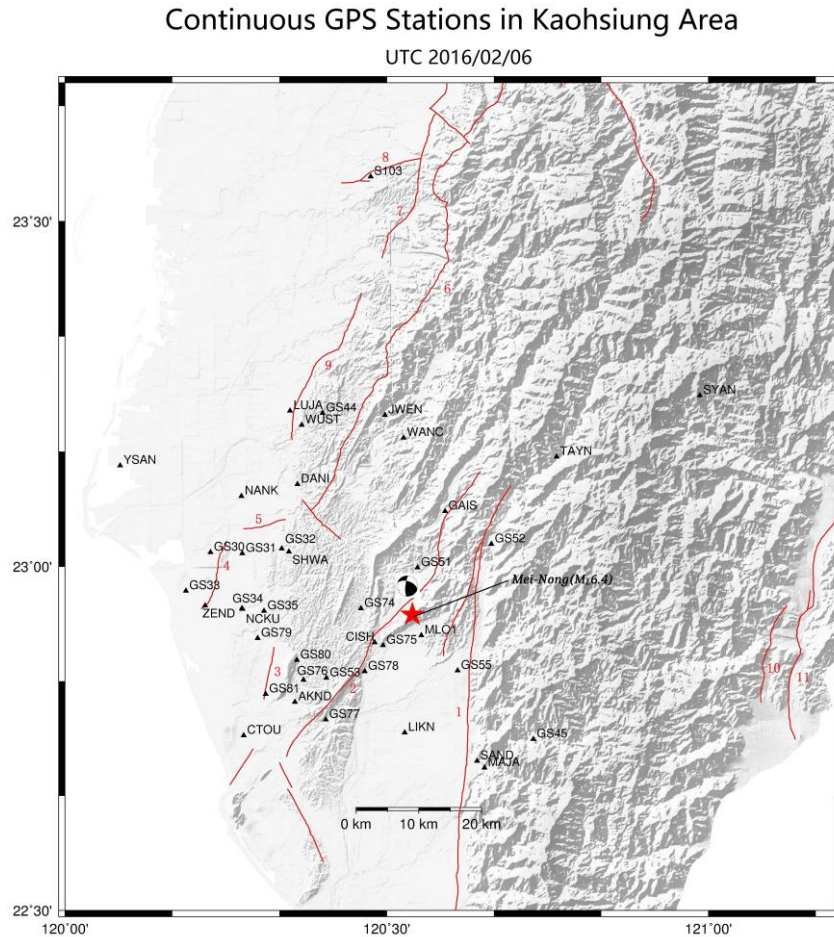


圖 2，美濃地震所選測站。(編號: 1 到 10 分別為：潮州、旗山、小崗山、後甲里、新化、觸口、九芎坑、梅山、六甲、鹿野、利吉斷層。震源機制解來自中央氣象局。)

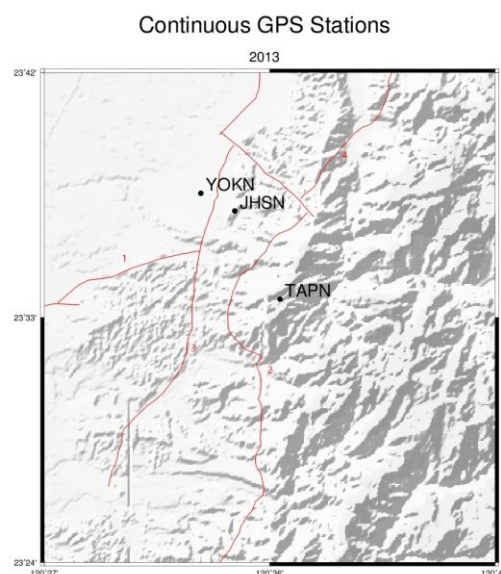


圖 3，雲嘉南地區選用測站。(編號 1 到 3 分別為：梅山、觸口、九芎坑斷層。)

(一) RTKLIB 與 G/G 分析美濃地震之同震位移

台灣時間 2016 年 02 月 06 日凌晨 03 時 57 分 27.2 秒(GPS 時 02/05 19:57:27.2)位於高雄市美濃區發生芮氏規模 $M_{6.4}$ 之地震，震央位置在(22.871°N, 120.668°E)震源深度 23 公里，最大震度為 6 級發生在雲林草嶺測站，氣象局表示可能是旗山斷層錯動造成。(資料來源:中央氣象局)本次研究使用了地質調查所與氣象局共 40 個 GPS 連續觀測站資料(圖 2)，解算震前四天與震後三天(DOY033~039)的速度場並做同震位移的分析，震前時間段選為 033~036 19:57:27.2 (GPS Time)，震後時間段為 037~038，比較 RTKLIB 與 G/G 的兩款軟體解算差異性，為了觀測同震位移的現象必須使用精準度高的定位模式，同震位移解算在 RTKLIB 使用單基線差分解算模式，比起 RTKLIB 中的精密單點定位模式單基線差分能夠更有效的消除大氣層與電離層誤差。本節將介紹 RTKLIB 在這個實驗中所使用的配置與解算後的資料處理方法，並且找出這次實驗中差異性最大的測站，分析其原因，並探討 RTKLIB 的實用性。這次的實驗在 RTKLIB 的配置為了使成果能夠最真實的呈現使用了以下設定:靜態的單基線差分定位(static)、L1+2+5 的線性組合、LC 無電離層組合、對流層延遲誤差之改正模式為 Estimate ZTD 模式、精密星歷是使用 IGS 所提供之精密星歷進行衛星軌道與衛星時錶誤差改正、利用軟體所提供之檔案進行天線相位中心改正、地球固體潮改正以及使用 P1C1 觀測量進行 DCB 改正，解算頻率為 30(s)，並將結果建置在 WGS84 坐標系統上(Takasu, 2013)，這次解算中選取測站 S103 作為 RTKLIB 單基線差分解算的主站，測站距離各站約 70~85km，選取本測站原因是因為單基線解算無法如同網型擁有約制的效果，所以距離太遠的測站並不選用，但距離太接近又會有同震的效果，所以選用本校的 S103 測站，觀測資料也方便取得，故選取此測站。經過兩種軟體處理後的資料計算出每日解，並且將每天的經

緯度坐標值減去本次實驗的平均值，得到結果轉換成長度單位，接著透過公式(1)來計算同震，並列表比較兩種軟體的平面向同震差異(表 2)，可得知 RTKLIB 與 GG 平面向的同震 N-S 為 $0.5 \pm 0.2\text{mm}$ 、E-W 為 $0.8 \pm 0.5\text{mm}$ ，將本次研究結果同震位移較大的(大於 2.5mm 以上)的測站提出來，分別討論他們的水平向(表 3)與垂直向(表 4)的較差。兩種軟體估算的同震位移向量如圖 4。

$$\text{同震位移} = \text{震後加權平均} - \text{震前加權平均} \pm (\sigma_{\text{震後}}^2 + \sigma_{\text{震前}}^2)^{1/2} \quad (1)$$

其中震後資料為各測站 2016 037~039，震前資料為 2016 033~036， σ 為標準偏差。

表 4 為觀測平面變動量大的 6 個測站的高程變化測站，CISH 測站在兩款解算下 RTKLIB 為 $52.6 \pm 12.3\text{mm}$ ，G/G 為 $11.5 \pm 1.7\text{mm}$ 相差了 $41.1 \pm 12.4\text{mm}$ ，另外 GS80 在 RTKLIB 為 $33.7 \pm 5.8\text{mm}$ ，G/G 為 $21.4 \pm 3.7\text{mm}$ 相差了 $12.3 \pm 6.9\text{mm}$ ，這兩站的差異量最大，其餘測站則沒有差距太多。表 3 與表 4 的相關係數，代表的是兩種軟體連續 7 日的每日解時間序列的相關性。LIK 測站因為每日解的變動量大，導致估算同震位移時有 $\pm 25.5\text{ mm}$ 的後驗中誤差，同時出現弱負相關(-0.16)。總體來說 RTKLIB 在觀測同震位移的工作上是相當不錯的，與 G/G 所計算的成果相當符合。

表 2，兩種軟體經過處理後的平面方向同震位移比較，dN 與 dE 代表兩種軟體所計算出來的較差。

	RTKLIB		GG		較差(RTKLIB-GG)	
	N(mm)	E(mm)	N(mm)	E(mm)	dN(mm)	dE(mm)
GS23	-4.2 ± 0.9	1.6 ± 0.6	-1.3 ± 0.6	0.7 ± 0.3	-2.9 ± 1.0	0.9 ± 0.7
GS30	8.7 ± 0.3	-18.5 ± 1.1	8.7 ± 0.3	-18.5 ± 1.1	0.1 ± 0.9	-0.1 ± 2.2
GS31	5.4 ± 0.3	-8.8 ± 1.0	5.4 ± 0.4	-10.2 ± 0.9	-0.1 ± 0.4	1.4 ± 1.5
GS32	-51.6 ± 0.5	-40.3 ± 0.6	-51.6 ± 0.5	-40.3 ± 0.6	-0.1 ± 1.7	0.1 ± 1.4
GS33	0.6 ± 1.0	11.1 ± 0.9	1.0 ± 0.5	-10.4 ± 1.0	-0.4 ± 0.8	1.5 ± 2.0
GS34	-7.7 ± 0.6	-25.7 ± 1.3	-7.0 ± 0.5	-26.7 ± 1.3	-0.7 ± 0.7	1.0 ± 2.1
GS35	-14.7 ± 0.6	-42.9 ± 1.6	-14.5 ± 0.5	-40.9 ± 1.4	-0.2 ± 0.9	-2.1 ± 1.2
GS44	7.3 ± 0.7	-4.2 ± 1.0	6.9 ± 0.5	-3.2 ± 0.8	0.4 ± 0.3	-1.0 ± 1.4
GS45	-0.9 ± 0.2	-1.8 ± 1.2	-0.4 ± 0.2	-2.8 ± 0.8	-0.5 ± 1.6	1.0 ± 2.5
GS51	-12.2 ± 1.6	-26.7 ± 1.2	-12.5 ± 0.8	-28.4 ± 0.8	0.3 ± 0.8	1.7 ± 1.8
GS52	-10.6 ± 0.4	-32.8 ± 1.2	-10.2 ± 0.3	-34.4 ± 0.9	-0.4 ± 0.7	1.6 ± 0.8
GS53	-20.6 ± 0.5	-11.7 ± 1.6	-20.9 ± 0.7	-11.1 ± 1.5	0.3 ± 0.5	-0.6 ± 1.5
GS55	3.6 ± 0.5	-10.6 ± 0.3	3.4 ± 0.3	-12.4 ± 1.0	0.2 ± 0.5	1.8 ± 0.9
GS74	-14.7 ± 1.3	-19.3 ± 1.9	-14.3 ± 0.9	-18.7 ± 1.6	-0.4 ± 2.0	-0.6 ± 1.7
GS75	-10.2 ± 0.6	-10.2 ± 1.0	-11.1 ± 0.4	-10.4 ± 1.1	0.9 ± 1.1	0.2 ± 1.3
GS76	-17.4 ± 0.6	-14.5 ± 1.3	-17.7 ± 0.6	-14.4 ± 1.6	0.3 ± 0.4	-0.1 ± 1.3
GS77	-6.8 ± 0.4	-2.4 ± 1.5	-6.6 ± 0.8	-2.6 ± 1.7	-0.2 ± 0.7	0.2 ± 1.7
GS78	-12.4 ± 0.5	-6.0 ± 1.1	-13.5 ± 0.5	-6.4 ± 1.4	1.1 ± 0.7	0.4 ± 1.7
GS79	-12.4 ± 0.5	-6.0 ± 1.0	-11.9 ± 0.6	-23.7 ± 1.2	-0.6 ± 1.9	1.7 ± 2.0
GS80	-14.3 ± 1.6	-20.8 ± 0.9	-19.9 ± 1.1	-23.3 ± 1.8	5.6 ± 0.7	2.5 ± 1.5
GS81	-7.3 ± 1.6	-7.6 ± 1.4	-6.8 ± 1.1	-7.5 ± 1.0	-0.5 ± 1.7	-0.1 ± 2.1
AKND	-11.17 ± 2.3	-10.2 ± 1.9	-11.4 ± 0.8	-8.3 ± 1.1	0.2 ± 2.4	-1.9 ± 2.1
CISH	-8.4 ± 1.8	-10.3 ± 2.3	-14.4 ± 0.6	-10.6 ± 1.3	6.0 ± 1.8	0.3 ± 2.6
CTOU	-1.4 ± 1.8	-3.8 ± 1.5	-1.3 ± 0.5	-1.8 ± 1.1	-0.1 ± 1.9	-2.0 ± 2.6
DANI	20.9 ± 1.6	-28.5 ± 3.1	20.0 ± 0.6	-32.3 ± 0.4	0.9 ± 1.9	3.8 ± 1.8
GAIS	-17.7 ± 1.8	-25.9 ± 1.3	-20.1 ± 0.5	-27.5 ± 0.8	2.4 ± 1.7	1.6 ± 3.1
JWEN	-3.5 ± 0.9	-2.2 ± 1.7	-3.7 ± 0.5	-3.8 ± 0.7	0.2 ± 1.8	1.6 ± 1.5
LIKN	3.8 ± 2.2	-12.5 ± 2.9	-0.1 ± 1.3	-0.3 ± 0.8	3.8 ± 1.0	-1.2 ± 1.8
LUJA	10.4 ± 1.0	-3.9 ± 1.2	7.7 ± 0.4	-5.4 ± 0.8	2.7 ± 2.5	1.5 ± 3.0
MAJA	4.6 ± 2.1	-1.9 ± 0.6	-1.2 ± 0.4	-1.9 ± 0.8	5.8 ± 1.0	0.6 ± 1.4
MLO1	4.0 ± 3.7	-18.2 ± 1.9	6.6 ± 2.3	-18.8 ± 1.8	-2.6 ± 2.1	0.6 ± 1.0
NANK	29.3 ± 1.1	-20.3 ± 1.7	25.7 ± 0.6	-24.7 ± 0.9	3.6 ± 4.3	4.4 ± 2.6
NCKU	-6.1 ± 1.6	-25 ± 1.0	-8.0 ± 0.4	-26.9 ± 1.6	1.9 ± 1.2	1.9 ± 1.9
SAND	-1.5 ± 1.9	-2.3 ± 1.6	-2.0 ± 0.6	-2.9 ± 0.8	0.5 ± 1.6	0.6 ± 1.8
SHWA	-5.6 ± 1.5	-3.3 ± 1.9	-7.3 ± 0.5	-4.5 ± 0.8	1.7 ± 2.0	1.2 ± 1.8
SYAN	2.3 ± 4.0	6.5 ± 4.8	2.2 ± 3.4	4.6 ± 4.7	0.1 ± 1.5	1.9 ± 2.0
TAYN	-5.0 ± 1.7	-11.9 ± 1.5	-6.5 ± 1.0	-9.9 ± 1.8	1.5 ± 5.2	-2.0 ± 6.6
WANC	-7.9 ± 1.1	-5.5 ± 1.4	-8.1 ± 0.6	-5.4 ± 0.6	0.2 ± 1.9	-0.1 ± 2.3
WUST	9.8 ± 1.1	-5.6 ± 0.7	7.9 ± 0.6	-4.7 ± 0.6	1.9 ± 1.2	-0.9 ± 1.5
YSAN	2.6 ± 1.4	-3.7 ± 0.3	2.6 ± 0.5	-4.4 ± 0.6	0.1 ± 1.2	0.7 ± 0.9
ZEND	-2.2 ± 1.3	-18.2 ± 1.3	-3.4 ± 1.1	-18.2 ± 1.7	1.2 ± 1.5	-0.1 ± 0.6
絕對值平均					0.5 ± 0.2	0.8 ± 0.5

表 3，兩種軟體經過處理後的水平同震位移比較，只考慮位移大於 2.5mm 的測站。dN 與 dE 代表兩種軟體所計算出來的較差。

	RTKLIB		GG		較差(RTKLIB-GG)		相關係數	
	N(mm)	E(mm)	N(mm)	E(mm)	N(mm)	E(mm)	N(mm)	E(mm)
CISH	-8.4±1.8	-10.3±2.3	-14.4±0.6	-10.6±1.3	6.0±1.8	0.3±2.6	0.89	0.92
GS80	-14.3±1.6	-20.8±0.9	-19.9±1.1	-23.3±1.8	5.6±0.7	2.5±1.5	0.96	0.91
LIKN	3.8±2.2	-12.5±2.9	-0.1±1.3	-0.3±0.8	3.8±1.0	-12.2±1.8	0.4	-0.14
LUJA	10.4±1.0	-3.9±1.2	7.7±0.4	-5.4±0.8	2.7±2.5	1.5±3.0	0.98	0.7
MAJA	4.6±2.1	-1.9±0.6	-1.2±0.4	-1.9±0.8	5.8±1.0	0.6±1.4	-0.87	0.51
NANK	29.3±1.1	-20.1±1.7	25.7±0.6	-24.7±0.9	3.6±4.3	4.4±2.6	0.99	0.97

表 4，兩種軟體經過處理後的垂直同震位移比較，只考慮位移大於 2.5mm 的測站。dN 與 dE 代表兩種軟體所計算出來的較差。

	(mm)			相關係數
	RTKLIB	GG	dH	
CISH	52.6 ± 12.3	11.5 ± 1.7	41.1 ± 12.4	0.89
GS80	33.7 ± 5.8	21.4 ± 3.7	12.3 ± 6.9	0.94
LIKN	-8.2 ± 25.5	-10.6 ± 4.2	2.4 ± 25.8	-0.16
LUJA	-0.9 ± 0.7	-0.5 ± 1.1	-0.4 ± 1.3	0.94
MAJA	-2.9 ± 9.9	-1.0 ± 3.0	-1.9 ± 10.3	0.12
NANK	-1.4 ± 7.4	-2.2 ± 4.2	0.8 ± 8.5	0.44

Horizontal Coseismic Displacement of Meinong EQ

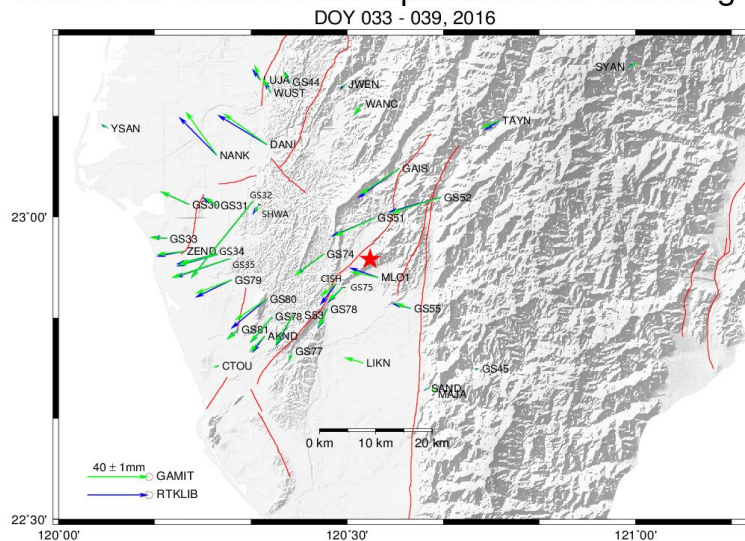


圖 4，各測站的同震位移量，綠色表示 G/G 的解、藍色表示 RTKLIB 的解。

可以看到 RTKLIB 差異量大的測站在每日解上的穩定性相較於 G/G 是比較差的，每日解的變動與 G/G 都會有 5~10mm 的差異，但是還在公厘的等級內，而高程的定位上 RTKLIB 的表現都不盡理想，此實驗兩款軟體所用的 GPS 連續觀測站資料是相同的，所以兩種軟體解算模式將會是主要影響因素，RTKLIB 所使用的解算方式為最簡易的單基線差分解算，G/G 採用的是嚴密的大地網形平差結果。由圖 4 可看到兩款軟體在水平方向上所得到的結果相當吻合，RTKLIB 雖然利用簡易的單基線差分，細看各站的結果可能不及嚴密的 G/G 解算結果，但是以整個區域而言，兩者得到的同震位移的效果相當接近，對於地球科學後需變形的分析並沒有太大的差異。因此 RTKLIB 的結果，基本上滿足了地殼變形後續研究的需求。

在這裡的靜態解算參數配置如圖 5，前 8 行為程式版本、輸入資料檔位置與名稱、觀測開始與結束時間等資訊，之後為參數配置如下，配置詳細定義詳手冊 (Takasu, 2013)。

```
% program      : RTKPOST ver.2.4.3
% inp file     : I:\036\tnml\gles0301.16o
% inp file     : I:\036\s103\s1030301.16o
% inp file     : I:\036\nav\brdc0300.16n
% inp file     : I:\036\nav\igs18816.clk_30s
% inp file     : I:\036\nav\igs18816.sp3
% obs start    : 2016/01/30 00:00:00.0 GPST (week1881 518400.0s)
% obs end      : 2016/01/30 23:59:30.0 GPST (week1881 604770.0s)
% pos mode     : static
% freqs        : L1+L2+L5
% solution     : combined
% elev mask    : 15.0 deg
% dynamics     : off
% tidecorr     : on
% ionos opt    : iono-free
% tropo opt    : est ztd+grad
% ephemeris    : precise
% amb res      : off
% val thres    : 3.0
% antennal     : TRM41249.00      NONE   ( 0.0000  0.0000 -0.0000)
% antenna2     :                  ( 0.0000  0.0000  0.0300)
% ref pos      : 23.564375975 120.475193219 125.3570
```

圖 5，RTKPOST 軟體單基線差分(相對定位)解算參數配置

pos mode 為定位模式，這裡選用的是靜態定位。

freqs 為採用的 GPS 資料，這裡選的是採用 L1/L2/L5 的三頻載波向位觀測。

solution 為時間濾波器的選項，這裡選擇的 combined 為雙向時間濾波。

elev mask 為遮蔽角，內定 15°。

dynamics 為移動站接收移的運動修正，這裡選擇不修正，因為是靜態。

tidecorr 為地潮修正，預設選項為修正。

ionos opt 為電離層修正，選擇無電離層線性組合。

tropo opt 為對流層修正，選擇估計垂直可降水量。

ephemeris 為星曆，這裡選的是精密星曆。

amb res 為整數周波未定值(integer ambiguity)解算(resolution)設定，這裡選擇 off。

val thres 為 DGOP 的門檻，這裡設定當它大於 3.0 時，因衛星幾何條件差故不解算。

navi sys 為選用的 GNSS 系統

antennal 與 antenna2 為移動站與參考站的天線型號設置。

ref pos 為參考站已知座標，大地緯度、大地精度、橢球高。

(二)高頻資料觀測同震位移訊號

氣象局所提供的美濃地震為高頻(1 Hz)的資料，地震發生時間約為中原標準時間 2016/02/06 03:57:26，地震深度為 14.6 公里，統一將 GPS 資料時間換為 UTC，所以 GPS 資料中的地震時間減去 8 小時為 2016/02/05 19:57:27 UTC，選取測站解算時間段為 19:55:00~20:00:00，分別挑選測站 MLO1、NANK、LUJA，各測站距離震央的空間距離分別為 14.3、37.7、43.3 公里，判斷震波應該以最短距離傳遞，使用單基線差分解算以 S103 做為主站解算，來觀測地震高頻訊號。解算後資料尋找震波到達測站的訊號，至於判斷地震訊號到達測站的時間，本研究採用統一的原則：地震發震時間後出現最大振幅的時間點，當作是震波到達測站的時間。至於這個原則是否適當尚待進一步研究。

利用這三個距離不同的測站觀測美濃的高頻 GPS 連續站訊號，可以找到各測站所接收到的地震訊號，並且有發現隨著距離的增加地震訊號有往後延遲的現象(圖 6)，可以發現各測站因距離不同而出現時間遞增的現象。根據 Kuo-chen et al. (2012)的台灣西部震波速度圖 7，可以得知美濃位於 S02 的構剖面上，接著看圖 8 可以得知這個區域的 P 波傳遞速度在 5000~6000m/s。表 5 列出各站與震央的距離、從 GPS 逐時解算的時間序列中看到的震波傳遞時間與反算的波速結果：測站 MLO1 距離震央直線距離約 14.3 公里，地震訊號為震後約 3 秒出現，估計震波速度為 4700m/s；測站 NANK 距離震央直線距離 37.7 公里，顯示地震訊號為震後約 12 秒出現，估計震波速度為 3100m/s；測站 LUJA 距離震央直線距離 43.3 公里，地震訊號為震後 14 秒出現，估計震波速度為 3000m/s。然根據 Kuo-chen et al. (2012)研究 P 波速度在此區域應為 5000~6000m/s。表 5 所列的反算地震波速與理論值尚有出入，且 GPS 是以 1 秒鐘的間隔接收，目前沒有地震儀共站，難以準確判斷地震波的正確到時(arrival time)。然而，RTKLIB 的 1 Hz 逐時解算確實能看到因距離增加而地震訊號到時遞增的現象(圖 6)。利用簡單的軟體與簡單的 GPS 定位解算方法，得到這樣的結果，令人振奮，未來有潛力在 GPS 地震學(GPS seismology)應用尚有所發展。高頻解算配置與圖 5 類似，只是定位模式改成動態(kinematic)，代表單基線相對差分定位。

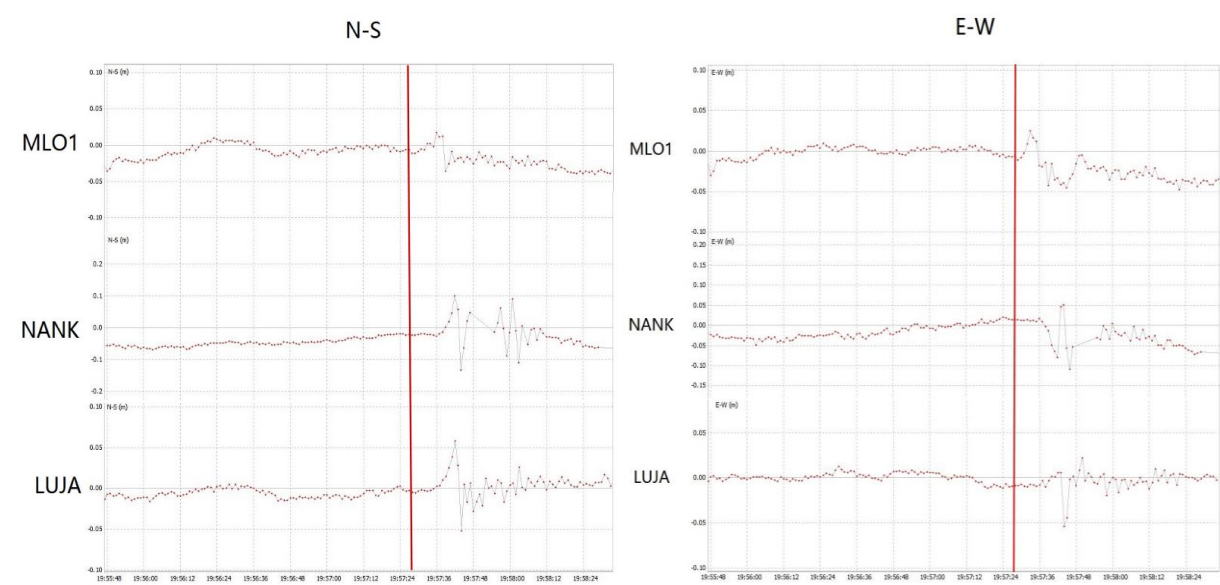


圖 6，三個高頻測站 NS 與 EW 方向時間序列與地震發震時間。

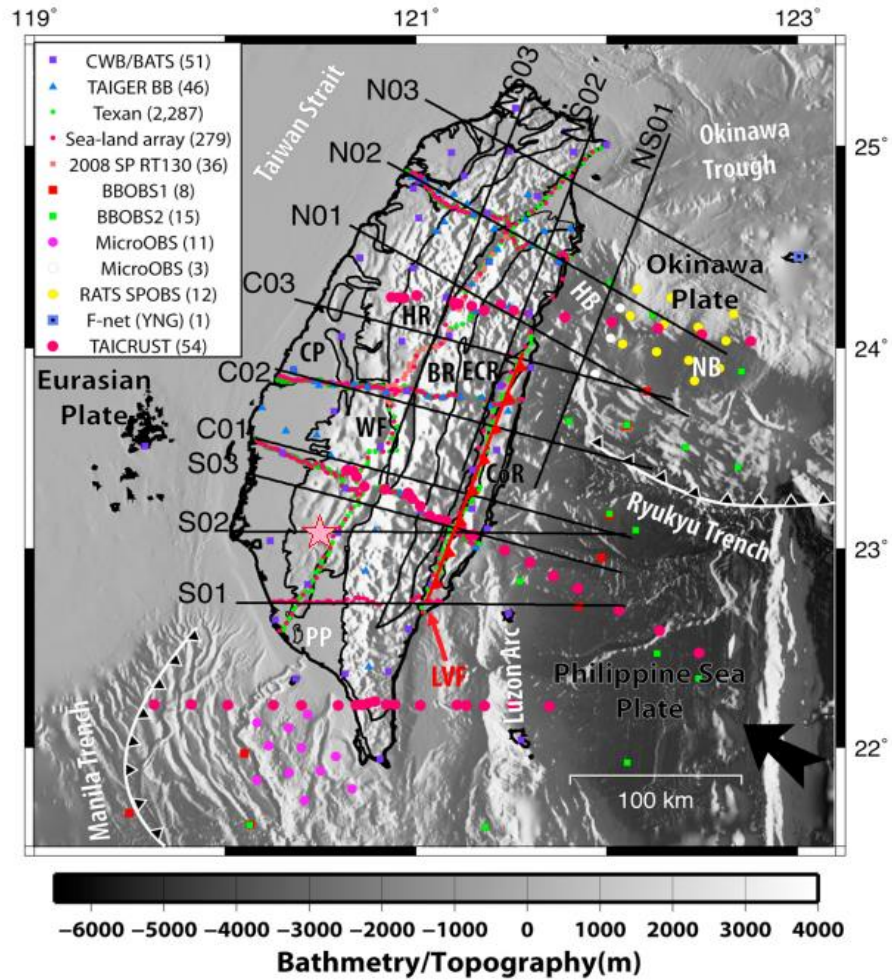


圖 7，Kuo-chen et al. (2012)的速度構造分區，美濃位於剖面 S02。星號為美濃地震震央。

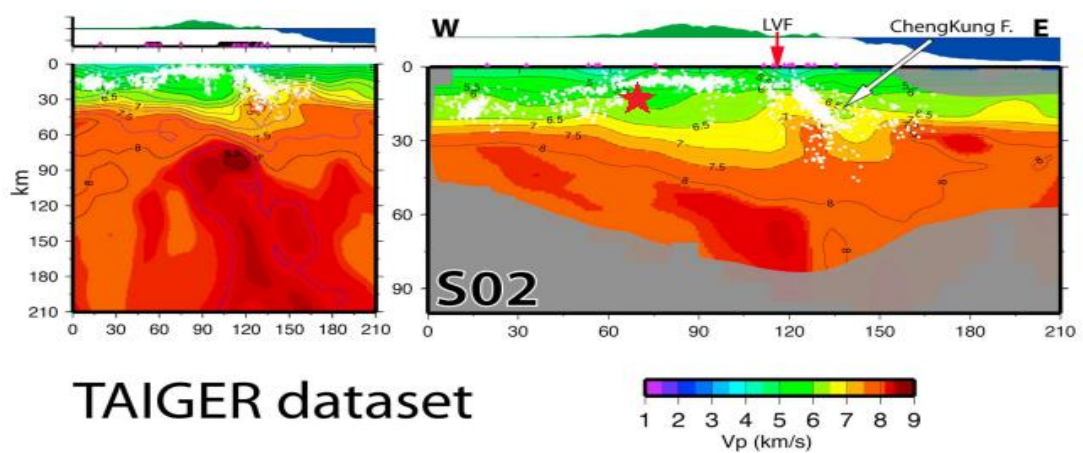


圖 8，Kuo-chen et al. (2012)區域速度模型 S02 剖面圖，本區域約為 5000~6000m/s 的速度傳遞震波資料。星號部分為美濃地震震央，修改自 Kuo-chen et al. (2012)。

表 5，利用 GPS 反算震波速度與 Kuo-chen et al. (2012)的速度模型結果

測站	震央距離(km)	經歷時間(s)	GPS 解反算地震波速度(m/s)	速度模型值(m/s)
MLO1	14.3	3	4700	5000~6000
NANK	37.7	12	3100	
LUJA	43.32	14	3000	

(三) RTKLIB PPP 與各軟體解算之每日解的精度比較

使用 RTKLIB 的精密單點定位(PPP)功能解算嘉南地區的三個測站，分別為太平(TAPN)、劍湖山(JHSN)、永光(YOKN)，這三站地理分布如圖 3，永光測站在九芎坑的左側，劍湖山測站在兩條斷層的中間，太平測站在觸口斷層的右側，藉此來展示 RTKLIB 精密單點定位的功能性，實驗中另外選用了線上解算軟體 JPL 與 CSRS，來比較精密單點定位的精確性，最後再選用 G/G 來做為真實解驗證各測站。

APPS 採用 GIPSY 作為線上解算的核心，且所提供的線上服務有檔案上傳有限制，所已將每個測站資料用 TEQC 處理成 30 秒一筆的資料。為了維持一致性，兩款線上 PPP 軟體的如入資料、RTKLIB 經 PPP 處理的資料、作為比較用的 G/G 都採用了 30 秒一筆的方式，計算每日解。所有軟體均使用 IGS 星歷與軌道產品進行修正。RTKLIB 的 PPP 處理中更使用 IGS 所提供的衛星時鐘修正檔(clk_30s)進行批次處理。

永光國小站(YOKN)使用各軟體所繪製出來的時間序列(圖 9)，2013 年速度場如表 6，可以發現以 G/G 當作真值來看 GIPSY 時間序列與速度場上是最相符的，而本研究所使用的 RTKLIB 在整個時間序列上呈現不穩定的狀態，CSRS-PPP 在這裡 NS 方向所解與 G/G 方向相為向北 6.38mm/year，但是其他方向的速度場與 G/G 相符，效果優於 RTKLIB。

劍湖山測站(JHSN)使用各軟體所繪製出來的時間序列(圖 10)，2013 年速度場如表 6，水平方向上 GIPSY 與 G/G 最為吻合，其次為 CSRS-PPP，而本研究所使用的 RTKLIB 在整個時間序列上呈現不穩定的狀態。

太平國小站(TAPN)使用各軟體所繪製出來的時間序列(圖 11)，2013 年速度場如表 6，在時間序列與速度場上 GIPSY 與 G/G 是最吻合的，而本研究所使用的 RTKLIB 在整個時間序列上呈現不穩定的狀態，但在 NS 方向上是相吻合的，CSRS-PPP 所解在 NS 方向呈現 5.09mm/year 與其他軟體相反。

圖 12 為各軟體計算出 2013 的平面速度場圖，圖 13 為各軟體計算出 2013 的垂直速度場圖。各測站結果顯示 RTKLIB 在南北向有與 G/G 較為吻合的表現，而東

西向解算成果是與其它軟體解算出來都相反的，可能是出現 random walk noise 的雜訊或整數周波未定值的解算不正確所導致(Calais et al., 2006)高程方面出現了 20 cm/year 的情況，RTKLIB 在精密單點定位上的表現每日解上的浮動非常大，GIPSY 在水平方向上與 G/G 結果相符，穩定性優於 RTKLIB，而其次是 CSRS-PPP，RTKLIB 精密單點定位效果沒有線上軟體來的好，RTKLIB 在速度場估計結果上沒有很好的表現。以這個結果來說，應該不能滿足地球科學估算速度場與後續的地體動力模型反衍等應用。

表 6，測站永光國小(YOKN)、劍湖山(JHSN)與太平(TAPN)使用各軟體解所得到
2013 速度場

測站 YOKN(mm/year)	N	E	U
GG	-12.82	24.25	4.14
RTKLIB	4.34	-3.99	-11.88
GIPSY	-9.20	29.41	-3.79
CSRS-PPP	6.38	19.72	3.05

測站 JHSN(mm/year)	N	E	U
GG	-12.82	21.81	6.74
RTKLIB	-14.34	-1.99	10.19
GIPSY	-10.34	23.34	-7.71
CSRS-PPP	-7.52	19.06	-1.89

測站 TAPN(mm/year)	N	E	U
GG	-12.00	9.33	3.24
RTKLIB	-26.78	-37.45	29.3
GIPSY	-15.85	6.27	5.97
CSRS-PPP	5.09	4.18	-6.87

在這裡的 PPP 解算參數配置如圖 14，前 7 行為程式版本、輸入資料檔位置與名稱(包括 IGS 時錶改正檔)、觀測開始與結束時間等資訊，之後為參數配置如下，配置詳細定義詳手冊(Takasu, 2013)。

pos mode 為定位模式，這裡選用的是動態 PPP 定位。

solution 為時間濾波器的選項，這裡選擇的 combined 為雙向時間濾波。

elev mask 為遮蔽角，內定 15° 。

dynamics 為移動站接收移的運動修正，因為接收移不像車輛有運動，所以選 off。

tidecorr 為地潮修正，預設選項為修正。

tropo opt 為對流層修正，選擇估計垂直可降水量。

ephemeris 為星曆，這裡選的是精密星曆。

amb res 為整數周波未定值(integer ambiguity)解算(resolution)設定，這裡選擇 off。

val thres 為 DGOP 的門檻，這裡設定當它大於 3.0 時，因衛星幾何條件差故不解算。

navi sys 為選用的 GNSS 系統

antenna1 為天線型號設置。

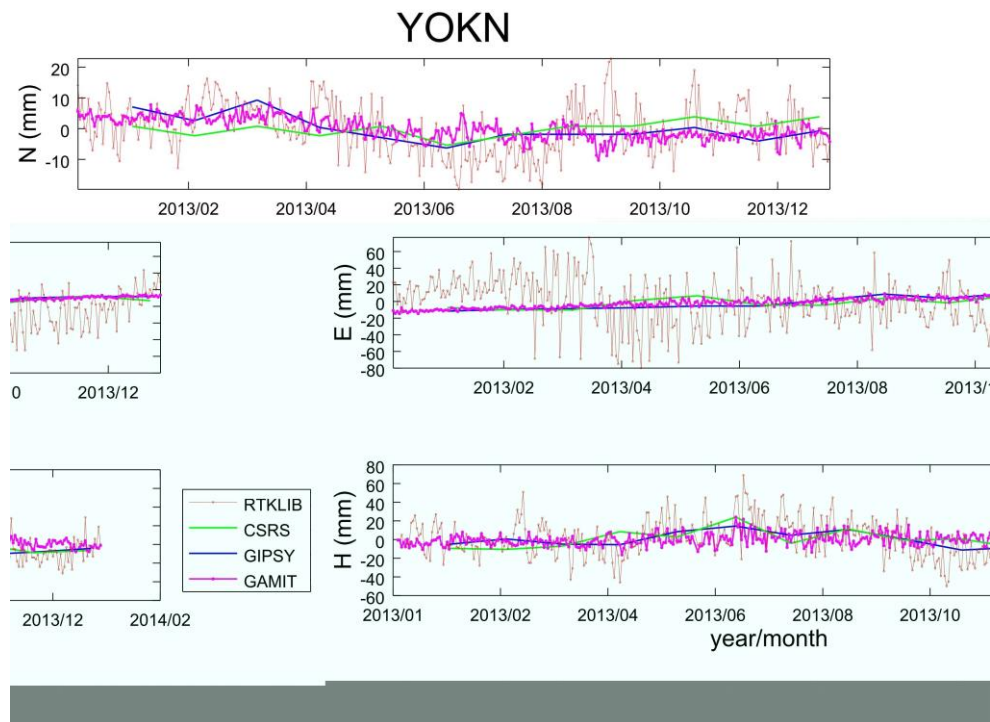


圖 9，測站永光國小(YOKN) 2013 時間序列，線條為最小二乘回歸後得到的線性趨勢與週年信號的結果。

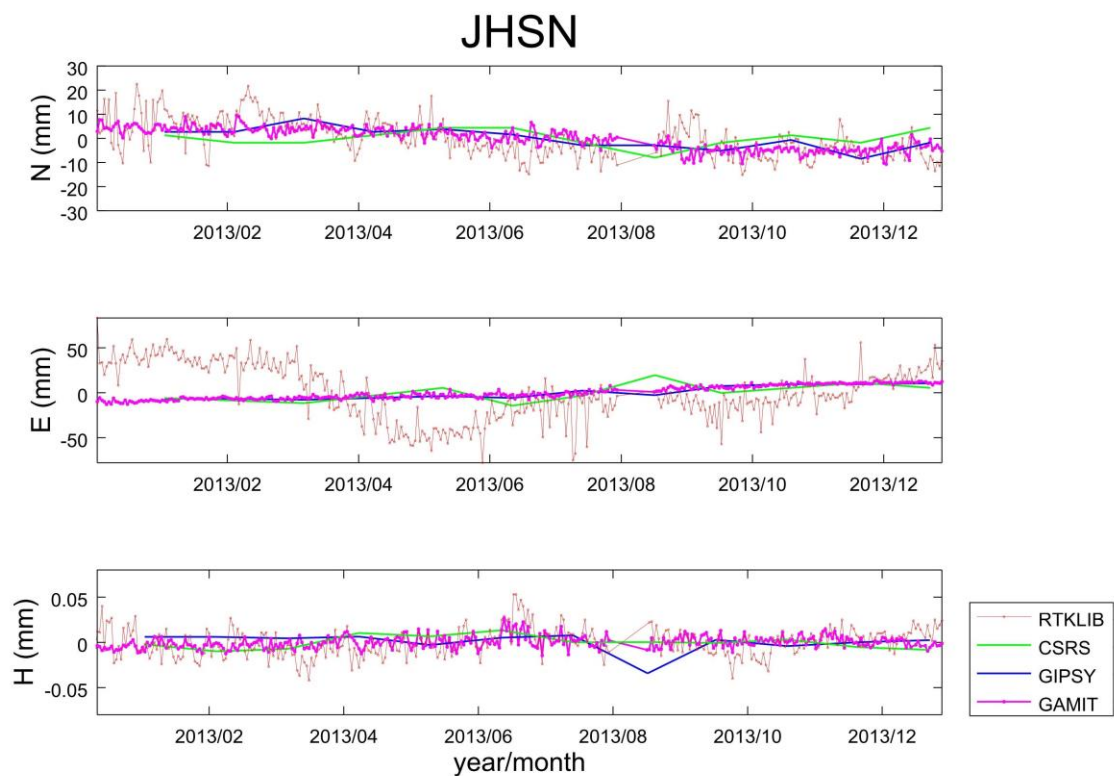


圖 10，測站劍湖山(JHSN) 2013 時間序列，線條為最小二乘回歸後得到的線性趨勢與週年信號的結果。

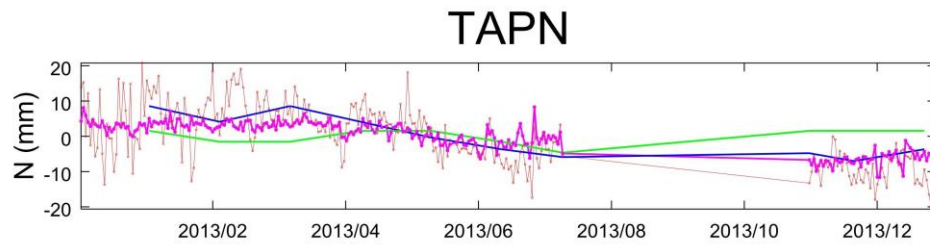


圖 11，測站劍湖山(JHSN) 2013 時間序列，線條為最小二乘回歸後得到的線性趨勢與週年信號的結果。

Velocity NE

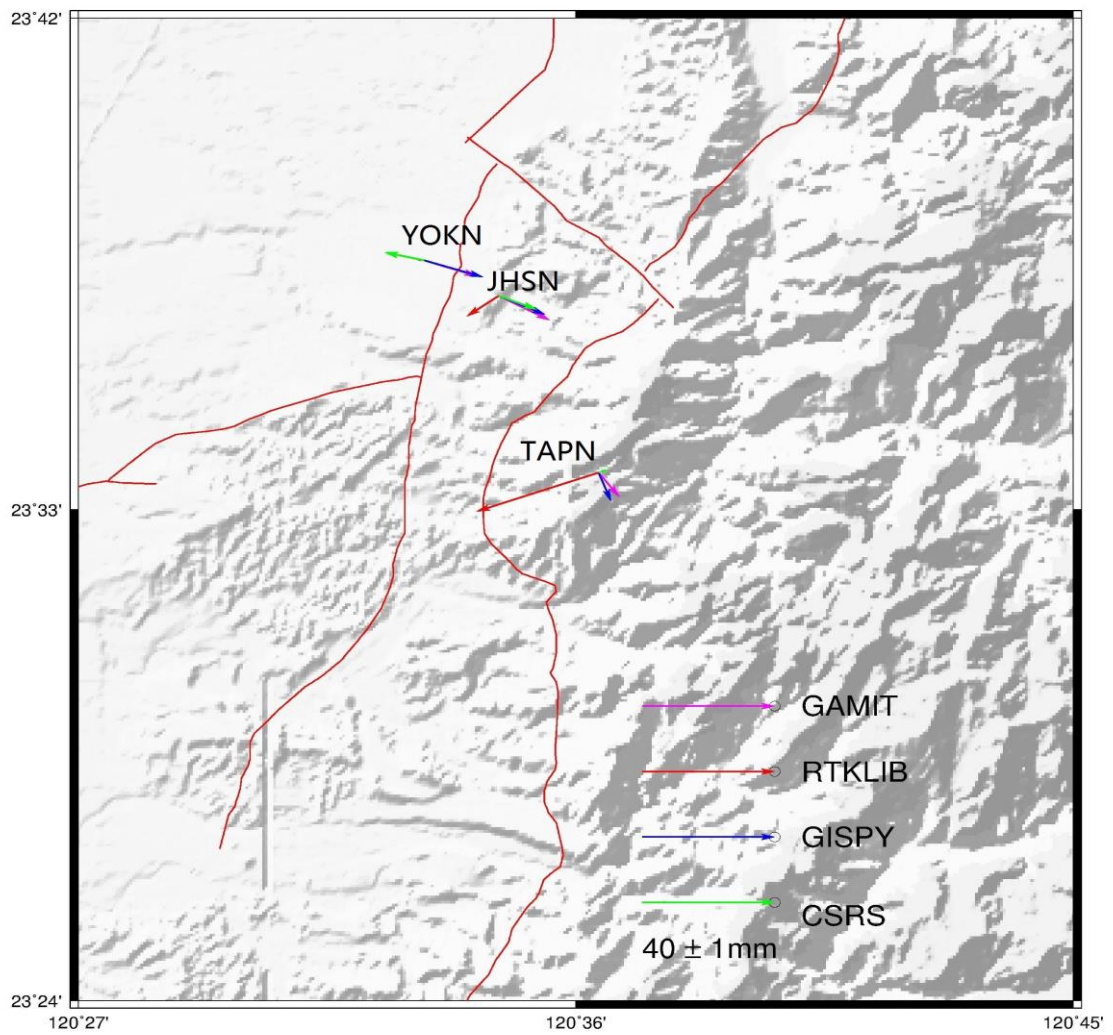


圖 12，各軟體計算出 2013 的水平速度場圖

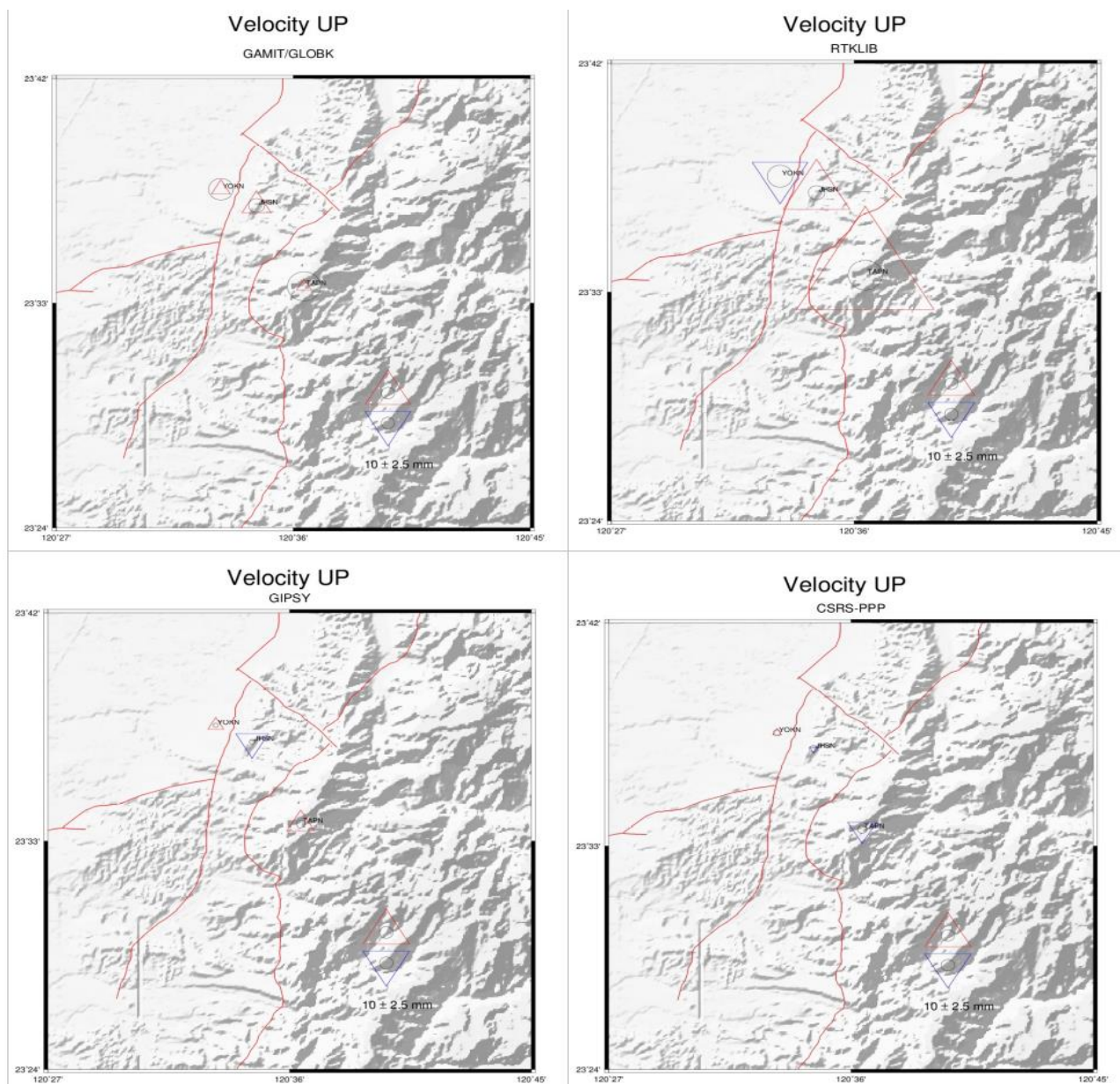


圖 13，各軟體計算出 2013 的水平速度場圖

```
% program      : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file     : I:\mn2hr\luja0361.16o
% inp file     : I:\mn2hr\brdc0360.16n
% inp file     : I:\mn2hr\igs18825.clk_30s
% inp file     : I:\mn2hr\igs18825.sp3
% obs start    : 2016/02/05 19:47:00.0 GPST (week1882 503220.0s)
% obs end      : 2016/02/05 20:07:00.0 GPST (week1882 504420.0s)
% pos mode     : ppp-kinematic
% solution     : combined
% elev mask    : 15.0 deg
% dynamics     : off
% tidecorr     : on
% tropo opt    : est ztd
% ephemeris    : precise
% navi sys     : gps glonass galileo
% antennal     : TRM41249.00      NONE   ( 0.0000  0.0000 -0.0000)
%
```

圖 14，RTKPOST 軟體 PPP 高頻解算參數配置。

五、結 論

在眾多 GPS 解算軟體中 RTKLIB 擁有著免費、開源、安裝簡便、圖形介面易於學習等特性，為了確定定位的可信度，本文選了單基線差分、高頻觀測、即時連線、精密單點定位等四種定位方法，這四個項目作檢測以了解 RTKLIB 在估算同震位移、地震波對 GPS 測站影響、即時監測板塊聚合數速度場等主要地球科學應用。成果如下：

1. RTKLIB 利用單基線差分定位觀測同震位移與 G/G 比較後，各站在兩種軟體解算下 NS 方向的平均差異量為 $0.5 \pm 0.2\text{mm}$ 、EW 方向上的平均差異量為 $0.8 \pm 0.5\text{mm}$ ，證明 RTKLIB 使用單基線差分定位解算觀測，RTKLIB 擁有在短時間的觀測中(1~10 天)擁有與 G/G 解算相當吻合的結果。
2. 使用 RTKLIB 解算高頻 GPS 資料是能夠觀測到地震訊號，不過還無法分析波形，但是對於未來的 GPS 地震學應用是很有幫助的。
3. RTKNAVI 即時定位，在資料的回傳上若是格式符合軟體要求是能夠完成 GPS 即時監測的功能，其中還能夠應用在移動物體的軌跡記錄，軟體本身擁有免費與易於操作的條件下是很棒的效果。
4. RTKLIB 精密單點定位解算長時間的 GPS 觀測數據，在每日解的表現上並沒有線上軟體 GIPSY、CSRS-PPP 來的準確，可能原因是 RTKLIB 並沒有進行半周年雜訊濾波處理，導置在時間序列上出現不穩定的狀況，使得速度場估計有誤，若能改善定能提高精確度。

以目前的版本而言，RTKLIB 在地球科學應用上有不錯的結果，但也有還可以改進的空間。如果考慮精度需求在公尺、或次米等級的工程應用上，RTKLIB 應該可以勝任。本文針同震估算這個地球科學應用提出了最佳的配置設定。經過測試，開源的 RTKLIB 採用單基線相對定位的結果相當不錯，而 PPP 在地球科學應用上則需要再期待。RTKLIB 確實有圖形介面與易於取得的特性，讓使用者可以專注學習 GPS 資料處理觀念而不害怕專業軟體所需要的較高資訊門檻，有潛力成為一般使用者學習專業軟體前的前置學習軟體。

致 謝

本研究部分經費由科技部提供，編號：MOST-104-2116-M-194-002、編號：MOST-105-2116-M-194-004，並感謝國家高速網路與計算中心提供硬體資源，使本研究得已順利進行，特此致謝。

參考文獻

- 郭隆晨，2008，建立 GPS 自動處理分析系統與支援地球科學研究之網路服務，中央研究院 地球科學研究所研究技術報告，台灣台北。
- 郭隆晨，2016，CGPS 連續觀測站解算結果，<http://gps.earth.sinica.edu.tw/>，GPS Lab，中央研究院，台灣台北。最近檢索時間 2016 年，11 月。
- 曾清涼、儲慶美，1999，GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心(第二版)，台灣台南。
- Calais, E., J. Y. Han, C. DeMets, and J. M. Nocquet, 2006, Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements, *Journal of Geophysical Research*, 111, 1–23, doi:10.1029/2005JB004253.
- Gao, Y., and K. Chen, 2005, Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products, *Journal of Glob Positioning Systems*, 3, 95–100.
- Herring, T. A., R. W. King, S. C. McClusky, and P. Sciences, 2015, *Introduction to GAMIT / GLOBK*, http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/Intro_GG.pdf, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts U.S.A. (Last Checked 2016/11/16)
- Kuo-chen, H., F. T. Wu, and S. W. Roecker, 2012, Three-dimensional P velocity structures of the lithosphere beneath Taiwan from the analysis of TAIGER and related seismic data sets, *Journal of Geophysical Research*, 117, 1–19, doi:10.1029/2011JB009108.
- Stallman, R., 1999, The GNU Operating System and the Free Software Movement. In *Open Sources: Voices from the Open Source Revolution*, edited by Mark DiBona, Chris Ockman Sam; Stone, 1st Editio. O'Reilly & Associates, Inc. Available online at:<http://www.oreilly.com/openbook/opensources/book/>. (Last Checked 2016/11/16)
- Takasu, T., N. Kubo, and A. Yasuda, 2007, Development, Evaluation and Application of RTKLIB: A program library for RTK-GPS, GPS/GNSS Symposium 2007, Tokyo, Japan, November 20-22, 2007 (in Japanese)
- Takasu, T., and A. Yasuda, 2009, Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB, *Int Symp GPS/GNSS*, 1–6.
- Takasu, T., 2013, *RTKLIB ver. 2.4.2 Manual*, Tokyo University of Marine Science and Technology Laboratory of Communications Engineering, Japan.
- Zumberge, J. F., M. B. Heftin, D. C. Jefferson, and M. M. Watkins, 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*, 102, 5005–5017.

驗證 GPS 衛星訊號反演之大氣可降水量

葉大綱^{1*} 龐士鈞² 蕭棟元³ 洪景山⁴

論文收件日期：105.10.21

論文修改日期：105.11.10

論文接受日期：105.12.07

摘 要

水氣對於地球上來說是原本存在的物理現象，水循環是地球上的水經由蒸發作用轉換成水氣傳送到大氣，再藉由降雨回到地球上，是地球上的重要物理現象。相較於其他氣體，大氣中的水氣屬於變動氣體，對於氣候變化有著重要的影響。因此，若能有效的獲取大氣中可降水量（Precipitable Water Vapor, PWV）資訊，對於天氣狀態的研究與分析以及氣象的預報會有相當之幫助。本研究以地面 GPS 接收訊號來求解對流層天頂向的水氣含量，並藉由地面的雨量觀測資料來釐清兩者之間的關係。GPS 衛星資料是以 Bernese 5.0 求解水氣含量，並利用水氣微波輻射儀（Water Vapor Radiometer, WVR）所觀測到的濕延遲量來驗證本研究所計算之成果。成果顯示，WVR 觀測值及 GPS 計算值呈現一致的趨勢，相關係數都在 0.9 以上，平均誤差則介於 -1 至 -2 mm 之間。若將計算成果與美國大氣研究中心（National Center for Atmospheric Research, NCAR）相對應，由數據顯示 NCAR 的估計值有 5~6 mm 的低估現象。換言之若以 WVR 的觀測值為標準，本研究計算的成果低估 PWV 約 1~2 mm，NCAR 的計算成果則低估 PWV 約 4~6 mm。PWV 較高的情況下通常即有降雨的跡象，平地的 PWV 在 60 mm、山區 PWV 在 40 mm 就容易有降雨的現象，本研究藉由數據上的統計分析了解天氣的狀態，希望對氣象的預報上提供參考的數據。

關鍵詞：全球定位系統、水氣微波輻射儀、濕延遲、水氣含量、降雨量

¹ 教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

² 博士生，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

³ 助理教授，醒吾科技大學資訊科技應用系。

⁴ 技正，中央氣象局氣象資訊中心。

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

Verification on the precipitable water vapor of GPS satellite signals

Ta-Kang Yeh¹, Shih-Chun Pang², Tung-Yuan Hsiao³, Jing-Shan Hong⁴

Abstract

Water vapor is part of the evaporation process – a long existing physical phenomenon on earth. It transfers energy in the Nature as the weather changes, and is therefore less stable than other types of gasses in the atmosphere. Because of its instability, it affects people's lives in both good and bad ways. If we can more effectively obtain information on Precipitable Water Vapor (PWV) in the atmosphere, we will be able to conduct more detailed researches and analyses about the weather and give more accurate forecasts. This research aims to measure water vapor in tropospheric zenith delay through signals received from the GPS. It also seeks to understand the relations between GPS and PWV through precipitation data. Bernese 5.0 is used to calculate the water vapor, and the wet delay data obtained through Water Vapor Radiometer (WVR) is used to verify such calculation. Results show that, in terms of measurement accuracy, WVR and GPS works just as well as one another, with their correlation coefficients standing over 0.9 and average errors between -1 and -2 mm. If comparing GPS measurement with that of the National Center for Atmospheric Research (NCAR), however, the NCAR statistics appear to have an underestimation of 5 to 6 mm. In other words, based on the WVR measurement, GPS appears to underestimate PWV by only 1 to 2 mm, while NCAR appears to underestimate PWV by 4 to 6 mm. In addition, there is often rain when PWV is high, such as 60 mm in plain areas and 40 mm in the mountains. We hope the statistical results of this research can not only help researchers understand more about the weather, but help for improving the quality of weather forecasting in the future.

Keywords: GPS, WVR, zenith wet delay, precipitable water vapor, rainfall

¹ Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

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

³ Assistant Professor, Department of Applied Information Technology, Hsing Wu University.

⁴ Technical Specialist, Meteorological Information Center, Central Weather Bureau.

*Corresponding Author, Tel: 02-86741111 ext. 67430, E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw

一、前言

全球定位系統的發展已在許多領域中成為不可或缺的一部份，除了提供全天候的訊號接收之外，對於大地測量、邊坡位移以及水壩監測等工程領域上，都有著不可或缺的角色（王傳盛，2009）。除了工程領域，GPS 在氣象科學上的應用也逐見獲得肯定，可稱之為 GPS 氣象學（GPS Meteorology, GPS/Met），GPS 氣象學主要目的是利用 GPS 的延遲效應，反推算大氣之參數，進而提供氣象學或大氣科學相關學術領域之應用。在大氣層中，氮氣、氧氣及氬氣是以等比例關係存在於大自然界中，其中有 78.08% 是氮氣、20.95% 為氧氣，另外再加上氬氣 0.93% 及其他氣體（蔡亦證，2006）。由於水氣及二氧化碳屬於變動氣體，會隨著所在位置及存在時間長短而有不同的變化，特別是水氣對天氣而言，其中水氣的變化之於天氣的變化是數一數二的重要因子。水氣在大氣層中的分佈情況，有 75% 集中在地表起算 4 km 範圍內，其中有 50% 的水氣集中在地表至其上方 2 km 的大氣中，換言之大部分的水氣還是停留在對流層中，其含量約有 99%（Yeh *et al.*, 2016）。

根據民國 97 年經濟部水利署雨量統計，以民國 38 年到 97 年取平均雨量值顯示，台灣每年平均約有 2502 mm 的雨量（經濟部，2008），約為世界平均值的 2.6 倍，但每人每年所分配的雨量確只有世界平均值的七分之一，經換算後每人每年只有約 930 mm 的使用量；若加上降雨量因時間分佈不均使台灣的枯水期長達六個月的情況下，水資源的重要性值得大家思考的問題。台灣四面不僅環海也是屬於亞熱帶氣候，形態呈現上以溫暖潮溼居多，降雨量也會隨著不同地區而有所差異，文獻指出水氣含量在大氣中所佔的比例最多只達總容積量的 4%（謝瀚德，2006），也是唯一能夠以三種型態出現在自然界的物質，並藉由這三態相位能量的相互改變，使天氣有不同現象產生，也可能衍生出各種天然災害。水氣的相位改變是會伴隨著極大的能量釋放或吸收，這些能量的傳遞都會影響大氣結構的現況及型態，特別是像雷雨、颱風等劇烈天氣變化。對於氣象監測或天氣預報來說，水氣更是扮演著重要的指標，因此藉由觀測水氣的分佈，有助於了解和評估天氣系統的變化，因此偵測大氣中的可降水量之變化，對於掌握特定天氣現象具有相當大的幫助，也顯示可降水量的估計是具有其重要性。

在過去較常使用的氣象觀測方法中，不論是地面氣象觀測儀器或是探空氣球所量測的大氣資料，以地球來說皆僅是點狀的分佈方式在各陸地上，這樣的資料顯然是不足的；而且探空氣球會受到飛行高度限制，使得飛行限制高度至衛星之間有一段無法偵測的區域存在，在相關的研究中發現，此段稀薄的中性大氣所造成的訊號遲延量，約佔整體遲延量的 6~8% 之間（何人豪，2003）；因此近幾年來，利用 GPS 訊號以及水氣微波輻射儀（Water Vapor Radiometer, WVR）觀測大氣中的水氣分佈與變化成為主要趨勢。WVR 數據除了可直接得知水氣含量，也可驗證 GPS 訊號的可

信度，更可彌補探空氣球在觀測大氣可降水量時的空間限制（測站數較少）及時間解析度（取樣數較少）上的不足（Wang *et al.*, 2008）。

由於 GPS 在計算濕延遲量時，以載波相位二次差分方式求解，再以最小二乘法即可求解出各站對流層天頂向總延遲量（Zenithal Total Delay, ZTD），最後以 Saastamoinen 估計模式計算對流層的乾延遲（Zenithal Dry Delay, ZDD）。有了總延遲量 ZTD，再減掉乾延遲量 ZDD，就可求得最終解答天頂向溼延遲量（Zenithal Wet Delay, ZWD）；而濕延遲量若要準確求得大氣中的可降水量，則需乘上一個轉換因子 Π ，經驗值約 0.158~0.167 之間（Liou *et al.*, 2001），經由此經驗值，可將延遲量轉化為可降水量（Precipitable Water Vapor, PWV）。本研究資料是以交通部中央氣象局提供 GPS 衛星追蹤站資料，再加上內政部地政司提供的 WVR 觀測資料，並以日本的 TSKB 為固定站進行解算，藉以求得台灣各 GPS 固定站在天頂方向的絕對延遲量。得到對流層的延遲量以每日解方式求解，最後比較 WVR 與 GPS 兩種方法所估計出 PWV，藉以驗證利用 GPS 反演大氣可降水量之準確性，進而評估 PWV 與降雨量的關係，以作為故雨量估計之參考因子。

二、理論基礎

對流層對於 GPS 衛星訊號的影響，主要是訊號傳遞的速度是比真空中慢，以及訊號的傳播路徑是曲線而非直線，也就是傳播路徑因介質密度不同所引起的訊號折射。前者是因對流層折射率大於真空的折射率，訊號經過大氣時間較長，使傳遞時間延遲而造成傳遞路徑被拉長，關係式如下（王傳盛，2009）：

$$V_M = \frac{V_v}{n} \quad (1)$$

V_v ：為真空中訊號傳遞速度

n ：為介質的折射率

V_M ：訊號實際傳遞的速度

由於介質產生的折射率會隨傳遞路徑上，外在環境的溫度與壓力而改變，因此 V_M 為路徑之函數，由此可知訊號穿越不同介質會造成不同之對流層遲延量，如(2)式所示：

$$D_v^{Trop} = \int_L^{\infty} [n(s) - 1] ds \quad (2)$$

L ：傳播路徑

n ：傳播路徑上之折射率（為位置 s 的函數）

s ：位置

由(2)式得知溫度與壓力會改變訊號傳遞速度，所以由圖 1 便可得知不同大氣結構使訊號在傳遞路徑上所形成的彎曲現象，因為路徑幾何形狀不同所造成之遲延量又稱之為幾何路徑延遲，如(3)所示：

$$D_v^{Trop} = S - G \quad (3)$$

S : 位置

G : 指通過中性大氣層的直線距離

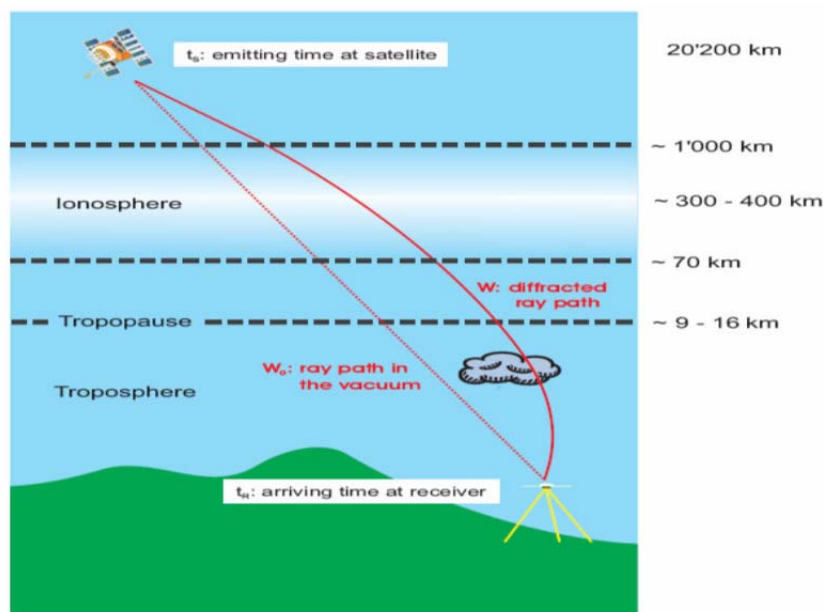


圖 1 GPS 訊號傳播路徑示意 (Marc, 2004)

由此可知電磁波傳遞時間延遲是可轉換成等效的距離，即為一般所稱的對流層延遲效應，而此延遲效應與理想氣體理論有關，理想氣體又與乾延遲量有關，因此綜合(2)(3)式可改寫為 (Yeh *et al.*, 2014)：

$$D_{trop} = \int_L^\infty [n(s) - 1] ds + (S - G) \quad (4)$$

上式中 $\int_L^\infty [n(s) - 1] ds$ 為速度延遲的影響， $(S - G)$ 則是路徑彎曲的影響，幾何路徑與折射率有關，計算過程須考慮到司乃耳定律 (Snell's law) 產生的延遲，根據司乃耳定律訊號經過不同介質的界面，會發生反射和折射現象，如圖 2 所示。所以介質折射率與大氣結構有關，在大氣結構中介質會有周期性變化，夏季時的厚度通常會比冬季厚，低緯度地區通常比高緯度地區厚，赤道附近的厚度約在 18 km，而兩極附近（北極、南極）厚度約在 8~9 km 不等，平均厚度大約 12 km (劉智中，2008)，其中為路徑彎曲的影響通常在仰角大於 15 度時，其延遲量不會大於 1 公分 (Bevis *et al.*, 1992)。因此當訊號沿著天頂向傳遞時，路徑彎曲延遲也就消失。故由(4)式可得天頂向之對流層延遲量如下：

$$D_{trop}^Z = \int_L^\infty [n(s) - 1] ds = 10^{-6} \int_H^\infty N ds \quad (5)$$

由(5)式中， H 指測站接收器高度是以平均海水面起算之正高， N 為溫度、壓力和水氣分壓的函數，稱為折射係數 ($N=10^6(n-1)$)。由上式可進一步將 N 分成乾空氣項與濕空氣項 (Hopfield, 1969)，其中乾空氣是以理想氣體為定義，描述溫度與體積恆定時，氣體壓強之比與所含物質的量的比相同；以及溫度與壓力恆定時，氣體體積比與氣體所含物質量的比相同，如(6)式：

$$N^{Trop} = N_{d.z}^{Trop} + N_{w.z}^{Trop} \quad (6)$$

代回(5)式可得：

$$D^{Trop} = D_{d,z}^{Trop} + D_{w,z}^{Trop} = 10^{-6} \int N_{d,z}^{Trop} ds + 10^{-6} \int N_{w,z}^{Trop} ds \quad (7)$$

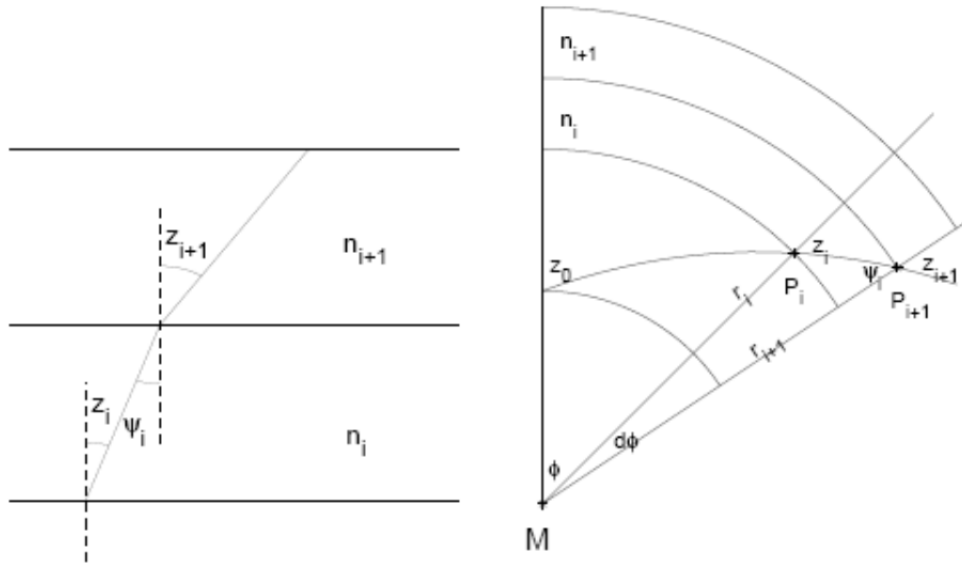


圖 2 根據司乃耳定律產生的訊號延遲現象 (Kleijer, 2004)

在大氣層中，乾空氣佔總遲延量約 90%並維持常態性比例，例如 78%為氮氣、21%為氧氣，而濕空氣佔總遲延量約 10% (Janes *et al.*, 1991)。

三、資料蒐集與處理

本研究共使用了 GPS、WVR 及雨量三種觀測資料，其中 GPS 衛星資料是由內政部地政司及交通部中央氣象局所提供，共計 24 個 GPS 衛星追蹤站的分布如圖 3 所示，再依各測站的地理位置可分為西部地區、東部地區及中央山區；其中，北港 (PKGM) 與墾丁 (KDNM) 兩站同時擁有 WVR 觀測資料，可用以驗證本研究推求出 PWV 之精度。此外，我們再搜尋中央氣象局的雨量站，挑選最接近上述 GPS 站的 24 處雨量資料，其分布如圖 4 所示，進一步探討可降水量與降雨量的相關性。

在資料處理的部分，本研究使用之軟體是由瑞士伯恩大學 (University of Berne) 所開發的 Bernese 5.0 軟體來進行數據上之分析，另外加入了 IGS 觀測網中的日本 TSKB 站來進行聯合解算，選擇 TSKB 當主站的目的是以相對定位方式是求台灣各測站的對流層延遲量，也由於兩地的大氣環境條件不同，使用 2000 km 長距離基線來求解，可得到本地較為精確的絕對延遲量 (Yeh *et al.*, 2016)。此外，處理過程需修正海潮負載，其目的在提高定位精度，本研究是以瑞典 Onsala 天文台所提供之修正模式，在長基線解算時可提供較佳精度解，這裡使用的模式是在臺灣區域表現最佳的 NAO.99b 模式 (張名漢，2007)。

在極運動改正部分，採用 IERS (International Earth Rotation Service) Bulletin B 所

公佈之值，將 UTC 與 UT1 之差值加以修正，並將坐標值由瞬間極之坐標系修正之 J2000 坐標系上，引力位模式則採用 GEM-T3 (Global Earth Model-T3)，以作為軌道計算及坐標轉換之用。而在 GPS 軌道部份，本文採用 IGS 精密星曆，因 IGS 精密星曆的軌道精度約可達 2 公分，因此所有軌道參數視為已知，固定而不加以求解，計算經轉換後即可得到每小時一筆的 PWV。

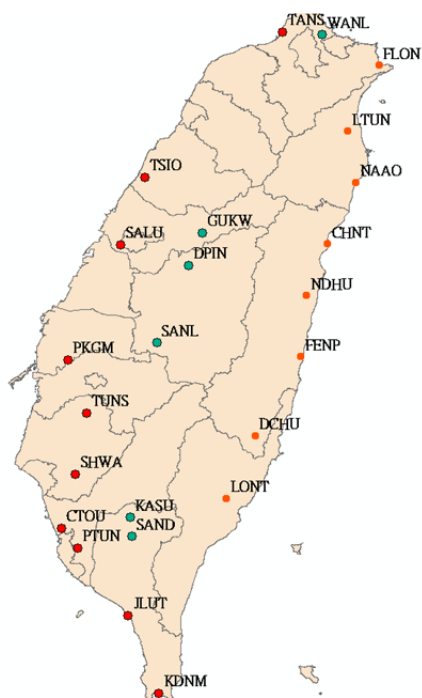


圖 3 GPS 測站分布圖

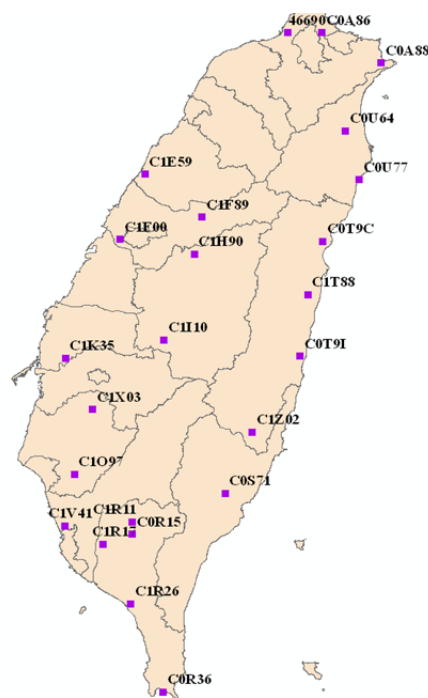


圖 4 雨量測站分布圖

四、成果分析與討論

(一) GPS 大氣可降水量之精度驗證

由於只有北港 PKGM 與墾丁 KDNM 兩站同時具有 WVR 與 GPS 觀測資料，故這裡先以這兩個站的成果來分析。由資料上所顯示的數據得知，GPS 與 WVR 所得到的 PWV 線形呈現一致的趨勢，這裡先以這兩個站的成果來分析，如圖 5 及 6 所示。在 PKGM 站 GPS 與 WVR 所得的 PWV 線形呈現一致的趨勢，相關係數為 0.96，平均誤差為 -0.83 mm；而 KDNM 站的相關係數為 0.91，平均誤差為 4.84 mm。由此數據加上降雨量資料時可顯示出，在 PWV 較高的形況下有明顯的降雨跡象，當 PWV 維持在 60 mm 時，降雨機率明顯增加，如圖 5 的第 21 天；當 PWV 值到達 78 mm 以上時，則產生明顯的降雨現象，這些時間點分別在第 29、31、34 和 37 天。類似的情況亦發生在另一個測站，如圖 6 的第 33 和 46 天，但由於該期間發生降雨的情況較少，且後半段時間缺少 WVR 的觀測資料，故成果較為不明顯。

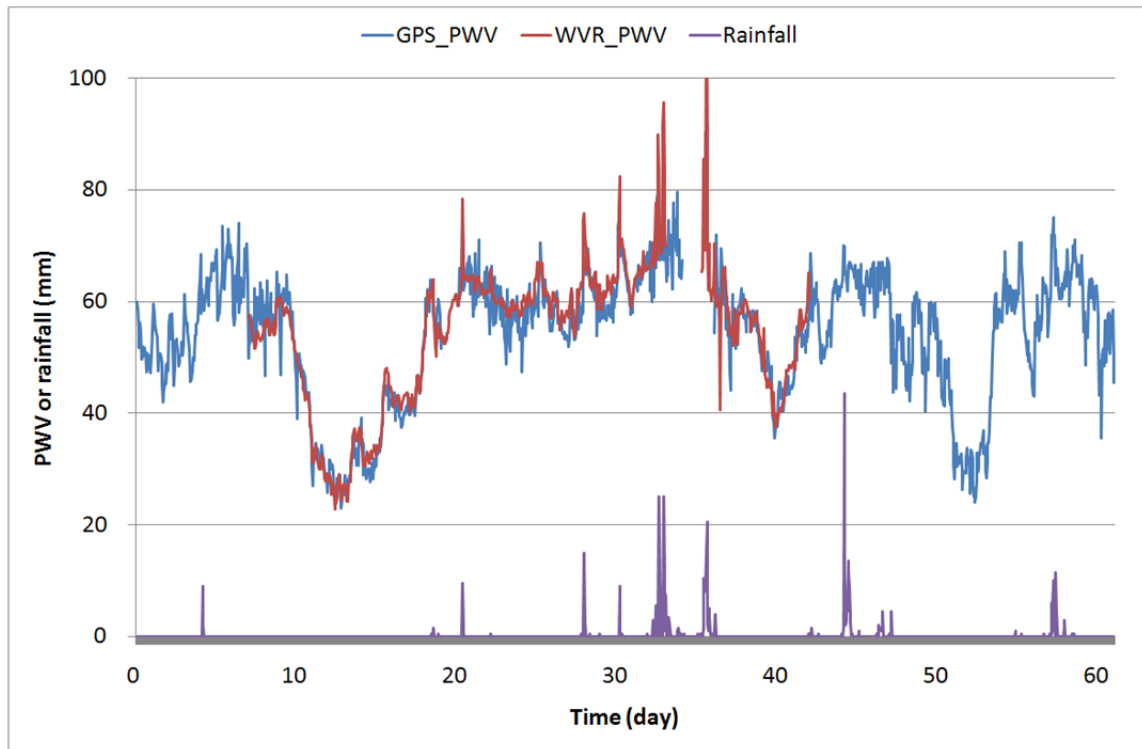


圖 5 北港站 GPS、WVR 及降雨量逐時變化圖

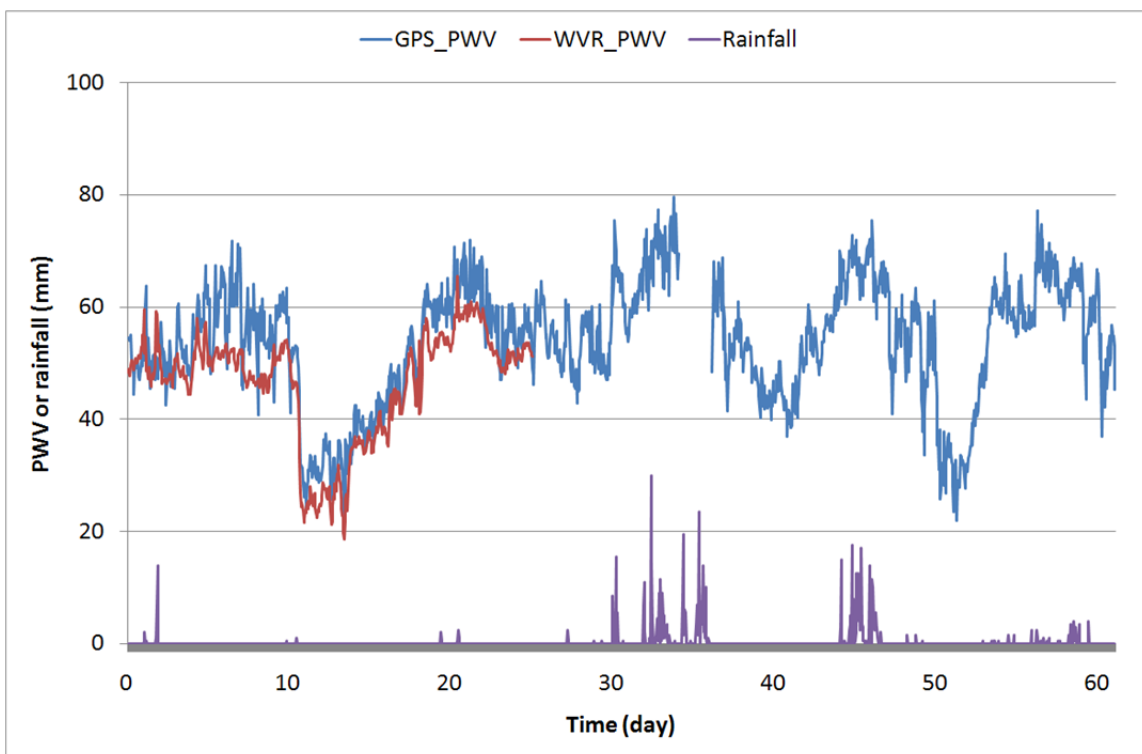


圖 6 墾丁站 GPS、WVR 及降雨量逐時變化圖

另一方面，為了進一步分析本研究計算數據之準確性，我們亦取得中央氣象局委託美國大氣研究中心（NCAR）處理好的 GPS 水氣資料來進行比對，但由於測站數目較多，故我們將 24 站分成西部地區、東部地區及中央山區三個部分。就可降

水量來說，大部份 PWV 在 60 mm 左右都有下雨跡象產生，如圖 7、8 所示。至於 NCAR 在各測站所估計的 PWV 值略低於本研究所計算的 PWV 值，儘管兩者處理數據之軟體都以 Bernese 計算，理論上呈現之數據應也一致；但由於 NCAR 在計算降雨量時所使用的解算方式，採用網型而非本研究所採用的長距離基線，故導致結果略為不同。假若以 WVR 的觀測成果當作標準，我們所計算的延遲量約有 1~2 mm 的低估，但 NCAR 對 WVR 的觀測值則有 4~6 mm 的低估現象，由此可知本研究與 NCAR 所評估的可降水量差異約為 2~4 mm。

值得一提的是在中央山區的誤差又更為明顯，如圖 9 呈現的中央山區 GPS 及降雨量逐時變化圖。SANL 站位在南投縣竹山鎮杉林溪，海拔高度有 1691 公尺，由圖中可看出延遲量平均值在 40 mm 就有下雨跡象，在高山地區所接收的衛星訊號都有這些現象，原因在於訊號所穿越的大氣層較平地來的少，所以造成的訊號延遲量也會比較小。有文獻曾提到延遲量與降雨量並無絕對關係（簡士詠，2009），但在物理意義上是有其相對之關係，因水氣在天空中屬於介質的一部分，當然需搭配其他外在條件，例如溫度、風向、地形等有利於水氣輻合的條件。就溫度來說在本研究所採用的 Hopfield 模式是假定高程每上升 1 km 其溫度下降 6.5°C ，就實際物理現象來說，水氣需透過降溫形成水滴；另外海拔高度也是影響因數之一，海拔越低之地區其大氣壓力越大，因此空氣密度越大會使訊號延遲量變大，即便在相同氣壓下，不同之溫度對水氣也會有所影響。

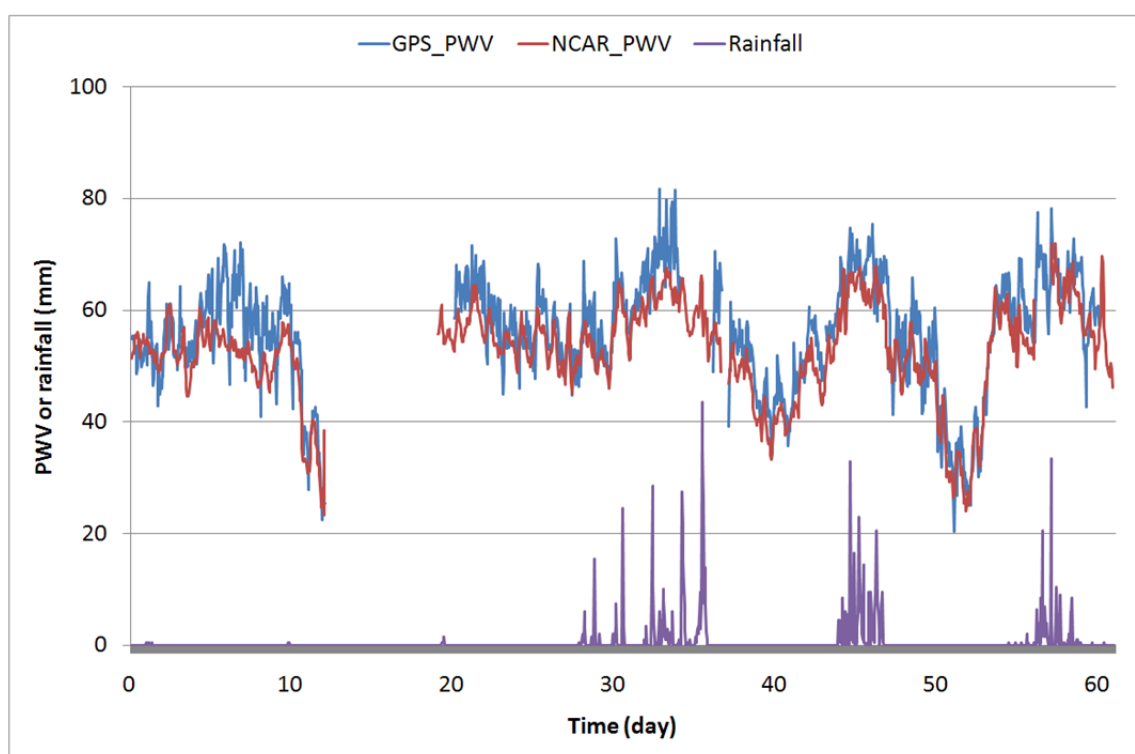


圖 7 西部地區 JLUT 站 GPS 及降雨量逐時變化圖

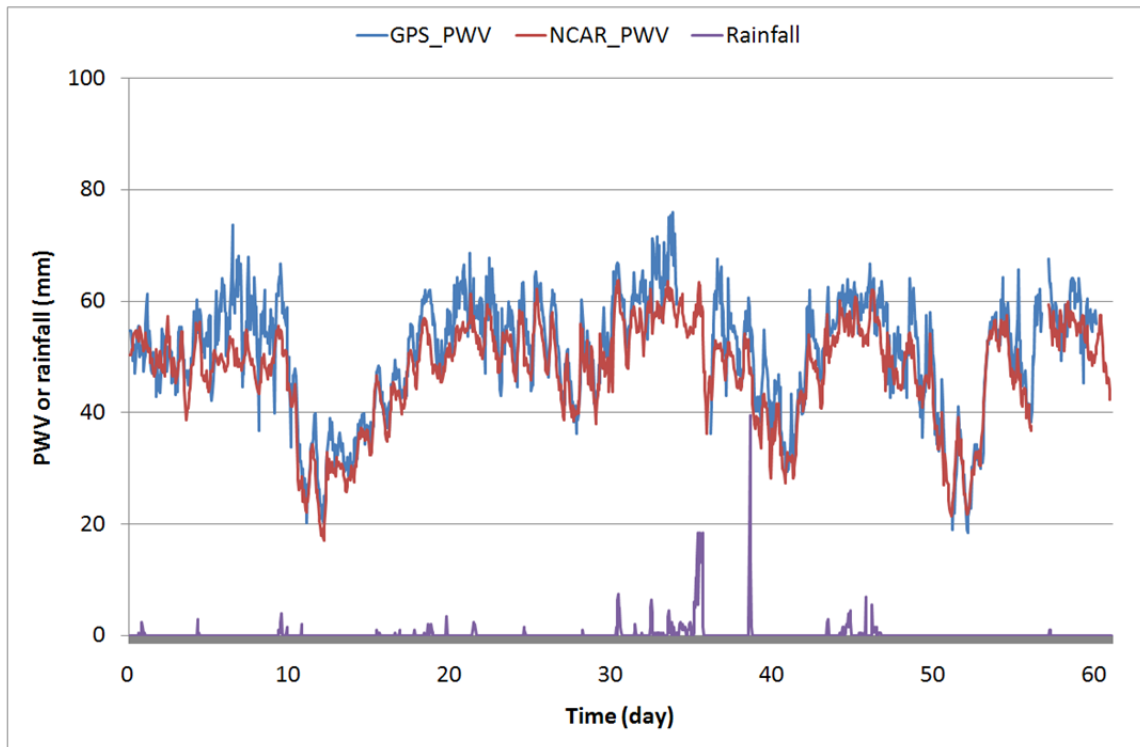


圖 8 東部地區 LONT 站 GPS 及降雨量逐時變化圖

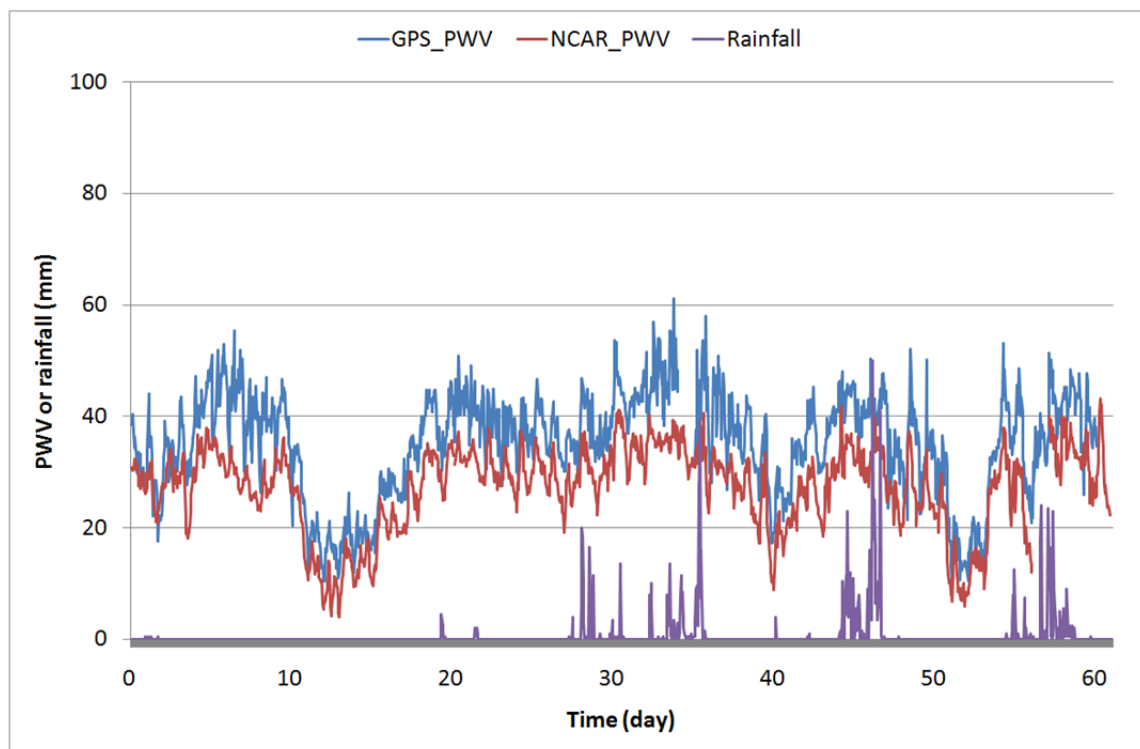


圖 9 中央山區 SANL 站 GPS 及降雨量逐時變化圖

(二) GPS 可降水量與降雨量之相關性分析

在這一小節中，我們先計算各測站 PWV 與 NCAR 所提供之 PWV 兩者的相關係數及平均誤差，再進一步探討 PWV 與降雨量的相關性。西部地區的相關係數在

0.87~0.96 之間，平均誤差在-0.83~6.48 mm 之間；東部地區的相關係數在 0.89~0.94 之間，平均誤差在 2.50~4.54 mm 之間；中央山區的相關係數在 0.70~0.90 之間，平均誤差在 2.21~10.09 mm 之間，成果彙整如表 1 所示。

表 1 各站降雨相關係數值

編號	雨量站	GPS 站	相關係數	平均誤差 (mm)	高程 (m)	未降雨 PWV 之平均(mm)	降雨時 PWV 之平均(mm)
西部區域							
W1	淡水	TANS	0.94	3.61	30	50.90	62.90
W2	土城	TSIO	0.94	6.48	63	53.84	67.21
W3	大肚	SALU	0.93	3.68	297	48.78	60.23
W4	北港	PKGM	0.96	-0.83	42	53.35	65.84
W5	白河	TUNS	0.90	4.29	54	53.20	65.42
W6	虎頭埤	SHWA	0.92	3.89	89	52.83	64.29
W7	屏東	PTUN	0.87	4.50	40	54.89	66.87
W8	岡山	CTOU	0.92	3.36	25	52.88	66.00
W9	春日	JLUT	0.89	3.47	30	54.37	66.46
W10	墾丁	KDNM	0.91	4.84	58	52.71	64.90
東部區域							
E1	福隆	FLON	0.94	3.10	41	50.11	61.83
E2	羅東	LTUN	0.93	3.48	28	55.61	58.44
E3	南澳	NAAO	0.91	2.64	26	52.77	61.47
E4	富世	CHNT	0.92	2.50	38	52.59	61.36
E5	東華	NDHU	0.91	3.92	57	53.74	60.90
E6	鹿野	FENP	0.90	4.28	39	53.08	60.19
E7	明里	DCHU	0.89	4.54	251	50.24	60.81
E8	豐濱	LONT	0.91	3.63	203	49.70	60.26
中央山區							
C1	大坪	WANL	0.70	2.21	370	46.52	50.72
C2	稍來	GUKW	0.81	10.09	192	52.75	63.92
C3	清流	DPIN	0.88	6.37	740	44.64	53.92
C4	溪頭	SANL	0.88	8.07	1691	34.20	41.08
C5	古夏	KASU	0.90	7.18	189	53.54	63.36
C6	三地門	SAND	0.89	4.81	203	51.85	63.82

此外，在西部地區 PWV 平均在 62.90~67.21 mm 皆有降雨跡象，東部地區則是在 58.44~61.83 mm 範圍之內，兩個區域的差異不大；中央山區的 PWV 就比較低一點，平均值在 41.08 mm 就有降雨跡象。再以各區的相關係數比較，北部地區相關係數比南部地區還高，而且距離日本主站的距離較南部為近；南部地區因基線長故計算之相關係數也較差，至於中央山區的相關係數則與基線長短無關，可能是由於山區的水氣變化較為劇烈，因此所計算出來的成果較差。由圖 10 所示得知，測站高

程越低之地區其 PWV 都較高，在海拔較低之地區 PWV 在 60 mm 左右，中海拔則在 50 mm 左右，所以高海拔的 SANL 站 PWV 平均值只要 41.08 mm 就有降雨現象，並可依各測站之數據推求線性回歸方程式。故後續若探討 PWV 與降雨量之相關性時，應進行高程梯度修正（類似於溫度梯度修正，高程每上升 1 km 溫度下降 6.5°C ）所獲得之成果將更為可靠。

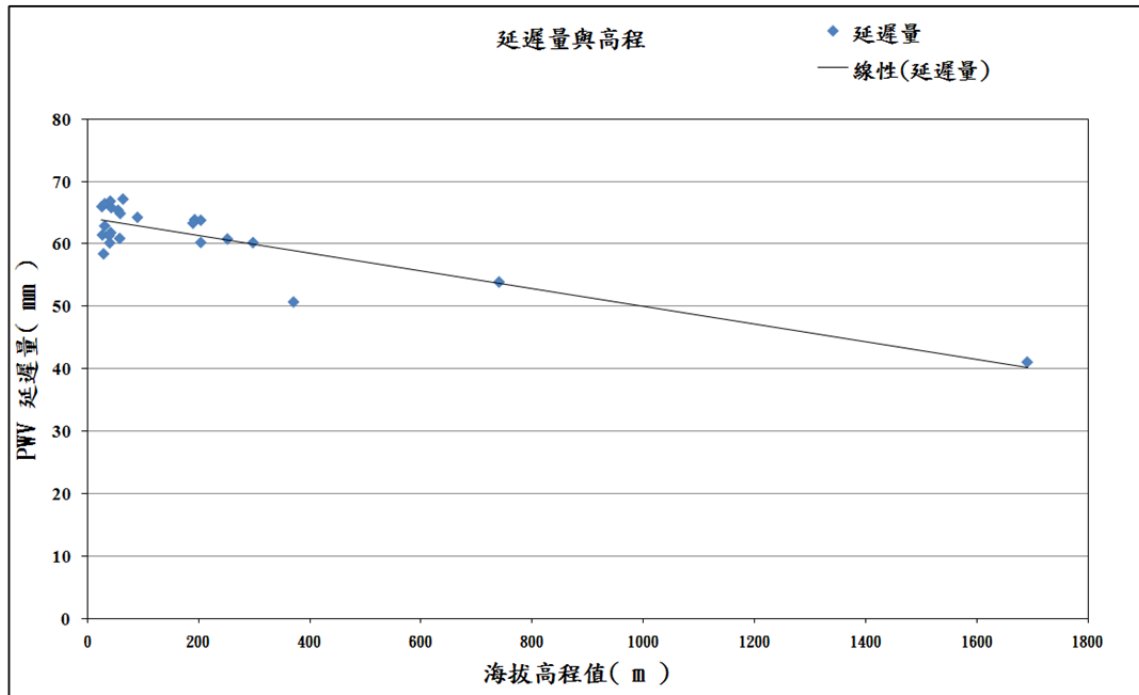


圖 10 延遲量與高程關係圖

五、結論與建議

- (一)由內政部地政司在 PKGM 站及 KDNM 站所建置的 WVR 與 GPS 觀測資料值，兩者 PWV 呈現一致的趨勢現象且相關係數都在 0.91 以上；由此數據再加上降雨量資料時可顯示，在 PWV 較高的情況下有明顯的降雨跡象，當可降水量維持在 60 mm 時其降雨機率明顯增加。
- (二)由本研究得知發生降雨時其 PWV 也都偏高，亦有部分案例可看到在降雨發生前 1 小時 PWV 呈現異常的偏高(Yeh *et al.*, 2014);但由於影響降雨的因素很多，並無法採用 PWV 單一因子來判別，但假若 PWV 持續維持偏高一段時間的情況下，其降雨機率也較平時為高。
- (三)本研究 GPS 可降水量與 WVR 作比較時發現，GPS 計算的 PWV 平均低估值在 1~2 mm 之間，但 NCAR 對 WVR 則有 4~6 mm 的低估現象，由此可知 NCAR 所評估的可降水量與我們略有不同。
- (四)北部地區相關係數比南部地區還高，在平地有降雨現象的延遲量平均值在 60 mm 左右，中海拔則在 50 mm 左右，高山地區可能與高程有關，平均在 40 mm

就有降雨現象。故後續若探討 PWV 與降雨量之相關性時，應進行高程梯度修正所獲得之成果將更為可靠。

參考文獻

- 王傳盛，2009，對流層延遲效應與全球定位系統高程定位之研究，國立中央大學太空科學研究所博士論文。
- 何人豪，2003，GPS 氣象中地面氣象模式之改進，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
- 張名漢，2007，應用海潮負載改正提昇 GPS 定位精度之研究，清雲科技大學土木與防災研究所碩士論文。
- 蔡亦證，2006，近即時估計台灣 GPS 追蹤站網之對流層延遲效應，國立宜蘭大學土木工程學系碩士論文。
- 劉智中，2008，福衛三號低層大氣溫度資料分析，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
- 簡士詠，2009，利用 GPS 訊號反演對流層天頂向濕延遲量之研究，清雲科技大學空間資訊與防災科技研究所碩士論文。
- 謝瀚德，2006，利用 GPS 訊號估算對流層斜向水氣含量之研究，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
- 經濟部，2008，台灣水文年報，經濟部水利署。
- Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, R. H. Ware, 1992, GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system, *Journal of Geophysical Research*, 97, 15787-15801.
- Hopfield, H. S., 1969, Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data, *Journal of Geophysical Research*, 74, 4487-4499.
- Janes, H. W., R. B. Langley, S. P. Newby, 1991, Analysis of tropospheric delay prediction models: comparisons with ray-tracing and implications for GPS relative positioning, *Journal of Geodesy*, 65(3), 151-161.
- Kleijer, F., 2004, Troposphere modeling and filtering for precise GPS leveling, Ph.D. Thesis, Department of Aerospace Engineering, Delft University of Technology.
- Liou, Y. A., Y. T. Teng, T. van Hove, J. C. Liljegren, 2001, Comparison of precipitable water observations in the near tropics by GPS, microwave radiometer, and radiosondes, *Journal of Applied Meteorology*, 40(1), 5-15.
- Marc, R. T., 2004, GPS based determination for the integrated and spatially distributed water vapor in the troposphere, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- Wang, C. S., Y. A. Liou, T. K. Yeh, 2008, Impact of surface meteorological measurements on GPS height determination, *Geophysical Research Letters*, 35(23), L23809.

- Yeh, T. K., J. S. Hong, C. S. Wang, T. Y. Hsiao, C. T. Fong, 2014, Applying the water vapor radiometer to verify the precipitable water vapor measured by GPS, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 25(2), 189-201.
- Yeh, T. K., J. S. Hong, C. S. Wang, C. H. Chen, K. H. Chen, C. T. Fong, 2016, Determining the precipitable water vapor with ground-based GPS and comparing its yearly variation to rainfall over Taiwan, *Advances in Space Research*, 57(12), 2496-2507.

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、英文篇章名。

二、作者（Author's Name）：

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

三、摘要（Abstract）：包括中、英文摘要。

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

參、正文（Manuscript）

一、稿件標題章節編號層次及順序

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

二、引述用例

（一）直接引述：

中文請用單引號「」；英文請用雙引號“ ”，並以括弧標示引述文獻頁次。

（二）引述中復有引述，或特殊引用時：

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

三、文獻引述用例

(一) 文中註明引述文獻

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

(二) 文中已有作者姓名時

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

四、圖版、插圖及表用例

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

五、公式寫法用例

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

肆、參考文獻(References)

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

中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」期刊 論文審查辦法

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

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

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

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

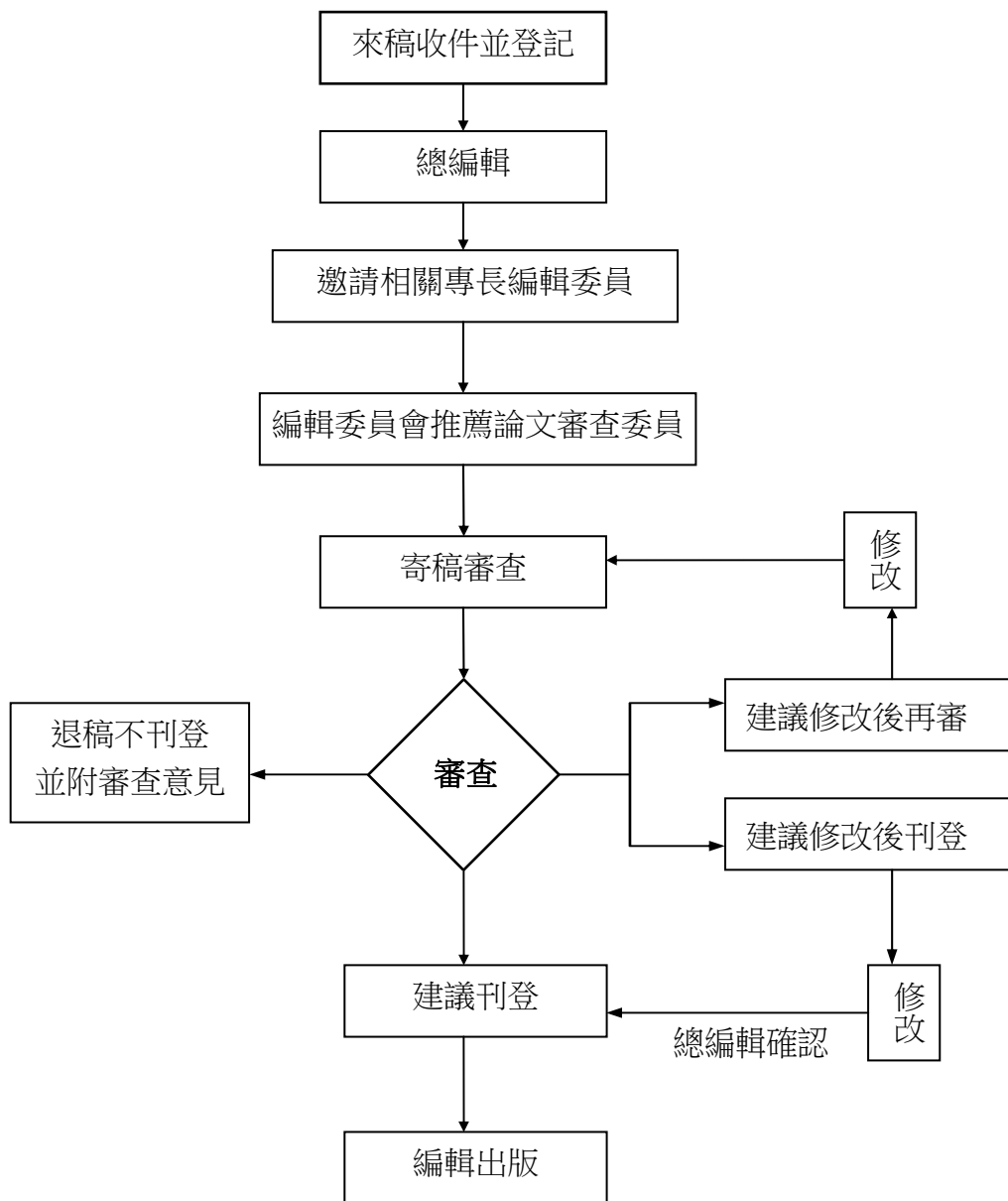
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

第四條 審查結果處理方式：

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

附註：再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施，修改時亦同。



論文審查流程圖

國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

編輯委員會

主任委員 楊 名 國立成功大學測量及空間資訊學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元 國立交通大學土木工程學系

林老生 國立政治大學地政學系

洪本善 逢甲大學土地管理學系

洪榮宏 國立成功大學測量及空間資訊學系

楊明德 國立中興大學土木工程學系

黃灝雄 國立政治大學地政學系

趙鍵哲 國立台灣大學土木工程學系

饒瑞鈞 國立成功大學地球科學系

總 編 輯 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

編 輯 陳鶴欽 內政部國土測繪中心

幹 事

趙荃敏 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

林以珊 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

發 行 人 黃榮峰

劉正倫

出 版 所 中華民國地籍測量學會

內政部國土測繪中心

國土測繪與空間資訊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第五卷第一期

民國一〇六年一月

Vol. 5, No. 1

January 2017

目 錄

CONTENTS

以 Drupal 整合多元網路地圖服務之網誌平台

劉婕昕、王聖鐸.....1

Integrating Versatile Web Mapping Services with Drupal for Designing a Web Blog Platform

Chieh-Hsin Liu, Sento Wang

利用自製紅色地圖輔助地形判釋：以太魯閣地區為例

蕭宇伸、郭耀駿.....29

Interpretation of Terrain Features by Self-Developed Red Relief Image Map: A Case Study in Taroko Area

Yu-Shen Hsiao, Yao-Chun Kuo

開源軟體 RTKLIB 解算 GPS 連續站資料精度：地球科學應用探討

范姜士彥、陳建良、鄭凱謙.....43

An Investigation of Earth Science Applications Using RTKLIB, an Open-Source Freeware

Shi-Yan Fan Jiang, Chien-Liang Chen, Kai-chien Cheng

驗證 GPS 衛星訊號反演之大氣可降水量

葉大綱、龐士鈞、蕭棟元、洪景山.....69

Verification on the precipitable water vapor of GPS satellite signals

Ta-Kang Yeh, Shih-Chun Pang, Tung-Yuan Hsiao, Jing-Shan Hong