

# 評估應用透水光達於台灣近岸海域水深測繪

王驥魁<sup>1\*</sup> 陳桂嘉<sup>2</sup> 林志交<sup>3</sup>

## 摘要

透水光達(Airborne Laser Bathymetry, ALB)為近年海域測繪領域之先進技術，其利用空載雷射掃瞄儀搭配慣性導航儀(IMU)及全球定位系統(GPS)，可快速且有效地獲得近岸海域(含潮間帶)的三維地形資料，故對於建立數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)以及分析地形之變化等相關研究實為一大幫助。本研究利用 Hawk Eye II 透水光達系統，評估台灣沿岸海域之水深資訊建置置成效，並以多音束掃瞄成果與其進行精度之分析。研究結果顯示，透水光達掃描系統與多音束掃瞄的測繪成果皆呈現一致性之趨勢，應用於近岸海域之測繪實屬可行。

關鍵詞：透水光達、水深測量

## 1. 前言

近岸海域測繪目的除了探測船隻航道之深淺，提供航道之障礙資訊，隨著工商業的發達與科技之進步，水深量測的功用已從單純的航道測深、港埠設施擴充及碼頭設計施工等海岸工程規劃，擴展到海域資源探勘、佈設海底管線與電纜、填海造地及海岸環境變遷、海岸防災等領域。

水深量測項目大致可包含基準點引測(平面控制點及高程控制點)、岸線量測(含潮間帶量測)、海上定位、水深量測及潮汐調查等。水深測量工具大多以漁船或遊艇，更淺的水域則以船筏搭載測深儀，或利用無人載具遙控船進行施測。隨著量測的設備和方法日新月異，水深量測已成為一門非常專業的整合性技術，使用的儀器也由傳統的直接量測，進步到衛星遙測、音響量測(Sound Navigation and Ranging, SONAR)和空載透水光達探測(Airborne Laser Bathymetry, ALB)等(Chust *et al.*, 2010; Gao, 2009; Pe'eri and Philpot, 2007; Purkis and Klemas, 2011; Wang *et al.*, 2011; Wang and Philpot, 2007)。衛星遙測須受軌道繞行時間與拍攝時之大氣狀況而無法提供即時性的資訊，或因衛星影像之空間解析

度不足而在應用上有其不便之處。音響測量則是普遍應用於水深測量，但受限於地形與海象因素，施測不易，且此類方式對水深僅數公尺之極淺水域的水深測量效率頗低，甚至因礁岩阻擋無法測量(Maune, 2007)。而空載透水光達具有效率性、快速、安全、高密度及高精度等優點，故可稱為新一代快速及精確之測量利器(Guenther *et al.*, 2000a)。

ALB 用於水深測量之概念始於 1960 年代，首部可商業運轉的系統起始於 1984 年之 Larson 500 系統(Maune, 2007)。空載透水光達系統於實際測量時可達之最大水深，係取決於施測範圍內水體透視度(通常以沙奇盤深度表示)。依據實測經驗，透水光達的可測深度約為沙奇盤透視度(Secchi Disk Visibility)的 2~3 倍。若水體的吸收能力較強，則透水光達可測深度約為 2 倍沙奇盤深度，反之，若水體的散射能力較強，則透水光達可測深度約為 3 倍沙奇盤深度(Guenther *et al.*, 2000b; Maune, 2007)。若能於夜間施測，則因為感測器不受太陽光線影響，感測訊號具有較高的訊噪比(Signal-to-Noise Ratio)，亦可達到較大之可測深度。爰此，本研究希冀運用空載透水光達技術之優勢，提升近岸海域地形測量之施測效率，評估此技術於台灣地區近岸海域之可

<sup>1</sup> 國立成功大學測量及空間資訊學系 副教授

<sup>2</sup> 國立成功大學測量及空間資訊學系 研究助理

<sup>3</sup> 中興測量有限公司光達系統室 測量技師

\*通訊作者，電話：06- 2757575 ext.63825，E-mail: leepf@ntu.edu.tw

收到日期：民國 100 年 11 月 11 日

修改日期：民國 100 年 12 月 10 日

接受日期：民國 100 年 12 月 27 日

行性，提供未來相關水深量測之重要參考。

## 2. 材料與方法

### 2.1 測區與飛航掃瞄規劃

本研究共三個測試區域，包含東北角、墾丁與台東海域，圖 1 至圖 3 分別為為研究測區位置圖。東北角測區為東西走向，西起基隆澳底，東至鼻頭角，規劃掃瞄面積  $49 \text{ km}^2$ ，共 28 條航線(其中包含 2 條垂直航線)。台東測區為南北走向，北起台東縣成功鎮，南至台東縣東河鄉，規劃掃瞄面積  $45 \text{ km}^2$ ，共 19 條航線(其中包含 1 條垂直航線)。墾丁測區包含恆春半島東半部，由墾丁青年活動中心至屏東縣滿州鄉呷呷連，規劃掃瞄面積  $59 \text{ km}^2$ ，共 78 條航線(因航線互相垂直，故未另設垂直航線)。

除東北角測區，部分航線的航高為 500 m 離海水面高，大部分航線的飛航高度皆為 400 m，因此各航線之間距約為 230~300 m，航線帶寬約為 270~330 m，重疊帶寬為 30 m。載具飛行速度為 150 knot，單航線的海域測點間距至少  $3.3 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$ ，陸域則可達  $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ 。本研究由墾丁開始施測(2008 年 8 月 24~27 日)，中間轉至台東測區(2008 年 8 月 26 日)，最後至東北角測區(2008 年 8 月 29 日至 9 月 1 日)。

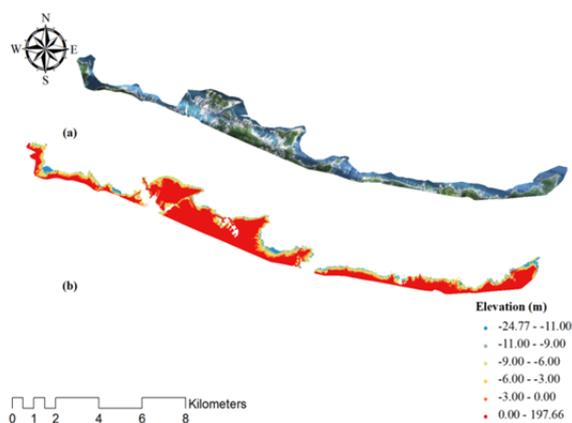


圖 1 東北角測區(a) 鑲嵌影像，(b) 陸域與海域數值地形圖

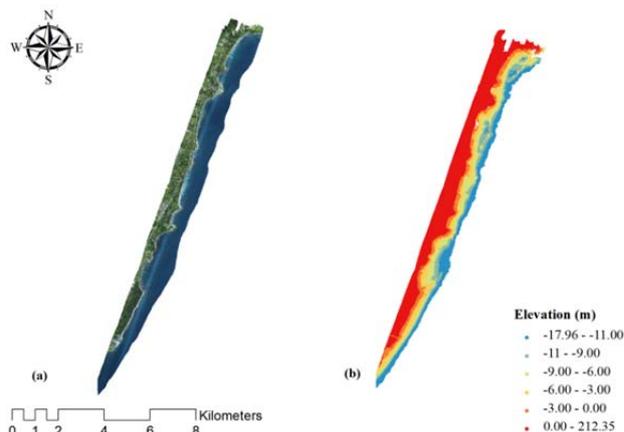


圖 2 台東測區，(a) 鑲嵌影像，(b)陸域與海域數值地形圖

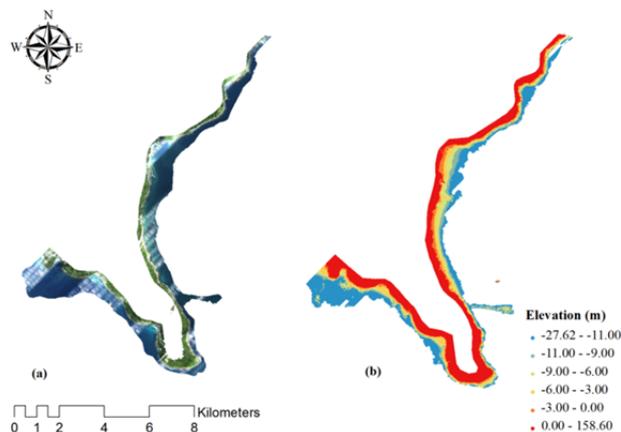


圖 3 墾丁測區，(a) 鑲嵌影像，(b)陸域與海域數值地形圖

### 2.2 Hawk Eye 透水光達系統

透水光達系統包含三個主要的次系統，分別為雷射測距儀(Laser Ranging)、全球定位系統(GPS)以及慣性系統(IMU)。雷射測距儀之乃是藉由紀錄雷射光束發送與接收之時間(time-flight)，量測水面與水底與光達系統之距離。

Hawk Eye 空載透水光達系統使用 532 nm 綠光波段的脈衝波，用於量測水底位置，另使用 1064 nm 的紅外線波段，用於量測水面位置與陸域高程資訊。綠光與紅外線波段的掃瞄頻率分別為 4 kHz 與 64kHz。由於綠光波段的水面訊號強度容易受環境因素影響(水面浪花、海鳥等)，而產生劇烈變動，因此，透水光達系統將綠光波段以  $20^\circ$  的入射角射向水面，以增加水面訊號的穩定度，以求得正確的

水面位置(如圖 4 所示)(Guenther *et al.*, 1996)。

本次測試使用的 Hawk Eye 系統搭載於 Aero Commander 690 定翼機, 通常飛行速度為 150 knot (290 km/hr.) , 陸域的平面與高程均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)可分別達 0.25 m 與 0.50 m ; 水域的平面與高程均方根誤差則分別為 2.5 m 與 0.25 m 。此次的定位系統為 Applanix POS AV410 , 並有一具二百萬像素的數位相機紀錄水域狀況與用於生產正射鑲嵌影像(mosaic image) , 如圖 1(a)、圖 2(a)、圖 3(a)所示。

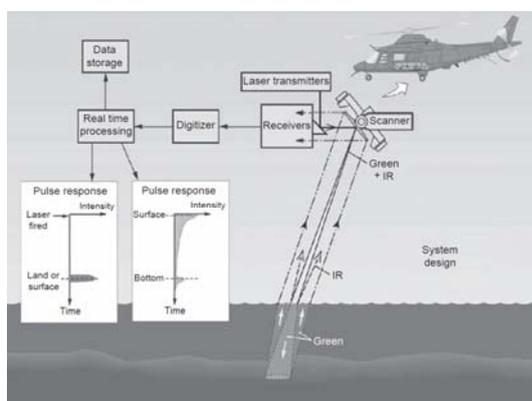


圖 4 透水光達掃描方式示意圖(Arumugam, 2008)

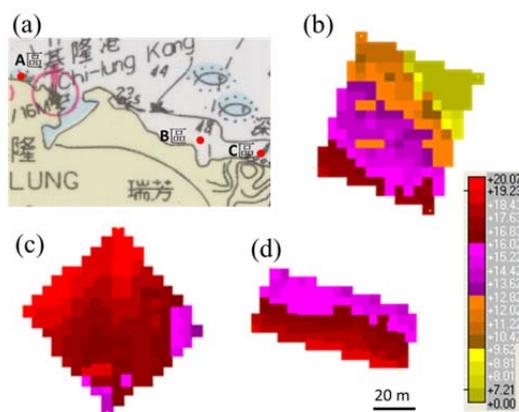


圖 5 (a)東北角測區海域控制面分佈。(b)A 區, (c)B 區, (d)C 區

## 2.3 透水光達資料後處理

水深實測值必須扣除因潮差所導致之水深差值, 故本研究除利用中央氣象局後壁湖潮位站資料進行差值換算之外, 亦自行設置驗潮站以供換算光達點雲資料之用。擺設之地面基站及潮位站坐標均利用北港衛星追蹤站進行平面及高程坐標之檢測

計算, 所得坐標以上述基準提供飛機軌跡計算。

由於海底地形之點雲資料可能包含許多不合理點雲如, 水面船艦或水下反射的雜訊而發生類似陸域光達之不連續面狀況, 因此錯誤點濾除需配合彩色正射影像加以輔助進行, 而完成後方可獲得不規則之透水光達點雲成果。此外, 因獲取之空載透水光達資料尚為 WGS84 之橢球高, 故水下地形成果將以臺灣大地起伏模式(黃金維, 2003)進行高程基準轉換, 並以測區之每日觀測潮位資料所換算的 TWVD2001 正高成果進行兩者間的高程值比較, 以確認橢球高轉換至正高系統之正確性。

## 2.4 透水光達資料後處理

本研究分別在東北角與墾丁測區選取平緩底床, 作為海域檢核面(Sea Control Area, SCA), 用於驗證 Hawk Eye 透水光達的測深精度。東北角海域檢核面資料為三個約 40 m × 40 m 的方形範圍, 取自內政部提供的海域基本圖, 其位置示於圖 5。墾丁測區的海域檢核面資料則以 Kongsberg EM-3002 多音束聲納測深系統, 搭配 Trimble DSM 232 GPS 定位系統與 Applanix POS MV 320 慣性導航儀, 並配合自設的 GPS 基站以差分運算進行定位, 於 2008 年 8 月 27~29 日獲取二個 200 m × 100 m 帶狀區域水深資料, 並生產為 2 m 網格的水下數值高程模型, 墾丁掃描作業位置如圖 6 所示之 A、B 區。

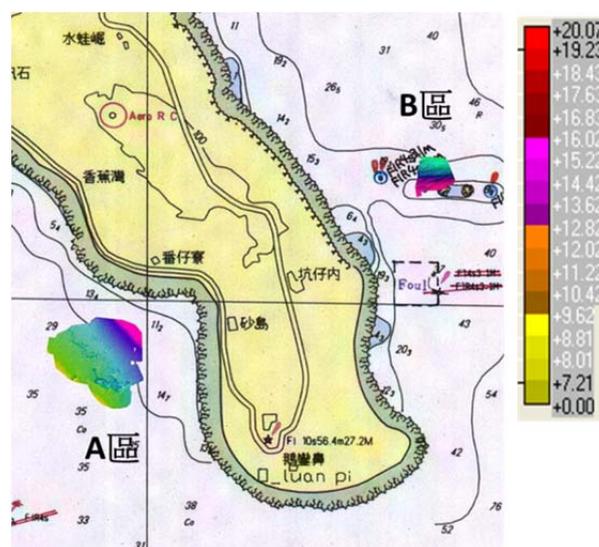


圖 6 墾丁測區海域控制面(A、B 區)

### 3. 結果與討論

#### 3.1 透水光達掃描成果

經由濾除不合理之點雲作業後，三個測區所獲得之不規則透水光達點雲成果如圖 7~9 所示。由點雲成果圖發現，利用透水光達進行海域測繪之可測深度，各測區分別為，東北角測區 12 m，台東測區 16 m，墾丁測區約為 26 m。此三個測區於施測時段，使用 MDOIS 影像推估之沙奇盤深度分別為，東北角測區 10.5 m(8 月 29 日)，台東測區 10.2~11.2 m(8 月 26 日)，墾丁測區 7.1~9.8 m(8 月 25、26 日)(王驥魁、等，2009)。顯示墾丁測區之測深效率最高，可達 2-3 倍沙奇盤深度，台東測區次，約 1.5 倍沙奇盤深度，東北角則僅約 1.2 倍沙奇盤深度。

#### 3.2 內部精度分析

本研究利用多條航帶重疊處分別於組三角網格(TIN)後進行高差比對，以平均差量(Mean Error)及平均絕對差量(Mean Absolute Error)表示航帶間之內部精度成果。圖 10-12 分別為東北角、台東、墾丁測區之各航線重疊處誤差分析成果，東北角之平均絕對差量為 0.287~0.336 m，台東測區之平均絕

對差量為 0.3~0.22 m，墾丁測區為 0.229~0.459 m。各測區之平均差量分佈為，東北角 -0.096~0.078 m，台東測區 -0.101~0.173 m，墾丁測區為 -0.244~0.415 m。

#### 3.3 外部精度分析

將東北角測區 SCA 資料(圖 5 中，SCA 1、SCA 2 及 SCA 3)與透水光達成果進行比對，所有 SCA 點與透水光達系統於海域之成果進行高差比對，其成果統計如表 1，平均值及均方根差各為 0.32 m、0.11 m、0.1 m 及 0.63 m、0.99 m、0.7 m。

墾丁測區之 SCA 成果如圖 6 所示。其中，由於 B 區水深較深，透水光達點雲數量稀疏，無法進行精度分析，故本研究僅針對 A 區之透水光達測繪成果進行精度驗證。經由統計分析兩者之誤差量(表 1)則顯示，平均誤差為 -0.92 m、均方根差為 0.967 m。由於多處多音束水深點均已超過透水光達測區之可測深度，而 A 區又受限於可供比較點屬水深較深之區域，且該區域之透水光達資料含有較多雜訊，故進而影響兩者比對之成果。

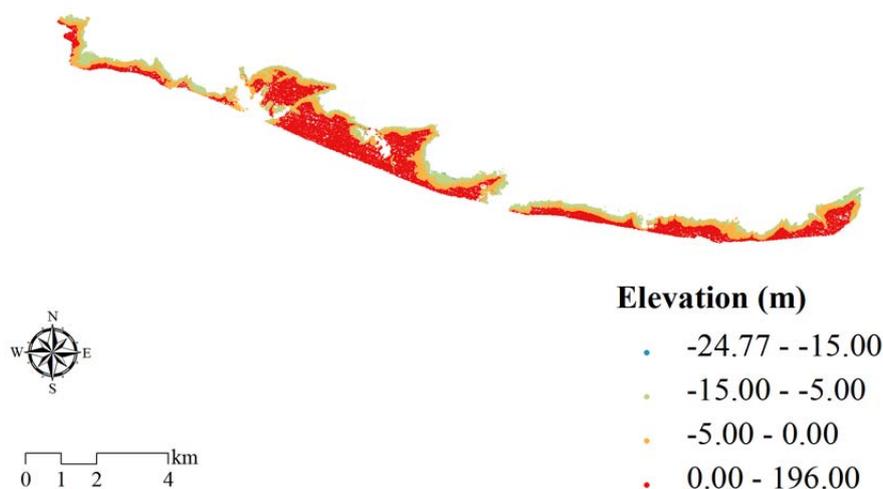


圖 7 東北角測區透水光達點雲成果

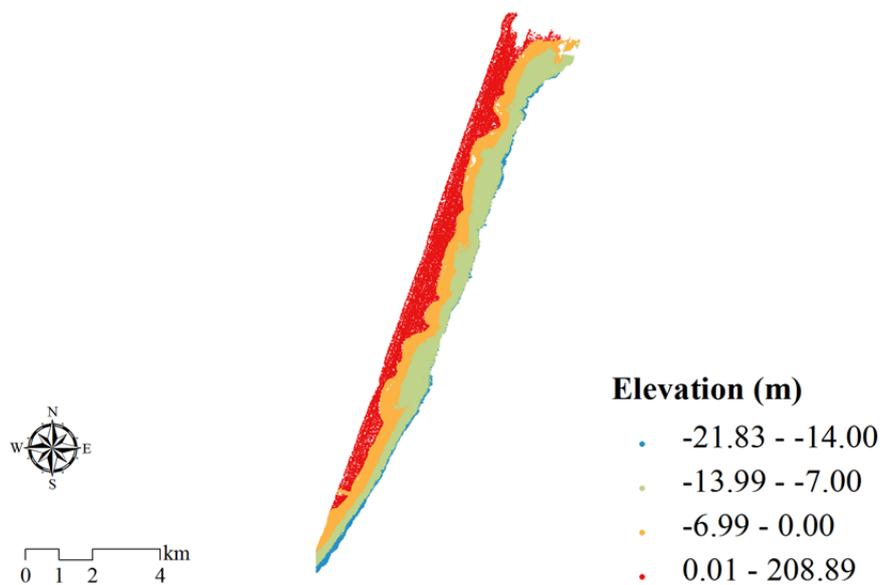


圖 8 台東測區透水光達點雲成果

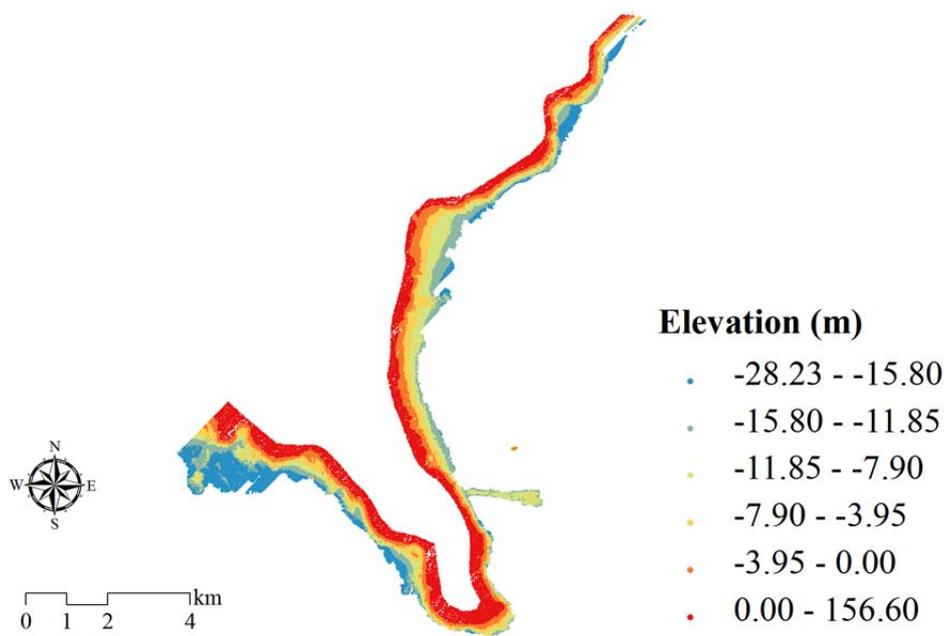


圖 9 墾丁測區透水光達點雲成果

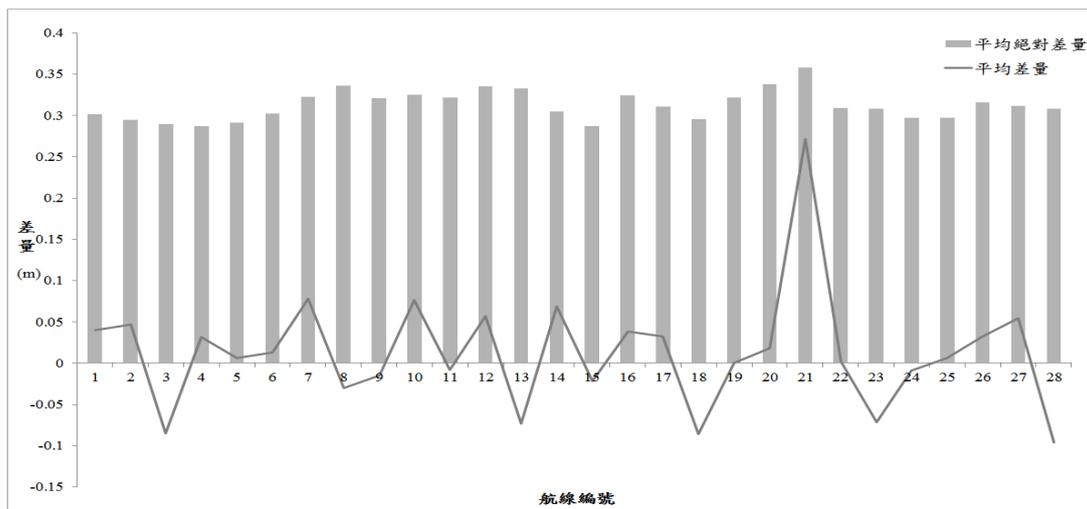


圖 10 東北角測區重疊航線處誤差分析圖

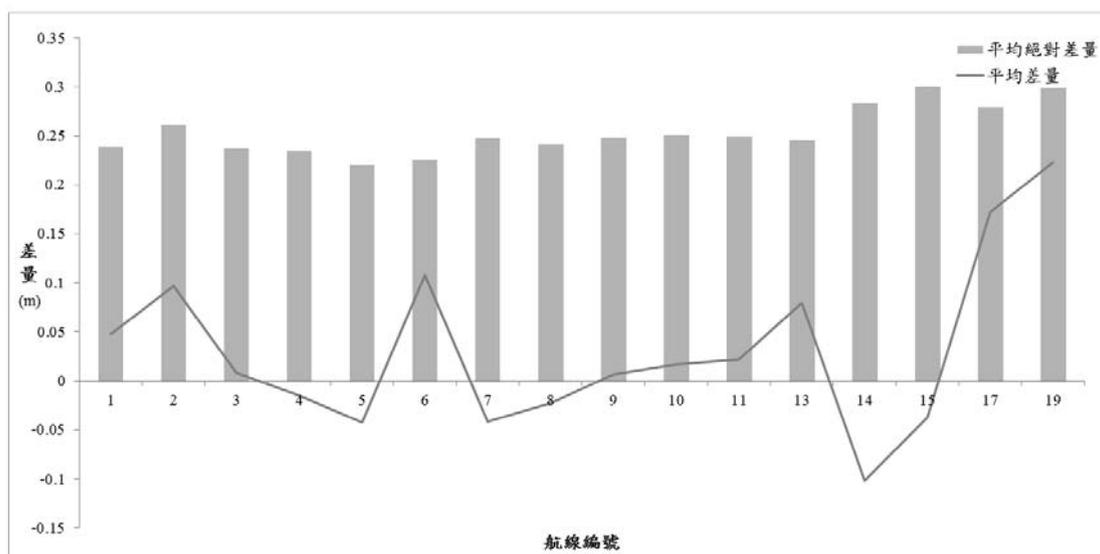


圖 11 台東測區重疊航線處誤差分析圖

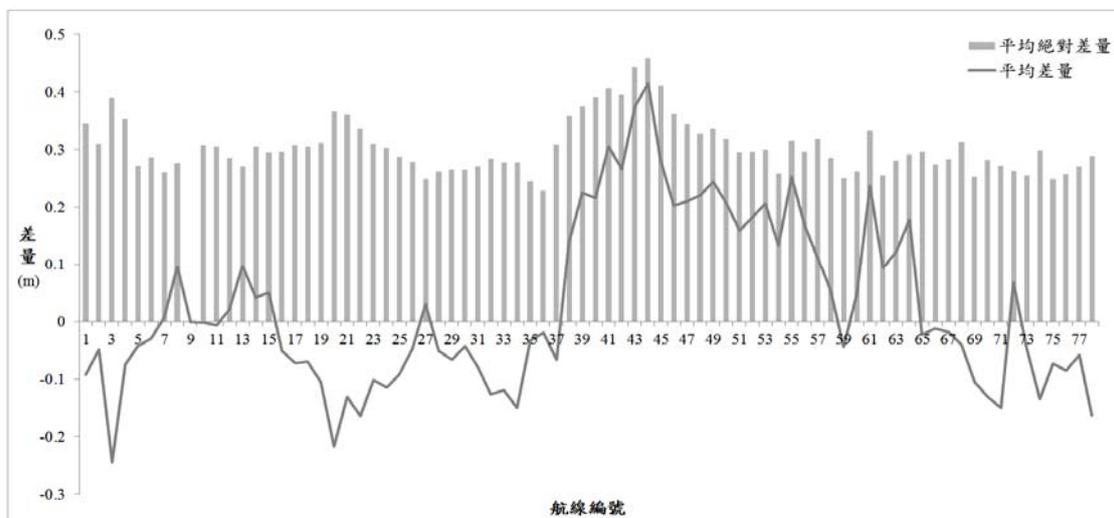


圖 12 墾丁測區重疊航線處誤差分析圖

表 1 SCA 比對精度分析表

	東北角		墾丁	
	SCA 1	SCA 2	SCA 3	SCA A
平均差量(m)	+0.321	-0.112	-0.133	-0.925
最小差量(m)	-1.160	-4.040	-2.120	-2.210
最大值差量(m)	+3.390	+1.340	+1.610	0.19
平均絕對差量(m)	0.518	0.714	0.639	0.925
均方根差(m)	0.706	0.994	0.790	0.967

## 4. 結論

依據本研究以 Hawk Eye II 系統測試於東北角、台東、墾丁三測區顯示，透水光達測深效率以墾丁測區最佳，可達 26 m(約 2~3 倍沙奇盤深度)。在同一地區之透水光達測繪成果與多音束掃瞄成果呈現相同之趨勢，而與沙奇盤透視度相比亦有良好之測深成果。因此可依據，利用長時間歷史 MODIS 資料推估台灣海域(約離岸二公里)之沙奇盤透視度成果(王驥魁、康哲銓，2009)，進一步評估應用透水光達於台灣近岸海域之成效。此 MODIS 推估成果指出台灣沿岸海水透視度具空間變化，以東部海域之透視度較佳，南部海域次之，澎湖以北的台灣海峽海域則最差；時間變化方面，除東部海域透視度與季節相關性不高，各海域在冬季最差，約在春末時(5月)可達最大之沙奇盤深度(如西部海域為 7 至 10 m)。考量沿岸二公里內的海水透視度變化，應會受河流輸沙、海底底質再懸浮之影響，沿岸二公里內的海水透視度數值應會較 MODIS 資料之推估數值小，透水光達之測深效率亦受影響。但仍應可預見，除台灣西部海域，透水光達施測時若能掌握海水透視度之季節變化，仍可應用於台灣(含澎湖)各海域。

## 致謝

感謝內政部提供經費，使本研究順利完成，特予致謝。

## 參考文獻

- 王驥魁、康哲銓，2009。利用 MODIS 影像推估台灣沿岸海水透視度，航測及遙測學刊，14：317-332。
- 黃金維，2003。台灣地區大地起伏模式精度評估，內政部。
- Arumugam, D., 2008. MOI Taiwan Bathymetric LiDAR - Hawk Eye II. 「應用透水光達技術於近岸海域測繪工作」教育訓練課程。
- Chust, G., Grande, M., Galparsoro, I., Uriarte, A., Borja, A., 2010. Capabilities of the bathymetric Hawk Eye LiDAR for coastal habitat mapping: A case study within a Basque estuary. *Estuar Coast Shelf S* 89:200-213.
- Gao, J., 2009. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. *Prog Phys Geog* 33:103-116.
- Guenther, G. C., Brooks, M. W., LaRocque, P. E., 2000a. New capabilities of the "SHOALS" airborne lidar bathymeter. *Remote Sens Environ* 73:247-255.
- Guenther, G. C., Cunningham, A. G., LaRocque, P. E., Reid, D. J., 2000b. Meeting the Accuracy Challenge in Airborne Lidar Bathymetry, EARSeL, Dresden.

- Guenther, G. C., Thomas, R. W. L., LaRocque, P. E., 1996. Design Considerations for Achieving High Accuracy with the SHOALS Bathymetric Lidar System, in Laser Remote Sensing of Natural Waters: From Theory to Practice: CIS Lelected Papers.
- Maune, D. F., 2007. Digital elevation model technologies and applications : the DEM users manual, 2nd ed. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Md.
- Pe'eri, S., Philpot, W., 2007. Increasing the existence of very shallow-water LIDAR measurements using the red-channel waveforms. Ieee T Geosci Remote 45:1217-1223.
- Purkis, S. J., Klemas, V., 2011. Remote sensing and global environmental change. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, N.J.
- Wang, C. K., Philpot, W., Kim, M., Lei, H. M., 2011. A Monte Carlo study of the seagrass-induced depth bias in bathymetric lidar. Opt Express 19:7230-7243.
- Wang, C. K., Philpot, W. D., 2007. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters. Remote Sens Environ 106:123-135.

# Evaluation of Bathymetric LiDAR for Taiwan Coastal Water

Chi-Kuei Wang<sup>1\*</sup> Kuei-Chia Chen<sup>2</sup> Chih-Chiao Lin<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Airborne Laser Bathymetry (ALB), enabled by the combination of laser scanning system, inertia measurement unit (IMU), and global positioning system (GPS), is a recent achievement for coastal water mapping. It is especially suitable for generating the digital terrain model and monitoring the change of the tidal area. In this study, the Hawk Eye II system was employed for two coastal areas of Taiwan. And, the results were evaluated against independent multi-beam surveys. It shows that the bathymetry obtained by Hawk Eye II is consistent with that by multi-beam surveys.

**Keywords:** Airborne Laser Bathymetry, Hydrography

---

<sup>1</sup> Associate Professor, I Department of Geomatics, National Cheng Kung University

<sup>2</sup> Research Assistant, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

<sup>3</sup> Professional Surveying Engineer, Chung-Hsing Surveying Co., Ltd.

\* Corresponding Author, Phone: 886-6- 2757575 ext.63825, E-mail: chikuei@mail.ncku.edu.tw

Received Date: Nov. 11, 2011

Revised Date: Dec. 10, 2011

Accepted Date: Dec. 27, 2011