

光達資料在臺灣海岸地形變遷上的應用

陳映璇¹ 沈淑敏^{2*} 詹瑜璋³ 謝有忠⁴

摘要

光達技術生產的高精度數值地形模型，是監測海岸地形變遷的利器。我國已於近年引進光達技術，雖然尚未建置專為海岸監測而產製的規範，但所生產之高精度 DTM，仍為海岸變遷研究的寶貴資料，須善加利用。本文回顧國際上如何應用光達資料在海岸變遷研究上，討論臺灣早期圖資中哪些可能和光達資料套疊比對，並以淡水河口南岸八里海岸為樣區，透過實作探討光達資料在監測海岸地形變遷上，有哪些限制或需注意之處。本研究結合 1980 年代之 1:1000 海岸像片地形圖和既有之光達資料，並以高程濱線指標為濱線定義，進行濱線變化及地形變化量的探討。比對結果顯示，該段海岸濱線位置在這 20 年期間，有 53-65 公尺不等的變動量。以兩種資料直接或間接生產之 DTM，套疊進行地形起伏變化量時，則需特別注意因兩種資料的測量、製作方式不同，所產生的問題。簡而言之，臺灣海岸現有光達資料雖然大多只有一期，但應可和海岸像片地形圖或現場實測斷面所生產的 DTM 進行套疊比對，量化海岸地形之變遷量。展望未來，筆者期盼政府相關單位應儘速建置濱線製圖(shoreline mapping)的規範，包括從現場拍攝、資料生產到濱線指標的訂定，才可能為建立海岸地形(或濱線)變遷監測，奠定堅實的基礎。

關鍵詞：光達、海岸像片地形圖、高程濱線指標、數值地形模型

1. 緒論

海岸位於海水與陸地的交界處，受到不同營力的影響而具有高度變動性，因此掌握濱線進退和灘沙侵淤變化，可說是海岸經營管理的基本工作。海岸地形變遷研究所採用的素材，包括從現場測量地形斷面，到套疊比較歷史地圖、航空照片及衛星影像等圖資，近年更隨著數位技術持續發展，各式遙測產品也運用在海岸變遷研究上，例如，多/高光譜影像(Multispectral / Hyperspectral imaging)、微波探測器(Microwave sensors)及空載光達(Airborne LiDAR)等都被採用，作為海岸地形變遷研究的測量工具及研究素材(Boak and Turner, 2005)。尤其空載光達可以快速製作大範圍高精度數值地形模型，若能結合同步拍攝的影像資料進行分析，具有很高

的應用價值(Ackermann, 1999)。臺灣於近年引進空載光達技術，應用在環境監測及地質構造調查等方面(經濟部中央地質調查所，2005)，也曾應用在海岸地形短期變遷的研究(經濟部水利署，2005；徐偉城等，2005)。

環境變遷的研究一向受限於既存的資料，因為「過去的現場」難以重建，變遷研究又希望盡可能回溯到最久以前情形，所以常使用到不同技術所生產之資料，故需注意資料間的結合比較問題。此外，海岸相對於其他陸域環境具高動態性，而濱線製圖過程從拍攝到判釋的過程有更多需注意的細節。目前臺灣海岸地區大多只有一期的光達資料，若欲進行較長時期海灘濱線進退或沙丘體積變化的探討，勢必要結合早期的圖像資料。例如，空載光達生產的資料可否與 1980 年代出版的 1:1000 海岸像片地

¹經濟部中央地質調查所 研究助理

²國立臺灣師範大學地理學系 副教授

³中央研究院地球科學研究所 副研究員

⁴經濟部中央地質調查所 技佐

*通訊作者，電話：886-2-77341634, E-mail: smshen@ntnu.edu.tw

收到日期:民國 98 年 06 月 22 日

修改日期:民國 98 年 09 月 23 日

接受日期:民國 98 年 10 月 21 日



形圖，進行疊圖計算分析。我國目前已有的空載光達測量成果，雖然並非專為海岸監測目的製作，但仍是海岸變遷研究的寶貴資料，需善加利用，本文以淡水河口南側的海岸為例，說明該筆空載光達資料應用在較長期濱線變遷和海灘或沙丘體積變化上的應用和限制。

2. 空載光達簡介與海岸變遷研究之應用

2.1 空載光達簡介

光達 (LiDAR)或稱雷射掃描儀(Laser Scanner)，主要利用雷射光束發射/接收的過程，測量物體的精確位置。將雷射系統搭載於飛行航具，並配合全球定位系統及慣性導航系統(INS)，即為空載光達(Airborne LiDAR)，根據接收回來的資料進行解算，便可以獲得地面區域的三維資料(x, y, z)(Wehr and Lohr, 1999)，使地形高程測量作業快速而準確。

為了確保光達資料的精確性，測量之前必須先制訂測量規範，如系統率定、飛行方向及天氣等等(經濟部中央地質調查所，2005)。美國於 1990 年代末開始應用空載光達進行海岸區域的監測工作(Morton *et al.*, 2004; Morton and Miller, 2005; Hapke *et al.*, 2006)，為了避免海岸的自然動態現象影響測量結果，美國針對海岸區域的測量任務，另外制訂了一套標準化流程，包括季節、潮汐、風浪等自然現象，都在測量規範之列(Leigh and Hale, 2005)。

2.2 空載光達在海岸變遷上的應用

目前應用空載光達測量成果於海岸變遷的研究，可以略分為：1、濱線繪製研究，2、地形變遷研究，以及3、結合光譜影像進行土地利用辨識等。由於本文主要目的在於變遷方面的應用，因此文獻回顧以第 1、2 項為主，各分述如下：

2.2.1 濱線繪製

濱線繪製(shoreline mapping)是數化不同時期的濱線位置，並且加以套疊分析的過程，用以觀察海岸區域的侵蝕/堆積情形。濱線最廣義的定義為「海水與陸地的交界線」(Webster, 1998)，然而由於海岸環境的高度動態性，濱線的位置容易受到營力影響而時常變動，因此進行濱線繪製時，需清楚說明所選擇的濱線指標(shoreline indicator，即濱線的操作性定義)。美國地質調查所(U. S. Geological Survey, USGS) 為了長期監測濱線的變遷情形，對濱線指標有詳細的界定，對濱線變遷的計算方式，也都有明確的作業流程與規範(Leigh and Hale, 2005, Thieler *et al.*, 2005)。

濱線指標可以分為特徵濱線指標(proxy-based shoreline indicator)及高程濱線指標。特徵濱線指標以一特徵(proxy)作為判釋標準，如多年生植物生長前緣(即為穩定植物線)，因此該類指標常需要利用肉眼來判釋濱線所在位置；高程濱線指標(datum-based shoreline indicator)則是指以高程資料為基礎，配合潮汐資料擷取濱線，如平均高潮水位線(mean high water line) (Boak and Turner, 2005)。

利用空載光達資料擷取的濱線，屬於高程濱線指標，通常是研究者以其他資料作為參考，計算出某特定高程為濱線指標，如利用潮汐統計資料計算出平均水位的高程資訊，並用來擷取平均高水位線。常見的擷取方法有兩種：其一為等高線法(contouring method)，直接從空載光達產製的數值地形模型，擷取該特定高度之等高線為濱線(Harris *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2007; Robertson *et al.*, 2004)；其二是沿著垂直海岸的剖線，擷取空載光達點雲資料，再利用線性回歸計算出濱線高度的位置(圖 1)，此法由 Stockdon *et al.* (2002) 提出，稱為縱深剖線擷取法(cross-shore profile method) (以下簡稱剖線法)。



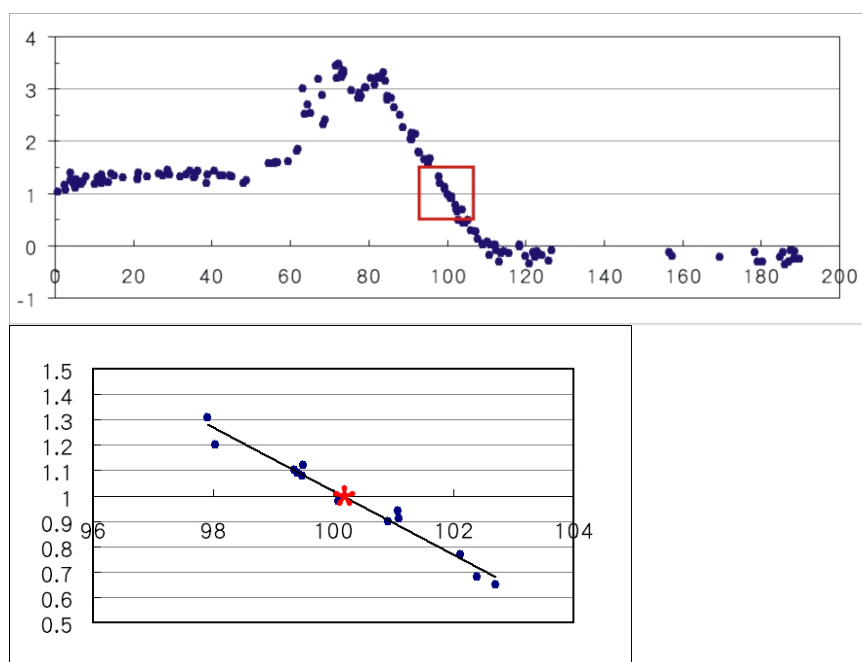


圖 1 縱深剖面線擷取法示意圖。上圖為研究樣區某處海岸剖面線擷取出的點雲資料，紅框處放大為下圖；下圖為目標高程正負 0.5 公尺範圍間，所擷取出的點雲資料，再根據下圖點雲資料計算回歸線，回歸線與目標高程的交界處即為 1m 濱線所在位置(圖中紅色星字記號處，圖中數字單位皆為公尺)。

2.2.2 地形變遷研究

空載光達可以迅速獲得精確的地面高程資料，如果有多期地面高程資料，極有助於了解海岸地形如海灘、沙丘及海崖等地形的體積變化量。這類研究是先將各期地面 X, Y, Z 資料製作成網格資料，再計算各個時期的網格高度變化量。例如 Zhang *et al.* (2005) 利用 Floyd 颶風前後拍攝的空載光達資料，探討海灘體積的變化；Young and Ashford (2006) 利用 1998、2004 兩年測製空載光達資料，研究海崖體積變遷與沈積物收支之間的關係。不過由於空載光達約從 1990 年代末開始拍攝，在此之前若沒有詳細的地面測量資料或其他高精度高程資料，便無法與空載光達資料結合分析。

2.3 我國海岸變遷研究所使用的圖資及空載光達資料

臺灣地區的圖資自日治時期開始出版現代化測量地圖，國民政府以來則陸續製作軍圖、像片基本圖及經建版地形圖等，圖資可謂相當豐富，也常被用來探討不同時期的濱線變化，如經建版地形圖

和像片基本圖(套色版)上，劃分海陸的水涯線常被研究者視為現成的濱線(石再添等, 1980; 陳翰霖, 1999; 郭金棟, 1990)。但這些地圖大多是為了調查陸地資源、經濟建設的目的(傅安明, 1990)，筆者也未能在官方文件中，找到為濱線變遷製圖而訂定的濱線操作性定義。例如，在地圖製作規範中(國防部聯勤第 401 廠, 1998)，未明確訂定海陸交界線的繪圖標準，而在航空照片拍攝規範中(內政部臺灣省林務局, 1977)也未提及要考慮風浪、潮汐現象。簡而言之，我國既無官方公告的濱線繪製規範，在已出版的地圖上，自然也沒有統一的濱線指標，可作為歷年濱線變遷分析的參考。

地形變遷的研究方面，國內工程界常用數值模擬的方式，亦即提供地形、海象及陸象(如波浪、流場及輸沙)等資訊後，利用數值模式進行推算，以了解海岸工程的可行性，但囿於海岸環境的複雜營力，模擬結果依然存在不確定性(楊博仁等, 1997)；除數值模擬方式之外，現場測量也是了解海岸地形變遷的常見方法，如賴春婷等 (2004)，利用水準儀器進行挖子尾區域高程測量，並且利用颶風前後兩次測量結果建立數值地形模型及地形



剖面，探討河口短時距變化。不同於現場測量耗費人力，空載光達可以快速取得高精度地形資訊，然而臺灣目前只有少數地區有空載光達重複測量的地形資料，可用以計算不同時期的海岸地形變化，如徐偉城等(2005)應用兩期數值地形模型計算外傘頂洲的沙洲體積變化。

綜而言之，目前國內尚未有結合光達資料與早期圖像資料的研究，掌握海岸地形的變遷，因此本文欲探討此一課題。此外，空載光達在未針對海岸環境而產製之下，將對海岸地形變遷研究有何影響，也是本文要釐清的另一問題。

3. 淡水河口南岸的個案研究

3.1 資料和方法

本研究選擇臺灣北部海岸，淡水河口南岸區域為樣區(圖 2)，區內包括溼地、沙嘴、沙灘及沙丘等地形，全長約 1700 公尺。研究主要分析的對象為海岸像片地形圖和空載光達資料，分述如下。

1980 年代出版的海岸像片地形圖是官方所出版的圖資中，比例尺最大且等高線資料最精細的圖資，該圖等高線間距為 1 公尺，自海平面 1 公尺等高線開始繪起。根據「臺灣地區基本圖測製管理規則¹」及經濟部中央地質調查所(2005)，海岸像片地形圖等高線及本文分析所用的光達資料皆為正高，等高線精度為等高線間隔三分之一，亦即 0.33 公尺。本文選擇海岸地形圖上的 1 公尺等高線與光達資料結合，該線最接近海平面 0 公尺，性質與高程濱線指標意義相似，可以嘗試和空載光達生產的等高線進行比較，即本研究所定義的高程濱線指標為 1 公尺的等高線。軟體方面使用 ArcGISTM 9.2 軟體，數化海岸像片地形圖上的所有等高線並且編輯屬性表，經由內插運算獲得 5 公尺數值地形模型，數化所得的 1 公尺等高線則直接和光達資料所擷

取出之 1 公尺線作比較。為了與光達資料進行疊圖分析，由海岸像片地形圖所數化的數值資料，皆利用中研院研發之軟體(數位典藏與數位學習國家型科技計畫網站，上網日期：2008-1-30)轉換為 TWD97 座標系統。

本研究採用的空載光達資料，包括點雲及數值地形模型資料，為中央研究院地球科學研究所承辦經濟部中央地質調查所專案計畫之成果(經濟部中央地質調查所，2005)，該計畫使用加拿大 Optech 之 ALTM3070 空載雷射掃描儀。計畫成果之一的 2 公尺數值地形模型，經重新取樣(resample)，用來和上述海岸地形圖等高線所製作的數值地形模型進行比較。

高程濱線擷取方面，等高線法參考 Harris *et al.*, (2005) 的作業流程，利用光達所生產的 2 公尺數值地形模型，於 ArcGISTM 軟體中，利用空間分析模組(Spatial Analyst)製作等高線，並利用 ET Geo Wizards 進行概括化(generalize)以及平滑化(smooth)後，取得 1 公尺高程濱線。剖線法參考 Stockdon *et al.* (2002)的流程，沿海岸線每隔 10 公尺製作一條寬 2 公尺(垂直海岸)的剖線擷取點雲，進行回歸計算後取得 1 公尺高程濱線位置(參考圖 1)。兩種方法的擷取結果再與海岸地形圖 1 公尺等高線進行疊圖、比較。

由本研究樣區光達資料的航帶分佈圖(圖 3)可以發現，飛機在研究區域附近的飛行方向以東北-西南以及南-北方向為主，此外，在海岸線長約 1700 公尺的研究樣區內，便由多條航帶組成。進一步檢視鄰近研究樣區東側的兩條航帶資料，拍攝時間不同²也導致潮汐、風浪狀態不同，圖 4 為圖 3 A 處所擷取出來的剖線資料，該航帶在拍攝當時，由於潮水高度已經超過 1 公尺高程處，而無法進行 1 公尺高程濱線的擷取。

¹ 國內出版的像片基本圖皆符合「臺灣地區基本圖測製管理規則」(2003.1-24 廢止)：

- 第 12 條：高程起算面如左：臺灣本島地區基本圖之高程，自基隆平均海面為零公尺起算。
- 第 15 條：基本圖之誤差限度圖上等高線誤差應小於等高線間隔三分之一(坡度小於十五度之平坦地區)或二分之一(坡度大於十五度之丘陵地山地)。

² 研究樣區的條 3 航線為 2005 年 7 月 15 日拍攝，東側鄰近區域拍攝時間為 2005 年 8 月 3 日。(經濟部中央地質調查所，2005)

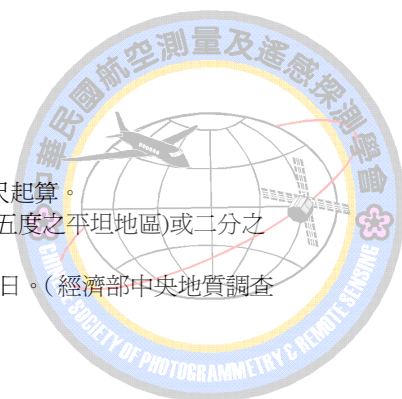




圖 2 研究區域圖（底圖：群立科技彩色正射影像，2003 年拍攝）

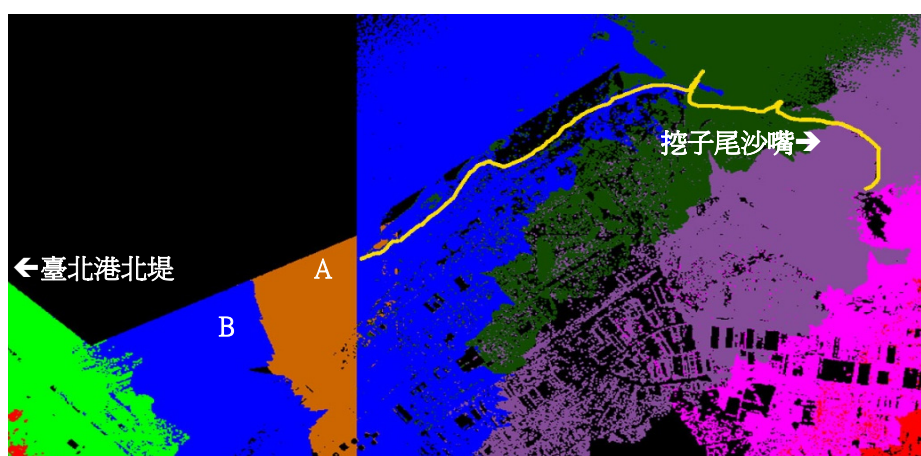


圖 3 研究樣區航帶分佈圖，不同航帶用不同顏色表示，圖中黃線部份為 1 公尺等高線，圖中 A、B 兩條航線由於是在潮高高於 1 公尺時間拍攝，因而無法取得 1 公尺等高線。

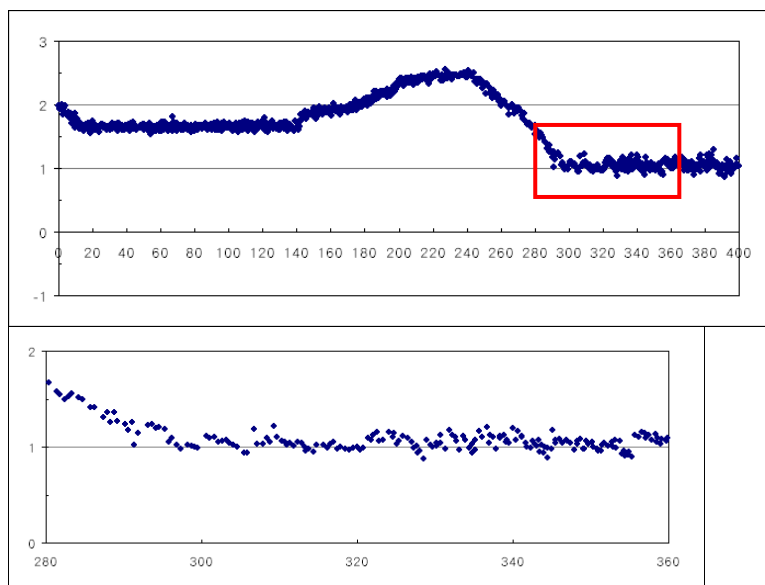


圖 4 圖 3A 處所取得的剖線資料，上圖為圖 3 A 處擷取出來的剖線資料，下圖為上圖紅框處放大，由點雲分佈情形可以發現，靠近 1 公尺高程的點雲為反射海面波浪的結果，因此無法擷取此處的 1 公尺高程濱線。（圖中數字單位皆為公尺）



對於高程濱線的擷取工作而言，若目標高程位於潮間帶區域，很容易受到風浪的影響，使目標高程受到海水遮蔽而無法進行擷取，以本研究為例，若研究者要擷取圖 3 全區 1 公尺高程濱線，在處理資料時，在圖 3 A、B 區附近勢必會受到限制。

3.2 濱線擷取及濱線變化

光達資料擷取的高程 1 公尺的位置，以及數化自海岸像片地形圖 1 公尺等高線的套疊結果如圖 5 所示。剖線法和等高線法所得到的 1 公尺線相當吻合，兩種方法位置差距平均僅有 0.49 公尺，皆與海岸像片基本圖 1 公尺等高線有明顯變化。以剖線法結果為例，研究樣區中在 1985-2005 年的 20 年間，平均變化量為 2.81 公尺，若不論前近或後退平均差異量為 23.96 公尺。北段沙嘴的形態變化較大，後退量最多處則為 -65.4 公尺；西南段的濱線前進，最高處達 52.5 公尺（圖 6）。

3.3 兩種濱線擷取方式的比較

兩種從自光達資料擷取高程濱線指標的方法，可謂各有優劣（表 1）。就本研究所採用的資料而言，剖線法的誤差估計為 0.78 公尺，等高線法則約為 2 公尺，後者的誤差比較大，但是擷取方式較剖線法簡單，因此若所處理的海岸很廣，而且變化量遠超過等高線法資料來源（如本研究所使用的 2 公尺數值地形模型）精度，可以選擇等高線法，唯等高線法生產出來的等高線型態扭曲、破碎，通常

還需要經過平滑化等處理(Liu *et al.*, 2007)。剖線法雖然擷取步驟較為複雜，但精確度較高(Stockdon *et al.*, 2002)，此外擷取結果為高程點位，而不會有資料過度扭曲、破碎的情形發生。

剖線法的精度取決於點雲資料的疏密與分佈。本研究採用此法，在八里海岸總共擷取 133 個點位，並且根據該點的 95%信賴區間計算擷取誤差，平均為 0.67 公尺。為瞭解 95%信賴區間值較大的原因，本文進一步檢視縱深剖線資料，尤其是信賴區間值較大的剖線資料。歸納造成該現象之原因如下：

- 欲擷取高程濱線附近為人工結構物，地勢陡直，導致高程附近點數稀少（圖 7a）。由於人工化海岸坡度較陡，導致高程附近的點雲數量較為稀疏，而造成較高的 95%信賴區間值，Ruggiero *et al.* (2003) 在探討美國 Long Beach 區域的濱線時，也發現在點雲資料稀疏或是地勢陡峭之處，造成較高的誤差值。
- 在擷取點雲資料時，由於光達測量當時水位高度接近目標高程（本文為 1 公尺），導致在整理點雲資料時，能作為回歸分析的資料數較少，而造成誤差值較大的情形（圖 7b）。

綜而言之，無論是剖線法或是等高線法，兩種結果之間的差異（0.49 公尺）以及兩種方法本身的誤差量（0.78 公尺/2 公尺），皆小於兩組資料於 20 年間的平均變化量（23.96 公尺），因此本文認為光達與海岸像片地形圖的等高線的確可以結合，進行濱線變遷的量化研究。

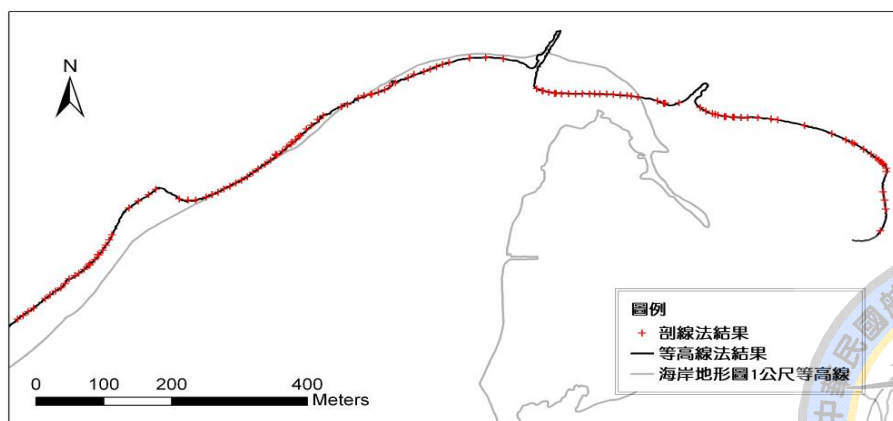


圖 5 研究樣區高程濱線擷取結果



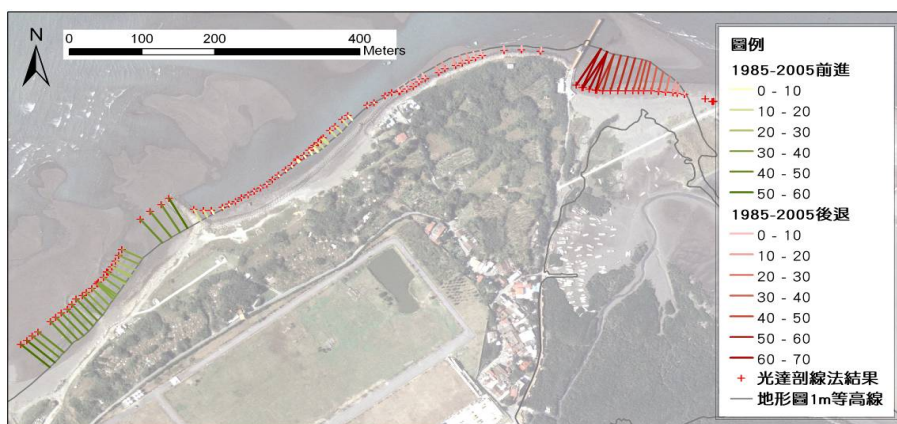


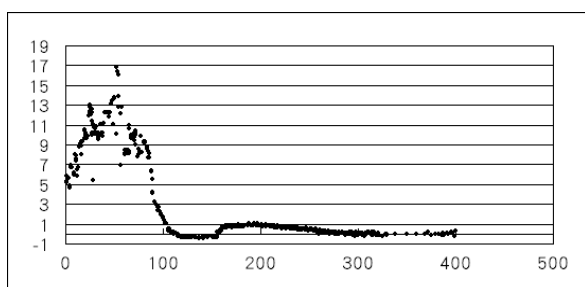
圖 6 1985-2005 年濱線變化情形(底圖：群立科技彩色正射影像，2003 年拍攝)

表 1 兩種濱線擷取法精度及優缺點比較表

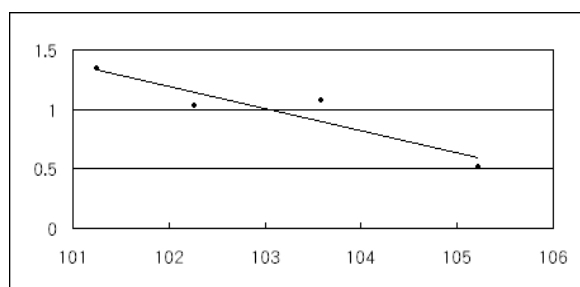
	剖線法	等高線法
精度	0.78 公尺*	2 公尺 (DTM 精度，未考慮概括化與平滑化的影響)
優點	精確度高且詳細(Stockdon <i>et al</i> , 2002)	擷取方式簡便
缺點	擷取方式較為複雜	直接擷取的等高線形狀扭曲、破碎(Liu <i>et al</i> , 2007)

* 依經濟部中央地質調查所(2005)於光達計畫報告表指出，於平地區域之精度規範為 0.4 公尺，根據誤差傳播理論，本文估算本區剖線法誤差為 $\sqrt{(0.4^2+0.67^2)}$ ，即為 0.78 公尺。

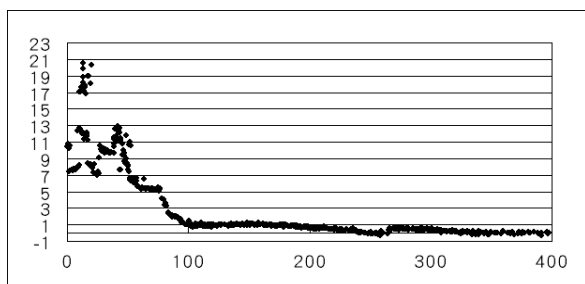
7a-1



7a-2



7b-1



7b-2

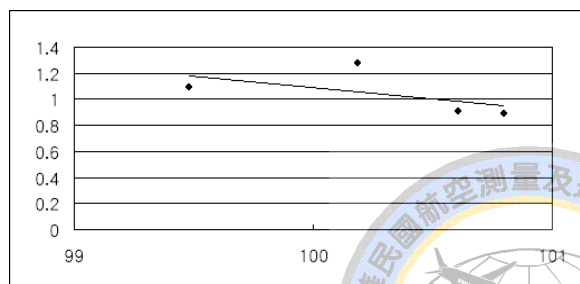


圖 7 剖線法 95%信賴區間較大的剖線資料。圖-1 為該剖線全部點雲展示成果，圖-2 為用於回歸 1 公尺高程位置的點雲及回歸線



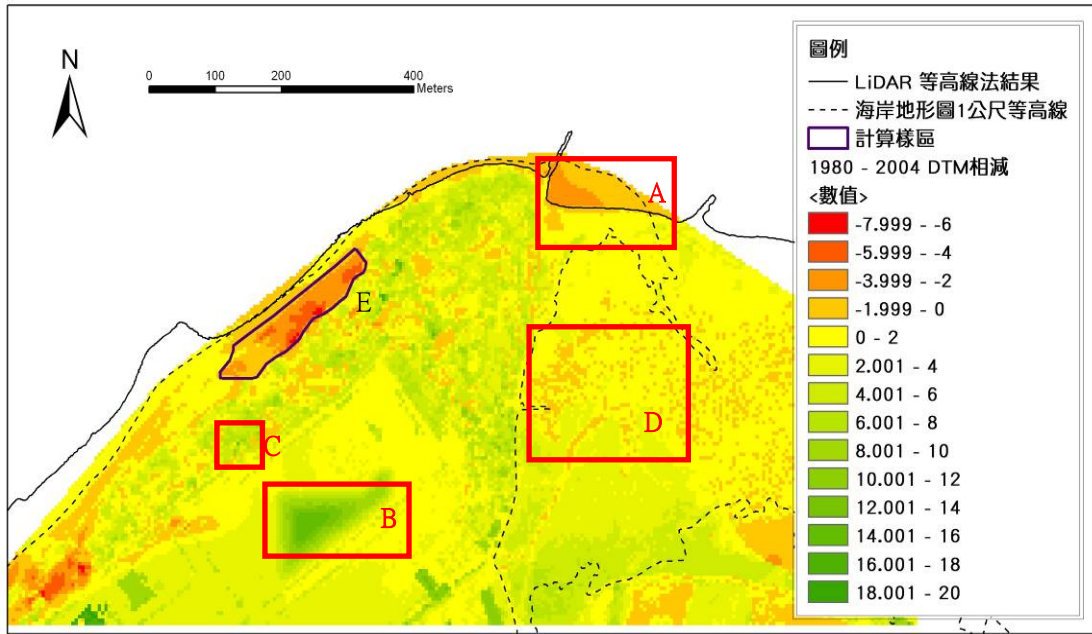


圖 8 1980 年海岸像片地形圖與 2004 年光達製作 DTM 相減結果，相減所得之數值為高程變化量，單位為公尺

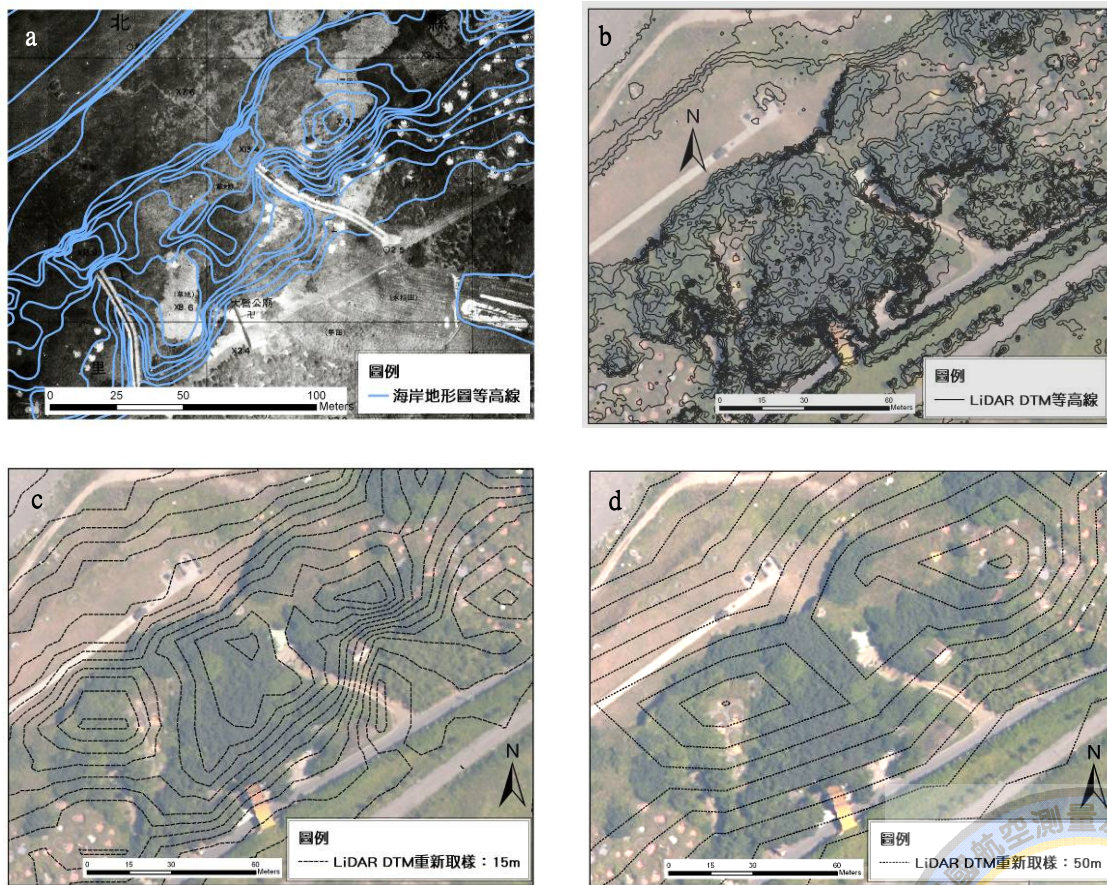
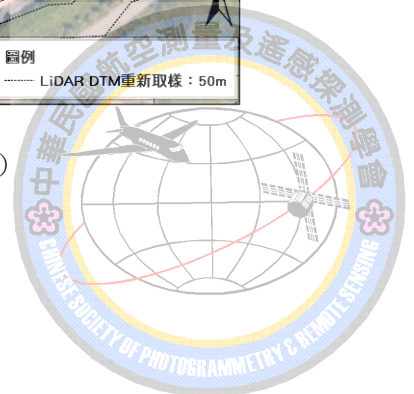


圖 9 海岸像片地形圖及光達等高線比較圖 (圖 8 C 區放大)



3.4 地形變遷量化

目前運用光達資料進行海岸地形變遷分析的研究，諸如 Zhang *et al.* (2005) 探討海灘體積的變化；Young and Ashford (2006) 研究海崖體積變遷與沈積物收支之間的關係，都是運用不同時期光達所生產的 DTM 資料進行計算、分析。相較之下本文嘗試結合的對象為海岸像片地形圖及光達兩種不同來源的資料。

1980 年海岸像片地形圖數化生產的 DTM 與光達製作的 DTM 直接相減結果如圖 8，高程變化最明顯之處分別位於圖 8 中 A 處和 B 處。從兩個年度 1 公尺等高線位置的變化，可以判斷 A 區是因為沙嘴位置變動而造成的侵蝕；比較海岸像片地形圖及光達同時拍攝的航空照片後，可以發現 B 處是人工堆放的土堆。反觀圖 8 C、D 兩處的變化比較複雜，是否反映真實的侵蝕/堆積現象，值得細究。

在數化海岸像片地形圖上的等高線時，與光達資料相比，許多微小的起伏變化沒有展現出來，如圖 8 C 處為長年性灌叢的沙丘地形，海岸像片地形圖等高線並未針對該處植被進行詳細的描繪（圖 9a），相較之下，光達由生產的 DTM，所擷取出來的等高線，保留較多微小變化，等高線也較為曲折、複雜（圖 9b），也比較能夠表現地表植被、地物細緻的高低起伏。這是因為光達製作的 DTM 與海岸像片地形圖等高線製作的 DTM 製作方法不同。海岸像片地形圖的等高線是由製圖人員利用航空照片立體像片對進行手工描繪，對於實際地表的細碎起伏較無著墨，所繪製的等高線較為簡化；然而光達卻是經由平均每平方公尺 3.63 點的密集資料內插計算而來（經濟部中央地質調查所，2005）。

為了疊圖比較兩種細緻程度不同的資料，本研究嘗試重新取樣(resample)的方式，將較為細緻的數值地形模型平滑化。本研究採用立方迴旋法(cubic convolution)計算方式，將光達所製作的 2x2 公尺 DTM 先重新取樣為 5、10、15、20、25、30、50 以及 100 公尺，再重新取樣成 5x5 公尺 DTM，

將光達 DTM 較為複雜的等高線加以簡化(圖 9c、d)。就等高線的疏密、分佈情形而言，15 公尺成果似乎與海岸地形圖等高線較為相似，50 公尺則較為稀疏及簡化。為了瞭解重新取樣的步驟是否會對地貌體積變化計算造成影響，本文選取圖 8 E 處黑線框取區域資料進行重新取樣，並且與海岸像片地形圖製作的 DTM 相減，計算體積變化量。

計算結果如圖 10 及表 2，經由重新取樣之後，變化分佈情形依重新取樣而有所改變，尤其從 100 公尺的重新取樣結果，可以發現原先以減少為主要結果的區域，竟然成為以堆積為主的結果。其中以重新取樣 5 公尺結果-31976 立方公尺體積減少最多，而重新取樣 100 公尺結果為 10695 立方公尺體積增加最多，其他重新取樣大小則以體積減少為主，但也沒有固定的趨勢。

事實上由解析度較高的資料重新取樣成解析度較低的過程，就是將原先網格資料，重新進行運算，並取得新解析度大小的 DTM，因此在重新取樣的過程中，原先較為複雜的地貌起伏，會變的比較和緩，導致不同的體積計算結果。若採用重新取樣的方式，讓光達以及海岸像片地形圖較為接近，卻反而會使精確度降低，甚至計算出不同的量化結果。

由海岸像片地形圖等高線及光達生產的 DTM 的套疊結果，發現由於兩者資料來源、製作方式皆不盡相同，因此在植被覆蓋較少、微起伏少的區域（如裸露的沙丘、沙灘及平原區域），與植被覆蓋多、微起伏較多的區域（如植被茂密的沙丘、濕地區域）相比，比較適合進行套疊，由於光達資料較為精細，單位面積內高度取樣點較多，喬灌木、紅樹林等皆能在 DTM 上展現。因此在前者區域，兩種資料的相似度較高，以本研究為例，直接以 5 公尺 DTM 進行變遷量化即可；後者則建議利用重新取樣的方式，取得起伏、密度相近的 DTM 資料後，再進行套疊計算，但量化的精確度將會減少。



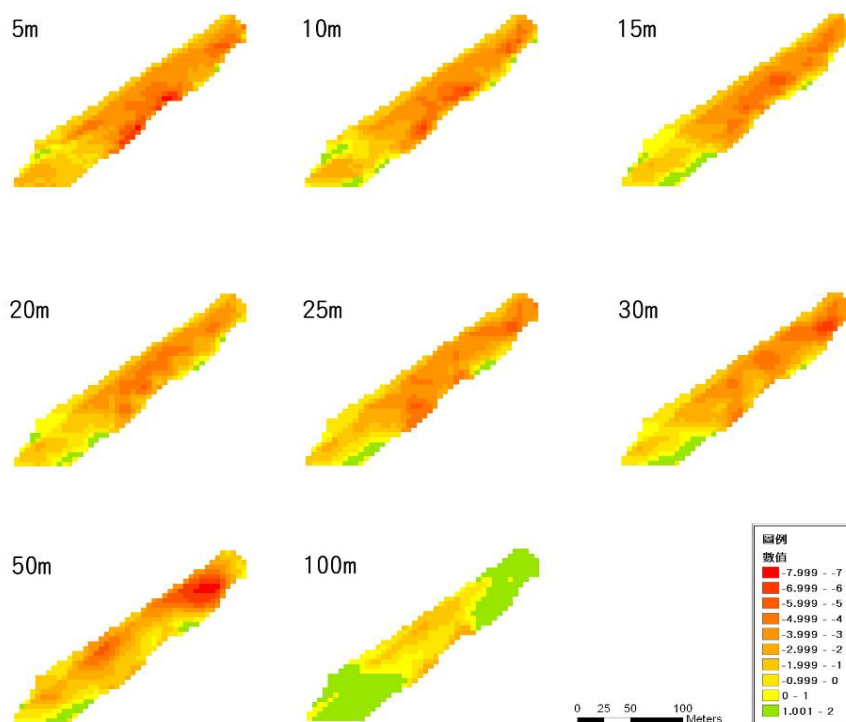


圖 10 各重新取樣與海岸像片像片地形圖 DTM 相減結果

表 2 各重新取樣大小與變化量計畫結果

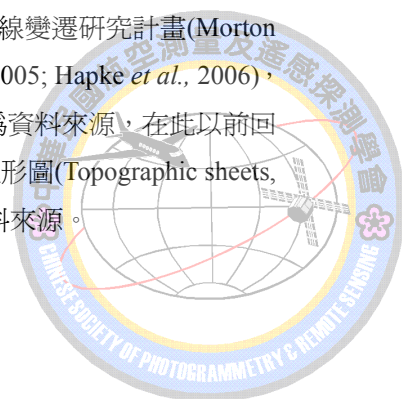
重新取樣大小	體積變化量 (m^3)	重新取樣大小	體積變化量 (m^3)
5 m	-31976.28	25 m	-26895.85
10 m	-27200.18	30 m	-25201.52
15 m	-24355.30	50 m	-26421.60
20 m	-23068.78	100 m	10695.52

4. 對臺灣空載光達資料在海岸監測的建議

海岸受到海水作用的影響，動態性遠高於陸域環境，就一年內來看，海水位除了受隨潮汐變化而漲落，也受到季節性和偶發性天氣影響，所以航照拍攝或光達施測的時間選擇需要有明確的規範，除了考慮飛行安全和拍攝品質，還要盡可能降低海岸的天然變動對海岸監測造成的干擾(Graham *et al.*, 2003; Ruggiero *et al.*, 2003)。

以美國為例，針對海岸經營目的訂定的光達測量規範，包括拍攝時必需為晴朗天氣，也必須考慮到海灘季節性的動態變化，並且以植被較少的季節進行拍攝，以取得較為精確的地面資料，潮汐也是

必須考慮的因素之一，必須選擇平均更低的潮位(Mean Lower Low Water)時期進行測量(Leigh and Hale, 2005)，以取得較大範圍的海岸地貌，並且避免風浪的遮蔽。此外，美國官方一向以平均高水位線(mean high water line)為濱線指標，從早期現場實地測量到航空照片攝影測量，都以取得平均高水位線為繪圖、測量的目標(Graham *et al.*, 2003)，所以最近期的光達資料也可以和過去的濱線製圖成果結合。例如，美國地質調查所曾於 2004 至 2006 年間進行大範圍的海岸濱線變遷研究計畫(Morton *et al.*, 2004; Morton *et al.*, 2005; Hapke *et al.*, 2006)，1998 年之後以空載光達為資料來源，在此以前回溯至 1850 年代，則是以地形圖(Topographic sheets, T-sheets)和航空照片為資料來源。



臺灣在海岸地區的圖資雖然豐富，但是幾乎沒有是專為海岸環境監測目的製作(陳映璇, 2008)，因此難以參考國外運用航空照片繪製高水位線。本文所使用的光達資料乃為辦理特殊地質災害調查而製作(經濟部中央地質調查所, 2005)，該計劃中 LiDAR 作業規範，要求飛航拍攝時必須天氣良好，透光度高，但由於海岸並非該計畫重點地區，所以沒有關於潮汐、風浪的規範，因此潮間帶區域容易受到海水干擾而無法取得高程濱線(參考圖 3)。即便如此，利用光達進行濱線擷取依然有相當大的優勢，其一為與特徵濱線相比，高程濱線的精確度較高，Ruggiero *et al.* (2003) 在研究中指出，即便在美國專程飛航規劃下所繪製的高水位線，也與實際平均高水位線有所差異，即是因為海岸現場的風、浪作用的影響；此外，特徵濱線指標目前大多需要利用人工進行判釋與繪圖，增加人為因素的干擾而產生更多的不確定性，雖然近期也有相關研究嘗試利用多波段影像進行自動判釋(陳良健等, 1999)，但成效及精度皆有限，相較之下利用光達進行高程濱線擷取相當快速，並且不受人為因素的干擾。

考慮到光達於近期才引進測量，若能與早期資料結合進行分析將對海岸變遷研究有相當大的幫助。在與過去圖資的連結方面，除了特定海岸有詳細的現場實測資料(GPS 測量或傳統斷面測量)，例如，經濟部水利署在臺北港北堤以北區域已經累積了許多海岸實測資料(經濟部水利署第十河川局, 2006)，涵蓋範圍廣的大比例尺等高線圖則是比較可能進行比對的圖資，例如本研究採用的 1980 年代拍攝的海岸像片地形圖(比例尺 1:1,000)，其最接近海面的等高線(與高程濱線指標的意義較相似)為 1 公尺。目前國內可涵蓋全島海岸之較大比例尺的圖資，是比例尺為 1:5,000 的像片基本圖，該套圖自 1970 年代開始製作(林務局農林航空測量所, 1994)，而且版次較多，也是回溯濱線變遷的重要參考資料。該圖最接近海水的等高線為高程 5 公尺，雖然該條等高線多分布在海灘的較內緣，但該線應該是 30 年前環繞全臺灣海岸相當可信的一條高度線，若從光達資料中擷取 5 公尺等高

線相比較，至少可以提供輔助性的訊息。

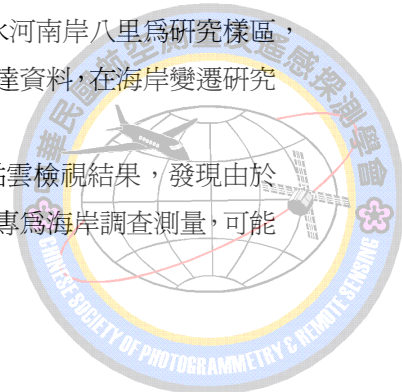
綜而言之，我國至今並未明訂濱線繪製的作業規範，在使用已經生產的各式圖資時，常需由研究者自行訂定在該圖資上可辨識的特徵濱線指標，例如水線、乾濕線、灘內緣線(洪佩鈺等, 2006)或海崖線(許民陽等, 1995)等，但無法確定同一特徵濱線歷年實際高程的變化程度。光達資料在擷取高程濱線指標上則相當便利，在和過去圖資的連結上，至少可以快速擷取 1 公尺和 5 公尺線，和 1:1,000 或 1:5,000 等大比例尺圖資上的等高線進行套疊、比較，再配合歷年其他特徵濱線指標的變遷，將可對臺灣海岸過去數十年地形變化做出總結性的評估。

未來在進行光達測量時，建議參考美國的操作方式，避免風大、有雲霧沙塵等天氣，季節則必須考慮到海灘季節性動態變化，而儘量選擇相同季節施測，如春末夏初之際，東北季風季節已過且颱風等大事件尚未發生的季節；於潮位低的時期如平均更低低潮位時測量，以取得較大範圍的海岸地形，並且避免風浪、潮汐對高程濱線擷取造成干擾。再者，為了瞭解海岸區域的長期變遷並進行監測，也應當建立相關作業規範與流程：如建立長期濱線繪圖工作，必須先進行濱線指標的定義、相關數化流程，以及變遷分析方法等。

5. 結論

光達資料具有迅速高密度、高精度的特性，近年多個國家將其應用在海岸變遷的研究上(Ackermann, 1999)，不但可以快速且精確的擷取濱線資料，還可以利用多期的高程資料計算海岸地形的精確變化量。臺灣引進光達技術僅數年，若能結合國內已出版圖資(1980 年代出版的海岸像片地形圖)進行變遷研究，將對國內海岸變遷監測有相當大助益。因此本文以淡水河南岸八里為研究樣區，探討如此背景下產出的光達資料，在海岸變遷研究上的應用性。

經由研究樣區光達點雲檢視結果，發現由於本文所用之光達資料並非專為海岸調查測量，可能



在不同風浪、潮汐情形下拍攝，勢必造成一些限制。由兩種高程濱線的擷取結果可以發現，等高線法擷取方式較為簡便但濱線外觀較為扭曲破碎，剖線法雖然擷取工作繁複但精度較高，兩種方法誤差皆在可以接受的範圍內，因此自光達所擷取的高程濱線，可與海岸像片地形圖等高線疊圖分析。

比較光達以及海岸像片地形圖（1980 年代）所生產的 DTM 後發現，前者所製作的 DTM 來源，為人工繪製的等高線，相較下後者資料密度較高。這兩套資料在地表微起伏較小的區域可以直接進行量化計算，但在微起伏較多的區域，必須透過重新取樣的方式讓兩種資料狀態較為接近後，才能進行量化工作，但必須考慮 DTM 的誤差不能大於地形變化量。

利用光達進行海岸變遷監測有相當大的優勢，其一為與特徵濱線相比，高程濱線的精確度較高，擷取方式不但簡便並可避免人為判釋誤差；然而本文分析所用之光達資料，由於非專為海岸目的製作而有其限制，如較靠近海平面的高程濱線容易受到潮水遮蔽而無法擷取，因此參考潮位資料，選擇平均高潮位以上的高程濱線，也是可以考慮的替代方案。未來建議參考國際經驗，制定合適的測量規範，並配合同時拍攝的航空照片，則還可擷取特徵濱線（並獲得高程值）。若能持續施行測量，將會是海岸環境監測的利器。

致謝

感謝經濟部中央地質調查所提供 2005 年北海岸八里、白沙灣地區測量資料（計畫編號：5226902000-04-94-04）、中央研究院地球科學研究所提供軟體及技術支援，以及台灣師範大學地形研究室林雪美老師、林宗儀老師等提供建議，學部生江宜春等協助資料整理、繪圖等工作，研究得以完成，深致謝忱。

參考文獻

內政部臺灣省林務局，1977。臺灣地區基本圖測製工作報告，內政部臺灣省林務局，臺北市。

石再添，1980。臺灣西部海岸線的演變及海埔地的開發，國立臺灣師範大學地理學報，6：1-36。

林務局農林航空測量所，1994。臺灣地區像片基本圖出版通報，林務局農林航空測量所，臺北市。

空間資訊技術處理與應用，中央研究院計算中心 GIS 小組，2006。ShpTrans，<http://www.ascc.sinica.edu.tw/gis/ISTIS/tools.html>，上網日期：2008-1-30。

洪佩鈺、沈淑敏、陳浦淮，2006。應用大比例尺正射影像地圖判識沙礫質海灘的濱線：以臺東海岸為例，地理研究報告，44：83-105。

徐偉城、陳大科、劉進金、史天元、王成機、陳思仁，2005。以空載光達建立外傘頂洲數值高程模型，第二十四屆測量學術及應用研討會論文集，臺南市：27-34。

國防部聯勤第 401 廠，1998。臺灣二萬五千分之一地形圖(經建版)數化標準作業指導書，國防部聯勤第 401 廠，臺中市。

許民陽、沈淑敏，1995。花東海岸海崖後退機制-成崖物質與風暴激浪特性的初步探討，國立臺灣大學地理系地理學報，19：71-90。

郭金棟，1990。臺灣海岸地形變化及其未來之開發利用，成功大學水利及海洋工程研究所，臺南市。

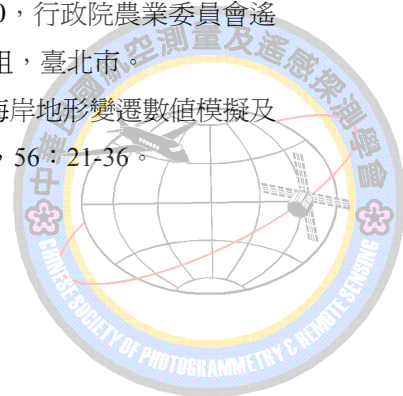
陳良健、徐啓崇，1999。多波段影像特徵分析於灘線萃取之研究，航測及遙測學刊，4(3)：17-30。

陳映璇，2008。臺灣圖資影像在沙質濱線繪製的應用與限制-以白沙灣、八里海岸為例，國立臺灣師範大學地理學系碩士論文，臺北市。

陳翰霖，1999。十七世紀以來臺灣西南海岸平原地形變遷之研究，中國文化大學地學研究所，臺北市。

傅安明，1990。臺灣地區基本圖與主題圖系統之建立及其應用-1975-1990，行政院農業委員會遙感及探測技術發展小組，臺北市。

楊博仁、龔誠山，1997。海岸地形變遷數值模擬及應用探討，中興工程，56：21-36。



- 經濟部水利署第十河川局，2006。臺北港設置後對淡水河口海岸地形變遷之影響（1/2），經濟部水利署，臺北縣板橋市。
- 經濟部中央地質調查所，2005。大臺北地區特殊地質災害調查與監測-高精度空載雷射掃描(LIDAR)地形測製與構造地形分析，經濟部中央地質調查所，臺北縣中和市。
- 經濟部水利署，2005。花蓮溪河口海岸觀測調查分析，經濟部水利署，臺北市。
- 賴春婷、林俊全、任家弘，2004。河口短時距地形變動之研究-以淡水河口挖子尾為例，地理學報，35：17-34。
- Ackermann, F., 1999. Airborne Laser Scanning - Present Status and Future Expectations, *Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 64-67.
- Boak, E.H. and Turner, I.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review, *Journal of Coastal Research*, 21(4): 688-703.
- Graham, D., Sault, M. and Beiley, C.J., 2003. National Ocean Service Shoreline- Past, Present, and Future, *Journal of Coastal Research*, SI(38): 14-32.
- Hapke, C.J., Reid, D., Richmond, B.M., Ruggiero, P. and J., L., 2006. National Assessment of Shoreline Change Part3: Historical Shoreline Change and Associated Coastal Land Loss Along Sandy Shoreline of the California Coast, U.S. Geological Survey Open-file Report 2006-1219.
- Harris, M., Brock, J., Nayegandhi, A. and M., D., 2005. Extracting Shoreline from NASA Airborne Topographic Lidar-Derived Digital Elevation Models, In Cooperation with the National Park Service and the National Aeronautics and Space Administration, Reston: U.S. Geological Survey Open-file report 2005-1427.
- Leigh, G.E. and Hale, J., 2005. Scope of Work Shoreline Mapping. In Commerce, U.S.D.o., National Geodetic Survey, National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Liu, H., Sherman, D. and S., G., 2007. Automated Extraction of Shorelines from Airborne Light Detection and Ranging Data and Accuracy Assessment Based on Monte Carlo Simulation, *Journal of Coastal Research*, 23(6): 1359-1369.
- Morton, R.A., Miller, T.L. and Moore, L.J., 2004. National Assessment of Shoreline Change Part1: Historical Shoreline Change and Associated Coastal Land Loss Along The U.S. Gulf of Mexico, U.S. Geological Survey Open-file Report 2004-1043.
- Morton, R.A. and Miller, T., 2005. National Assessment of Shoreline Change: Part2, Historical Shoreline Change And Associated Coastal Land Loss Along The U.S. Southeast Atlantic Coast, U.S. Geological Survey Open-file Report 2005-1401.
- Robertson, W., Whitman, D., Zhang, K. and Leatherman, S.P., 2004. Mapping Shoreline Position Using Airborne Laser Altimetry, *Journal of Coastal Research*, 20(3): 884-892.
- Ruggiero, R., Kaminsky, G.M. and Gelfenbaum, G., 2003. Linking Proxy-Based and Datum-Based Shoreline on a High-Energy Coastline: Implications for Shoreline Change Analyses, *Journal of Coastal Research* SI(38): 57-82.
- Stockdon, H.F., Sallenger, A.H., List, J.H. and Holman, R.A., 2002. Estimation of Shoreline Position and Change using Airborne Topographic Lidar Data, *Journal of Coastal Research*, 18(3): 502-513.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. and Miller, T.L., 2005. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change, U.S. Geological Survey, Open-File Report 2005-1304.
- Webster, 1988. The Webster's Ninth New Collegiate Dictionary, Merriam-Webster Inc., Springfield, Mass.
- Wehr, A. and Lohr, U., 1999. Airborne laser scanning - an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 68-82.
- Young, A.P. and Ashford, S.A., 2006. Application of Airborne LIDAR for Seacliff Volumetric Change and Beach-Sediment Budget Contributions, *Journal of Coastal Research*, 22(2): 307-318.
- Zhang, K., Whitman, D., Leatherman, S. and Robertson, W., 2005. Quantification of Beach Change Caused by Hurricane Floyd Along Florida's Atlantic Coast Using Airborne Laser Survey, *Journal of Coastal Research*, 21: 123-134.



Application of LiDAR-derived data on Detecting Coastal Geomorphic Change in Taiwan

Yin-Hsuen Chen¹ Su-Min Shen^{2*} Yu-Chang Chan³ Yu-Chung Hsieh⁴

ABSTRACT

LiDAR is a very useful tool on monitoring coastal geomorphic change and has been introduced into Taiwan in recent years. For making the best use of the LiDAR-derived data on long-term coastal change in Taiwan, this research intends to reveal the possibility and limitation of overlapping LiDAR-derived DTM with preexisting pictorial materials, in particular Orthophoto Base Map in the coastal area (OBMC, scale 1:1000, published in 1980s). The study area is the Bali coast, located to the south of the Dan-shui River mouth. Two types of LiDAR data, provided by Central Geological Survey, MOEA, - LAS file and 2m DTM were used, and 1-meter contour line was adopted as the datum-based shoreline indicator. DTM were also constructed by interpolating contour lines of Orthophoto Base Map. Results show that to combine these two sets of pictorial materials to detect shoreline change and calculate volume change of beach and sand dunes is practicable. The amount of shoreline change is from 53 m to 65 m over two decades along the study area. Many details should be taken into account, however, when detecting volume change of beach/sand dune due to the different resolution and accuracy of the two sets of data. So far, most pictorial materials in Taiwan are not produced for the sea shore zone in purpose, and cause many problems on shoreline mapping work. Thus, it is expected that the authority can set up standards and/or guidelines of shoreline mapping (including LiDAR) in the near future.

Keywords: LiDAR, Orthophoto Base Map in the coastal area, datum-based shoreline indicator, DTM

¹ Research Assistant, Central Geological Survey, MOEA

² Associate Professor, Dept. of Geography, NTNU

³ Associate Research Fellow, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

⁴ Geologist, Central Geological Survey, MOEA

* Corresponding author, Phone: 886-2-77341634, E-mail: smshen@ntnu.edu.tw

