

# 應用 FORMOSAT-2 衛星資料測繪宜蘭近岸水深

黃世任 熊同中

國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

本研究使用 FORMOSAT-2 衛星影像資料，與宜蘭海域實測水深數據，利用其衛星影像單譜模式以穿透性最佳之藍光波段光譜來推估其相對應之水深。研究結果顯示，推估水深誤差值為實測水深的 $\pm 20\%$ 內的資料點佔所有實測點數的 83%以上，其標準偏差為 2.4 m。另外，本研究利用各波段的光學特性，以非監督方式將整張影像分類，再針對分布在海域上的第 4 及第 5 類區域，分別推算其水深。結果顯示，在第 4 類中，有 84%以上的測點，其推算水深的誤差值在實測水深的 20%以內，且標準偏差為 2.3m。而第 5 類的推算水深誤差值為實測水深的 20%以內的測點數，佔該類海域測點數的 80%以上，而其標準偏差小於 0.9m。顯示 FORMOSAT-2 衛星影像，可以在宜蘭海域測繪淺水海域水深。

關鍵詞：FORMOSAT-2，衛星影像，水深

## 一、前言

海洋探測水深的方​​式已因太空科技的日新月異及各種感應系統精進，從原始直接於海面測量方式進步至藉人造衛星從太空中以大面積且精確及快速之方法，來獲得水深資料。相較傳統船測方式於同等面積海域或海底地形測量，較為省時、省力且風險較小。由於淺水海域是屬於動態及敏感的環境，必須重覆性的調查與測量，較無法經常性的使用船隻來測量大面積海域水深，以取得最新水深資訊。若利用衛星遙測技術其資料快速、區域廣闊、高解析度及高造訪性之優異特性，可彌補船隻現場測繪之不足。

遙感探測攝取影像的原理是基於接收地面物體反射及放射的電磁輻射能量，當太陽的輻射電磁波經過水面時，大多數的電磁波即被吸收或反射，只有可見光可穿透水體(Blyth, 1981)。遙測水深的主要原理是透過太陽可見光穿過水體至淺海海底底部再反射回來被衛星感應器接收，因為可見光在水中行進過程會因散射、吸收而衰減情形，所以可以利用衰減的特性來計算水深。在乾淨的海水中，以藍光(0.45~0.52  $\mu\text{m}$ )在水體中有著最好的穿透力，其透射率約為 60%，且隨著波長的增加而迅速減小(Jerlov, 1951)。

Plass 和 Kattawar (1972)使用 Monte Carlo 法，計算以大氣、海洋輻射系統依海洋底質而定的向上反射率。Gordon、Brawn (1974)使用 Monte Carlo 模擬，研究海洋淺水的擴散反射率，並以光學理論來修改現存的底質反射。在 Landsat 4 發射升空後，因搭載對水的穿透力好之感測器藍光段(0.4  $\mu\text{m}$ ~0.52  $\mu\text{m}$ )及綠光段(0.5  $\mu\text{m}$ ~0.6  $\mu\text{m}$ )，更適合淺水水深分析研究(Tanis and Hallada, 1984; Tanis and Byrne, 1985; Lyzenga, 1985)。

林(2001)以 IKONOS 高解析衛星影像，利用多光譜衛星影像之灰度值來推求其相應之水深值，同時配合有限數目的實測水深資料，探討其在淺水水深測繪的

能力與精度，在 10 公尺內水深值之推估，精度約可達 30 公分。蔡等(2002)以 SPOT 衛星影像採單一反射率水深推演(Single- reflectance water extraction Algorithm)，推估台灣東北角石城定置網區之水深及沿岸海底地形，計算出平均誤差值為 0.5 $\pm$ 1.2 米。呂(2004)使用解析度更高的捷鳥衛星(QuickBird)影像，研究墾丁南灣淺海水深之測繪 0-30m 誤差值均在 30%內，其遙測水深推估均有不錯的準確度。另外溫(2006)以東沙環礁 SPOT 5 衛星影像資料，配合現場實測水深，建立輻射值與水深的關係式，以推估該海域之淺水水深。其研究結果顯示，推算水深的誤差為實測水深的 $\pm 20\%$ 內的資料點佔溫所有實測點數的 90%以上，均方根誤差為 0.88m。

宜蘭灣海域長年為軍事管制區域與其他海域比較起來開發甚晚，在這大面積的水域上，由於仍未遭人為破壞、過度開發及環境污染，所以此海域海水較為清澈，本研究嘗試以具備藍光波段且地面解析度達 8m 的福衛二號(FORMOSAT-2)影像資料，進行此宜蘭近岸的水深測繪。

## 二、資料來源

福衛二號其遙測酬載儀器規格，有全色態(PAN)波段(0.52~0.82  $\mu\text{m}$ )空間解析度在 0°~45°之傾角下約為 2~ 4.5 m，在飛行方向則約為 2~ 3 m。而其 MS 有四個波段，即藍光段 band 1 (0.45~0.52  $\mu\text{m}$ )、綠光段 band 2 (0.52~0.60  $\mu\text{m}$ )、紅光段 band 3 (0.63~0.69  $\mu\text{m}$ )及近紅外光段 band 4 (0.76~0.90  $\mu\text{m}$ )，且具 8 m 空間解析度，像幅寬度為 24 公里。可以向前、向後觀測方式進行立體攝影，為衛星本體旋轉(Body Rotation)同步取樣方式，並可進一步獲取數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)資料(中央大學太空遙測中心網站 <http://www.csr.sr.ncu.edu.tw/>)。本研究以福衛二號

衛星於 GMT 時間 2006 年 4 月 22 日 1 時 59 分 02 秒 UTC 所拍攝原始影像 (Raw sensing image)。在影像大小部份, 其南北寬 7826 Line、東西長 3211 Samples (如表 1), 影像面積為 1608.27km<sup>2</sup>。圖 1 為研究區域的福衛二號的真色彩影像(true color image)。

本研究於 2006 年 5 月 20 日至 7 月 3 日期間, 在天候與海象狀況良好時, 以船舶在宜蘭近岸海域, 進行現場水深資料觀測, 共取得現場水深觀測資料 212 筆。該船具備有雷達、定位及水深測量功能的日本 FURUNO 公司所生產三合一雷達(Color Video Plotter GD-1900C), 可提供觀測時間、位置及水深資料。再根據氣象局海象中心所提供的研究海域內的梗枋潮汐資料進行觀測水深的潮位修正。

### 三、研究方法

本研究以宜蘭海域的現場測量的水深資料, 並採單一反射率水深推演方式, 來進行宜蘭淺海海域水深推估研究。單一反射率水深推演是基於單一水質的反射模式。假定遙測過程中該研究區域的大氣均勻且呈穩定狀態, 在波浪穩定、水質相同且海床底質均勻之最佳狀態, 則可見光在穿透水體後, 自海底海床反射至感測器之訊號回波, 無發生任何光波散射情形及海水表面之內部反射現象, 就可藉由衛星多光譜感測器所接收海底反射率變化值, 來推估出淺海海底之深度情形, 其反射模式如下列公式:

$$P_{SN} = P_{AN} + P_{DN} \exp(-GKZ) \quad (1)$$

其中:  $P_{SN}$ : 衛星觀測量,  $P_{AN}$ : 深海海域衛星觀測量, 包含大氣貢獻量,  $P_{DN}$ : 海底貢獻量,  $Z$ : 水深,  $K$ : 衰減係數,  $G$ : 幾何校正係數。

由於本研究所含蓋的範圍較小, 所以可以假設影像範圍內, 大氣及海面可視為均勻狀態。又因為光在水中會被衰減, 在深水區域從海底反射到水表面的光可視為零。所以本研究以深水區的衛星資料表示大氣貢獻量。

由上公式可推算出:

$$Z = -\frac{1}{2K} \ln\left(\frac{P_{SN} - P_{AN}}{P_{DN}}\right) \quad (2)$$

方程式中  $P_{AN}$  為大氣貢獻量, 取無海底反射訊號的深水區的衛星觀測平均值代表。 $P_{DN}$  為海底貢獻量, 為近岸水深趨近於零之反射訊號平均值 ( $P_{SN}$ ) 和大氣貢獻量 ( $P_{AN}$ ) 之差。由 (2) 式得知水深  $Z$  與  $\ln\left(\frac{P_{SN} - P_{AN}}{P_{DN}}\right)$  成正比關係, 故可利用實測水深  $Z$  與衛星遙測所得之  $\ln\left(\frac{P_{SN} - P_{AN}}{P_{DN}}\right)$  得到一個線性迴歸式:

$$Y = c1 X + c2 \quad (3)$$

其中  $Y$  代表水深,  $X$  代表  $\ln\left(\frac{P_{SN} - P_{AN}}{P_{DN}}\right)$  值,  $c1$ 、

$c2$  分別為迴歸係數。

本研究先將整個海域視為均質海域, 推算整個海域的水深, 再與實測水深比較以探討其精確度。進而再將福衛二號中 4 個波段影像資料, 透過 ENVI 合併成同一影像檔。以非監督式分類中屬於反覆自我組織資料分析法 (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), 簡稱為 ISODATA 分類法來做分類。再針對不同類別水域, 進行水深推算。

推算水深的精確度是以均方根誤差 (RMSE) 分別計算未分類及各分類之推估水深與實測水深誤差, 其公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}} \quad (4)$$

均方根誤差 (RMSE) 是一個常用在表示系統模型所預測出來數值間差異的方法, 這些個別數值間的差異通常稱之為殘數 (residuals), 而均方根誤差則是將這些殘數堆聚成一個用來代表系統模型預測能力的數值; 上述公式  $n$  為資料筆數,  $x_1$  為計算水深,  $x_2$  為實測水深, 透過該均方根誤差正負值大小的比較, 瞭解其遙測推估水深的誤差情形。

### 四、結果與討論

本文係以衛星資料推估水深, 期能對宜蘭當地海域淺水區能有較完整的測繪, 以瞭解衛星資料推估水深技術在宜蘭海域之可行性與準確性。由於近紅外波段大都被水體吸收, 所以本研究利用衛星資料中的近紅外波段資料, 辨識受雲影響的海域。在利用衛星資料推算水深的過程中, 僅就晴空海域進行水深計算。本研究也利用非監督式分類法, 依各波段光學特性進行分類, 再依水域中各類別, 分別推估水深, 以瞭解不同類別水域的推算水深精確度。

#### (一) 未分類水深推估結果

將 106 個經過潮汐修正的水深實測資料, 與衛星資料, 依 (3) 式進行得到的推算水深的統計迴歸方程式為:

$$Y = -6.7715X + 26.851 \quad (5)$$

依上式所推算的水深, 與實測水深比較, 其相關決定係數  $R^2$  值達 0.7873, 顯示二者具高度相關 (圖 2)。

為了瞭解推算水深的精確度, 以另外一組 106 個經過潮汐修正實測水深數據來驗證。結果顯示, 推算水深與實測水深間的相關決定係數  $R^2 = 0.7369$ , 二者間亦呈現高度相關性。

表 2 為各類遙測推估水深的精確度, 在未分類時, 推估水深誤差為實測水深的 10% 內的資料佔總資料數的 62% 以上。誤差為實測水深的 20% 內的資料數佔 83% 以上, 而推估水深誤差為實測水深的 30% 內的有總

資料數的 90%以上。其推估水深之均方根誤差小於 2.4m。

### (二) 影像分類之情形

以 ENVI 中非監督式 ISODATA 分類法分類福衛二號 4 個波段所合成影像，其圖像範圍 3211x7826x1，計 25,129,286 點，此次分類運算產生水體部分之類別計 4 類（第 4、5、6、14 類）及非水體部分（含陸地及影像中拍攝範圍外空白區域）類別計 16 類，共計 20 個類別。僅說明水體 4 類部份，第四類（黃色）分布於離岸較遠的海域，而第五、六及十四類（淺藍色）則分布於較近岸的海域（圖 3）。

### (三) 分類水深推估結果

本研究係以宜蘭近岸淺海水深為主，故以水體部份 4 類（第 4、5、6、14 類）的分類水深為探討範圍。將經潮汐修正後所有實測水深位置與使用非監督式 ISODATA 分類法所得結果的各類別分布位置相對應，取出每一點實測水深位置所屬類別，求得第四類 150 筆、第五類 62 筆、第六、十四類無，所以在本研究中將這兩類與第五類合併為一類。再將屬於各類的實測水深資料分成二組，一組為迴歸組，另一組為驗證組。同為利用迴歸組資料，取得推估水深之推算方程式，再用驗證組來分析其準確度

取分布於第 4 類現場實測水深點的半數 75 個經過潮汐修正的水深實測資料，與衛星資料，依(3)式進行統計迴歸，以獲取從衛星資料推算水深的方程式為：

$$Y = -6.9557X + 26.964 \quad (7)$$

依上式所推算的水深，與實測水深比較，其相關決定係數  $R^2$  值達 0.7319，顯示二者仍具高度相關(圖 4a)。

為了驗證推算水深的精確度，以另外一組 75 個經過潮汐修正實測水深數據來確認。結果顯示，推算水深與實水深間的相關決定係數  $R^2 = 0.7118$ ，二者間仍亦呈現高度相關性。

表 3 為各類遙測推估水深的精確度，在分類後第四類推估水深誤差為實測水深的 10%內的資料佔總資料數的 62%以上。誤差為實測水深的 20%內的資料數佔 84%，而推估水深誤差為實測水深的 30%內的有總資料數的 93%以上。其推估水深之均方根誤差小於 2.3m。

將分布於第 5 類的 31 個經過潮汐修正的水深實測資料，與衛星資料，依(3)式進行統計迴歸，以取得從衛星資料推算水深的方程式為：

$$Y = -5.2898X + 24.307 \quad (8)$$

依上式所推算的水深，與實測水深比較，其相關決定係數  $R^2$  值為 0.2461，顯示二者相關較低(圖 4b)。

為了驗證推算水深的精確度，以另外一組 31 個經過潮汐修正實測水深數據來確認。結果顯示，推算水深與實水深間的相關決定係數  $R^2 = 0.0787$ 。

表 3 為各類遙測推估水深的精確度，在分類後第

五類推估水深誤差為實測水深的 10%內的資料佔總資料數的 74%以上。誤差為實測水深的 20%內的資料數佔 87%以上，而推估水深誤差為實測水深的 30%內的有總資料數的 93%以上。其推估水深之均方根誤差小於 0.7m，於關係係數其相關性呈現雖較為降低，但均方根誤差其偏差質反而其偏差情形較小。

綜觀所悉各分類依其所迴歸出之公式推估後使其與實測值加以分析，由圖 5 可發現其誤差範圍分布約平均分布於 -10%~40%間，未分類誤差分布較為大，範圍從 -30~50%均有，且亦有部份誤差超過 50%以上，迴歸點與驗證點誤差範圍在  $\pm 20%$  組界內達 87.7%， $\pm 30%$  組界內達 92.4%。分類後之誤差分布則較為集中；於分類後第四類部份發現其誤差範圍分布約平均分布於 -10%~40%間，於第五類部份其誤差範圍分布約平均分布於 -10%~50%間。在第四類中，在迴歸及驗證組中誤差於  $\pm 20%$  組界內達 85.3%， $\pm 30%$  組界內達 94.6%。第五類之迴歸及驗證組  $\pm 20%$  組界也可達 87%，迴歸組及驗證組部份誤差在  $\pm 30%$  組界內仍達 93.5%(表 3)。

利用第四、五類之迴歸式推估該衛星整張影像水深的深度，並繪製完整影像之水深圖(圖 6)。圖 7 顯示，影像東北角的陸域區域之突出部為三貂角地區，其北側海域中央部份為藍色區域（30m 以上）深度較深為澳底漁場；另受台北縣雙溪河河水自上游夾雜大量黃沙流出海洋，而沉澱於雙溪河北側形成綿延 5 公里長之鹽寮沙灘，其近岸水深深度顯示為 5~10m；三貂角南側近岸陸域區域自宜蘭烏石港向南起大多為沙灘地形，因底質為沙故為深度較淺，其深度顯示同為 5~10m，而越向南範圍愈大。

## 五、結論

由衛星資料所推估的水深與實測水深間的相關決定係數  $R^2$  達 0.7873 以上。由此可表示，使用單一反射率水深推算，可藉由少量的實測資料來與遙測資料迴歸出水深推估式，用該迴歸式來推估水深係為可行方式且有不錯的準確度。在未分類中迴歸組部份誤差在實測水深  $\pm 20%$  時，已包涵了 87.7%以上的資料點，其均方根誤差為 2.1m；而驗證組誤差部份在實測水深  $\pm 20%$  時，也已包涵了 83%以上的資料點，其均方根誤差為 2.4m。有此可知，未分類所推估之水深，雖有一定之誤差，但已可計算出不錯的準確率。

第四類迴歸組部份誤差在實測水深  $\pm 20%$  時，已包涵了 85.3%以上的資料點，其均方根誤差為 2.3m；驗證組誤差部份在實測水深  $\pm 20%$  時，也已包涵了 84%以上的資料點，其均方根誤差為 2.3m。第五類迴歸組部份誤差在實測水深  $\pm 20%$  時，已包涵了 80.6%以上的資料點，相較各類、各組於誤差百分比  $\pm 20%$  時低，但其均方根誤差僅 0.9m；而驗證組誤差部份在實測水深  $\pm 20%$  時，也已包涵了 87%以上的資料點，其均方根誤差僅為 0.7m。未分類及第四類的均方根誤差於 2.1m 以

上，而第五類的均方根誤差相較之下較低僅為 0.7m，第五類不論在迴歸點或驗證點的均方根誤差值都遠較未分類時的均方根誤差值小，故可推定，利用分類方式可提升或不影響其推估水深之準確度，並於第五類雖其迴歸方程式其關係係數不高，可再深入了解是否為其數值較少之原因導致，但其平均及均方根誤差明顯較低，呈現近岸水深越淺遙測準確度高及誤差越小之現象。

### 誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫 (NSC95-2611-M-019-011 及 NSC96-2611-M-019-002) 支持得以順利完成。另外，國家太空中心與國立中央大學太空及遙測研究中心提供 FORMOSAT-2 衛星資料，在此一併誌謝。

### 參考文獻

呂黎光 (2004)，" 捷鳥衛星影像應用於墾丁淺海水深之測繪分析"，航測及遙測學刊，第 9 卷，第 2 期，23-42 頁。

林奕翔 (2001)，" 高解析衛星影像之空間定位精度分析及其在淺水深度量測之應用"，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文，共 132 頁。

溫耀宗 (2006)，" SPOT 衛星影像應用於東沙環礁淺海水深之研究"，國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系研究所碩士論文，共 81 頁。

蔡為鵬、陳俊德、林榮耀 (2002)，" 海洋水色應用於石城定置網區水深之探測"，航測及遙測學刊，第 7 卷，第 3 期，19-27 頁。

Blyth, K (1981)，"Remote Sensing in Hydrology"，Report No. 74, Institute of Hydrology, Wallingford, pp. 170.

Gordon, H. R., and O. B. Brawn (1974)，"Influence of bottom depth and albedo on the diffuse reflectance of a flat homogeneous ocean"，Appl. Opt. 13, 2153-2159.

Jerlov, N. G (1951)，"Optical Studies of Ocean Waters" . Reports of the Swedish Deep sea Expedition, 3, 1, 3-57.

Lyzenga, D. R (1985)，"Shallow-water Bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data"，Int. J. Remote Sens., 6, 115-125.

Plass, G. N., and G. W. Kattawar (1972)，"Monte Carlo calculations of radiative transfer in the Earth's atmosphere-ocean system: 1. Flux in the atmosphere and ocean"，J. Phys. Oceanogr, 2, 139-145.

Tanis, F. T. and H. J. Byrne (1985)，

"Optimization of multispectral remote sensing for bathymetry application"，Proceeding 18th ISRSE, Ann Arbor, Michigan, 865-874.

Tanis, F. T. and W. A. Hallada (1984)，"Evaluation of Landsat TM data for shallow water bathymetry"，Proceeding 18th ISRSE, Ann Arbor, Michigan, 865-874.

表 1：福衛二號影像位置

	Line	Pixel	Latitude	Longitude
UL	1	1	25.1500088	121.7832613
UR	1	3211	25.1484424	122.0380244
LR	7826	3211	24.5832780	122.0333153
LL	7826	1	24.5848045	121.7797077

表 2：各類遙測推算水深準確率

		測點數	±10 %	±20 %	±30 %	±40 %	±50 %
未分類	迴歸組	106	71.6%	87.7 %	93.5 %	100 %	100 %
	驗證組	106	62.2%	83 %	92.4 %	99 %	100 %
第四類	迴歸組	75	64%	85.3 %	94.6 %	100 %	100 %
	驗證組	75	62.6%	84 %	93.3 %	100 %	100 %
第五類	迴歸組	31	80.6%	80.6 %	83.8 %	96.7 %	100 %
	驗證組	31	74.1%	87 %	93.5 %	100 %	100 %

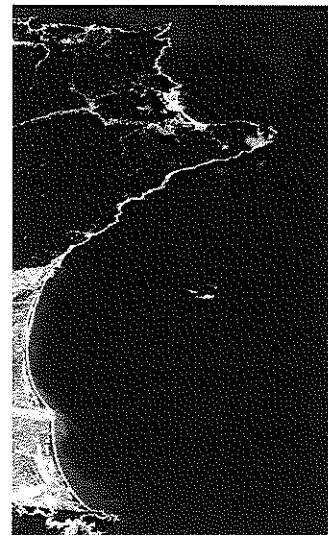


圖 1：福衛二號紅、綠、藍三波段合成之真色彩影像 (true color image)

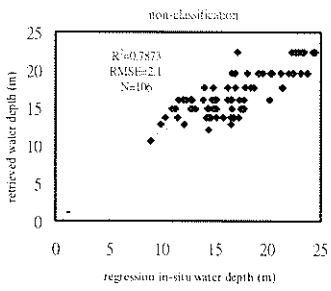


圖 2：未分類迴歸組推估水深與實測水深間的關係

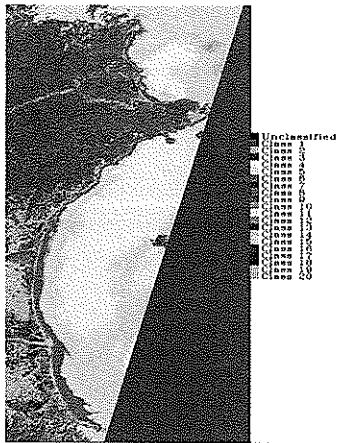


圖 3：ENVI 非監督式分類 ISODATA 分類後各類別分布圖

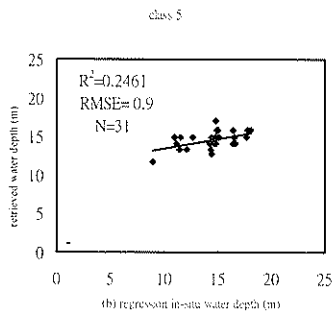
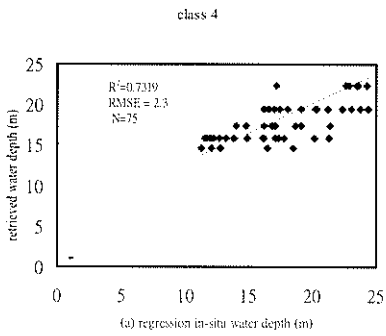


圖 4：分類迴歸組推估水深與實測水深間的關係

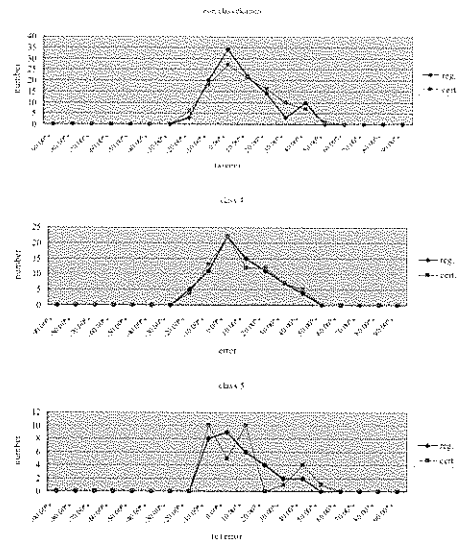


圖 5：各類遙測水深與實測水深誤差分佈

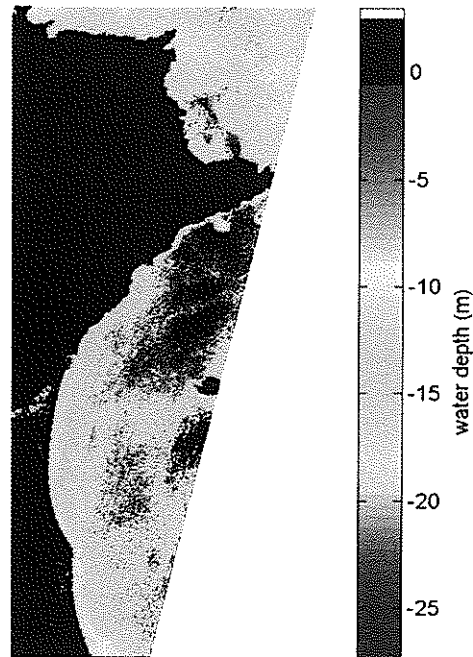


圖 6：分類全影像之遙測水深圖

