

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 西太平洋大陸棚區衛星測高應用之改善(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2611-M-009-002-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系

計畫主持人：黃金維

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 11 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告

中進度  
報告

(西太平洋大陸棚區衛星測高應用之改善 (1/3))

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2611-M-009-002

執行期間：91年8月1日至92年7月31日

計畫主持人：黃金維

共同主持人：

計畫參與人員：董曉軍、徐欣瑩、彭敏峰

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開

查詢

執行單位：交通大學土木工程學系

中 華 民 國 92 年 5 月 31 日

## 中文摘要

關鍵詞：海深，大地水準面，重力，海潮，波形重定，小波

本計畫將於三年時間大幅提昇衛星測高在近岸區之應用。首先在西太平洋區，包括黃海，東海，南海及東南亞區，所有測高資料品質將被改善。本計畫將建立西太平洋之海潮模式而用以提昇測高海潮改正之精度，計算海潮模式時將嘗試使一次差海水位為資料，並採 Kalman filtering 之計算步驟。部分測高雷達回波波形將被重定以強化岸邊測高資料。小波分析將被用於去除海水位錯誤觀測量及降低雜訊。改善後之測高資料將以預估加更新概念計算淺水區之重力異, geoid 及海深。本計畫亦將大幅改善海深之計算方法。

## Abstract

Keywords: bathymetry, geoid, gravity, ocean tide, retracking, wavelet

This is a three-year project aiming to improve greatly coastal applications of satellite altimetry. The project will first improve the quality of all altimeter data over the shallow waters of the western Pacific, including the Yellow Sea, East China Sea, South China Sea and Southeast Asia. Geosat, Ers-1, Ers-2 and TOPEX/POSEIDON altimeter data will be used. For ocean tide correction an improved tide model over the shallow waters of the western Pacific will be constructed based on singly differenced sea surface heights (SSH) and the Kalman filtering approach. Waveforms from radar echo of altimeter will be retracked to improve the accuracy of SSH near coastal waters. A wavelet filter will be designed to remove data errors and reduce noises. The improved data are then used to compute gravity anomalies using a “predicted” and “updated” procedure, where the concept of assimilation is used together with shipborne gravity data. A western Pacific geoid will also be computed based on a similar procedure. Finally, ocean depths will be modeled using the improved altimeter data and a considerably improved procedure.

## 緣由

本計劃擬用三年時間解決或降低測高資料及技術在淺海區應用的困境，第一年將自改善測高資料品質開始，進行衛星測高資料粗差偵測以及濾波，並建立該地區的海潮模式及將其應用於重力研究中，同時選擇台灣海峽以及東海測試區域，進行淺海區重力異常的推求，並與實際船測重力資料比較。

## 方法與步驟

### 1. 測高資料品質的改善

#### 1.1 粗差偵測

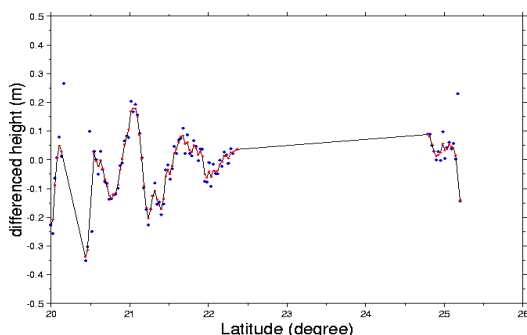
測高資料在淺海區含有較高之雜訊，甚至錯誤量，會對參數計算的結果造成很大的影響，因此使用前必須偵測出大錯或粗差，加以剔除。在本研究中，我們使用一種迭代的方法對每個 pass 的沿軌跡測高資料，進行粗差偵測；考慮沿軌跡資料之海水面高一次差的時間序列，採用高斯函數求取視窗內（window）每一個點的加權值以及視窗中心點的加權平均值，高斯函數表示式如下：

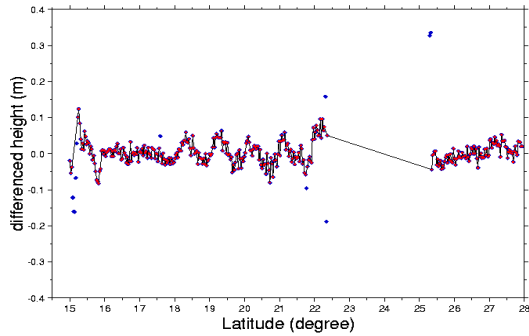
$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{\tau^2}} \quad (1)$$

其中  $\tau$  是六分之一視窗大小，高斯函數的定義請參考 GMT (Wessel and smith,1995)。

我們並求出每一點的海水面高度一次差與加權平均值的差異量，求出這些差異量的標準偏差，以三倍的標準偏差為剔除門檻值，差值大於三倍標準偏差者，視為粗差，加以剔除，因此形成新的海水面高一次差的時間序列，再次進行同樣的粗差偵測計算過程，直到沒有粗差為止。每個非粗差點在視窗內所計算出的加權平均值即為其濾波值。

我們選擇沒有重複週期的 Geosat/gm a27 軌跡的資料及具有重複週期的 Geosat/erm d64 軌跡的資料進行粗差偵測以及濾波的測試，圖一與圖二則分別為 Geosat/gm a27 經過粗差偵測之後剔除的點與保留的點的圖以及 Geosat/erm d64 經過粗差偵測與濾波處理後的結果。





圖一：Geosat/gm a27 原始資料（藍色點）經過  
剔除粗差

剔除粗差以及濾波後（紅色點）的結果

圖二：Geosat/erm d64 測高資料經過剔除

（藍色點）之後的結果（紅色點）

## 1.2 局部海潮模式的建立和應用

自從高精度的 TOPEX/Poseidon 衛星測高資料被應用到海潮模型的研究以來，全球的海潮模式得到了極大的改善，這些模式應用到深海地區的驗潮站後的殘差普遍好於 5 釐米 (Provost, 2001)。但在東中國海地區，這些模式與驗潮站資料相比顯示了較大的差異，比如 FES94.1 模式的主要分潮  $M_2$  與 192 個當地的驗潮站相比的差異是 33cm，明顯壞於 1.7cm 的全球差異。該地區複雜的大陸坡地形和洋流使得潮汐隨空間變化差異很大，這樣利用空間分佈比較稀疏的 TOPEX/Poseidon 測高資料很難建立起高精度的局部海潮模式。ERS 衛星的測高資料空間分佈較密，但其測高精度相對較差，觀測長度也比較短，特別是應用到潮汐研究必須克服由於採用太陽同步軌道所帶來的嚴重的潮譜混疊問題。

西太平洋地區，特別是黃海和東海地區的海潮隨空間變化很大，廣泛用於全球海潮模式研究的分塊處理法存在難以克服的技術問題。如果選取較大的塊面積則不能反應潮汐參數隨空間的非線性變化，如果選取較小的塊面積則不同衛星測高資料的之間的系統差難以估計，因此宜先採用逐點演算法分別計算各衛星的沿跡潮汐參數，再通過同化方法建立區域性的海潮模式。而在應用於重力場研究時，使用的觀測是沿跡測高一次差，其海潮改正可直接利用二次內插法根據鄰近軌跡的沿跡海潮模式參數的差分值計算得到。建立起逐點的測高序列後，計算潮汐參數的方法有調和法和正交潮法，對此使用驗潮站模擬的方法分析技術上的可行性，即內插驗潮站資料為等時間間隔海面高序列（TOPEX/Poseidon 取 9.9156 天；ERS 取 35 天）作為逐點海面高序列的類比資料。分別用正交潮法和調和法分析模擬 TOPEX/Poseidon 序列以驗證程式的可靠性，利用模擬 ERS 序列調試處理 ERS 資料時可以採用的策略。對於 ERS 逐點資料， $S_1$  分潮將凍結成為常數項， $K_1$  和  $P_1$  混疊成為年週期， $N_2$  和  $Q_1$  的混疊週期為 365.17 天，也容易與周年項混淆，這些因素導致調和法無法使用。

Lerwick 驗潮站有 15 分鐘間隔的驗潮資料便於插值，同時也有可靠的潮汐常數以使用於檢驗，因此被挑選為模擬站，分別使用調和法和正交潮法計算類比 TOPEX/Poseidon 類比資料顯示這二種方法的結果差異並不是很大，與標準的潮汐常數相差不超過 3 釐米。而對於類比 ERS 資料，通過試驗發現：1) 在半月潮中，由於  $M_2$  項是最主要項，同時估計平均海面高不會造成解的發散，所以應該估計平均海面高，以免該項混疊到  $S_2$  分潮中；2) 處理周日潮時，由於與周年項混疊的  $K_1$  與  $P_1$  是最主要項，如果估計周年項將會導致周日項解的發散，因此不能解算周年項；3)  $N_2$  分潮、 $Q_1$  分潮和周年項共同形成了混疊，其中， $Q_1$  是周日潮中的主要分潮，如果解算該項將會把周年變化帶到正交潮的周日係數，從而嚴重影響周日潮解的穩定性，因此在周日潮不考慮  $Q_1$  項。通過上述方案，模擬 ERS 計算出的主要潮汐常數與標準值相差不到 2 釐米。該方法尚需西北太平洋地區更多驗潮站的進行模擬檢驗。另外，由於 ERS 衛星的交叉點的時間差在該地區約為 2.53 天，接近  $S_2$  的週期倍數，試驗發現交叉點資料對解算  $S_2$  分潮的幫助不大。

## 2. 重力異常的計算

在第一年的研究當中，我們除了進行測高資料的品質改善方面的研究之外，也著手進行推求重力異常參數的計算，作為驗證資料品質改善的依據，以下將介紹採用三種不同資料型態推求出重力異常的概念：

### 2.1 以三種資料型態推求重力異常

由 Hwang and Parsons (1995) 以及 Sandwell and Smith (1997) 等人的研究顯示，使用衛星測高資料的沿軌跡垂線偏差值推求重力異常可以降低測高資料長波長誤差的影響，最典型的長波長誤差即是軌道誤差，若使用垂線偏差量求解重力異常可以免去進行交叉點平差的計算程式，尤其是在使用多重衛星測高資料的時候，特別有幫助；我們一種方法所採用的資料型態就是沿軌跡垂線偏差，其定義如下：

$$v = -\frac{\partial h}{\partial s} \quad (2)$$

第二種資料型態為海水面高一次差，其公式如下：

$$d_i = h_{i+1} - h_i \quad (3)$$

其中  $i$  為指標， $h$  為海水面高度值。

第三種資料型態為 " (height/slop) ，其定義如下：廣

$$t_i = \frac{h_{i+1} - h_i}{s_i} \quad (4)$$

其中  $h$  是海水面高度值  $h_i$  與  $h_{i+1}$  之間的距離。

相對應於以上三種資料型態，我們採用以下方法推求重力異常：  
最小二乘預估 (least-square collocation, LSC)方法，其公式如下：

$$\Delta g = C_{sv}(C_l + C_n)^{-1}l \quad (5)$$

其中： $l$  向量是觀測量，也就是三種資料型態

$C_l$  與  $C_n$  是觀測量相對應的訊號與雜訊協變方矩陣

$C_{sv}$  是觀測量與重力異常之間的協變方矩陣

## 2.2 濾波波長測定

吾人採用以上三種資料型態推求出重力異常之後，接著進行濾波處理，以期使重力異常的成果更好，濾波參數的選擇，採用以下測試的結果，分別選擇在台灣海峽區域以及東海區域進行測試，由表一與表二的結果顯示，在台灣海峽區域以及東海區域分別以 16 公里以及 22 公里為濾波參數。

表一：台灣海峽區域濾波參數測試，與船測重力資料比較之均方根值

濾波參數	RMS (mgal)
未進行濾波	11.2687
濾波波長 = 8 公里	10.8739
濾波波長 = 16 公里	10.4353
濾波波長 = 24 公里	10.5682

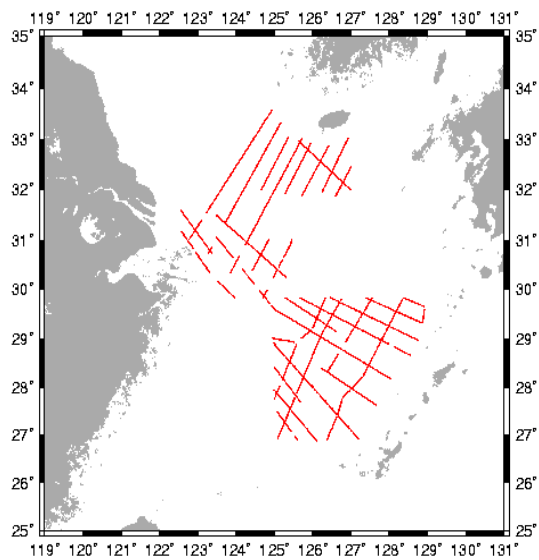
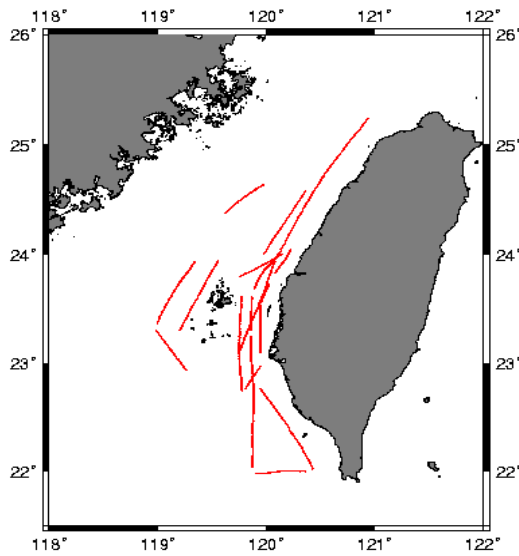


表二：東海區域濾波參數測試，與船測重力資料比較結果

濾波參數	RMS (mgal)
未進行濾波	4.227
濾波波長 = 18 公里	3.041
濾波波長 = 20 公里	3.008
濾波波長 = 22 公里	2.987
濾波波長 = 24 公里	3.042

### 3. 船測資料的收集以及處理

為了評估吾人推求重力異常的成果，我們收集了台灣海峽區域 (Hsu et al.,1998) 以及東海區域的重力異常成果，圖三與圖四顯示船測資料軌跡。



圖三：台灣海峽區域船測資料軌跡圖

圖四：東海區域船測資料軌跡圖

## 成果

海潮模式方面的成果包括建立起調和法和正交潮法的程式，利用驗潮站模擬計算的方法考察這二種方法的可行性，建立起 TOPEX/Poseidon 和 ERS 的沿跡逐點海面高序列資料庫並進行了初步的潮汐分析，同時相應的交叉點檢驗及驗潮站檢驗程式業已完成。類比計算顯示 TOPEX/Poseidon 和 ERS 週期的等間隔時間序列都可以通過正交潮法解算，其主要分潮的精度好於 2 釐米，調和法也可以對 TOPEX/Poseidon 類型資料提供類似精度的解，從而說明了沿軌跡演算法在技術上的可行性。在東海和黃海地區，交叉點方法核對和驗潮站檢驗都顯示對 TOPEX/Poseidon 資料利用調和法計算出的沿跡潮汐常數具有較高的精度。正交潮法的相應工作將於近期內完成。

推求重力異常的成果可由表三顯示結果可得知，在台灣海峽區域以三種資料型態推求重力異常，所得結果非常相近，以第一種方法可得出與船測重力差異最小的結果，在東海區域則是以第三種方法可得出與船測重力差異最小。

表三：三種資料型態推求重力異常與船測資料比較結果

方法	台灣海峽 RMS (mgal)	東海區域 RMS (mgal)
LSC (海水面高度一次差)	9.96	2.987
LSC (海水面高度斜率值)	10.26	2.987
LSC (垂線偏差值)	10.44	2.810

#### 本年研究成果發表

Hwang, C, HY Hsu and X Deng, Marine gravity anomaly from satellite altimetry: a comparison of methods over shallow waters, International Workshop on Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography, Wuhan, Sep 8-13, 2002

Hwang, C. and HY Hsu, Global and local derivations of marine gravity anomaly from multi-satellite altimetry, IUGG 2003, Sapporo, Jun 30- July 11, 2003

#### 參考文獻

C Provost, Ocean tides(2001), Satellite altimetry and earth sciences, edited by Fu LL and A Cazenave, Academic press, Sandiago, pp276-303

Hsu S, Liu C, Shyu C, Liu S, Sibue J, Lallemand S, Wang C, Reed D (1998) New gravity and Magnetic Anomaly Maps in the Taiwan-Luzon region and their preliminary interpretation, TAO, 9(3):509-532

Hwang C, Parsons B (1995) Gravity anomalies derived from Seasat, Geosat, ERS-1 and Topex/Poseidon altimeter and ship gravity: a case study over the Reykjanes Ridge, Geophys J Int 122: 551-568

Sandwell DT, Smith WHF (1997) Marine Gravity Anomaly from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry, J Geophys Res 102: 10039-10054

Wessel P, Smith WHF (1995) New version Generic Mapping Tools release, EOS Trans, AGU, pp.76