

衛星測高南海海潮及水準面模式  
**Ocean tide and geoid models from satellite altimetry**

計劃編號：NSC87-2611-M-009-001-OS

執行期間：86年8月1日至87年7月31日

主持人：黃金維 國立交通大學土木系 教授

一、中文摘要(關鍵詞：海潮、衛星測高、南海、大地水準面)

本計畫以 hydrodynamic 法配合 CSR3.0 之邊界條件求得南海地區之一初始海潮模式。再以 TOPEX/POSEIDON, ERS-1, ERS-2 測高資料得一修正模式。此修正模式含  $2'5 \times 2'5$  網格點上之正交權，可用以內插南海任一點於任一時間之潮高值，其精度在大陸棚可達 20-30 公分，其他地區約 10 公分。本計畫再以 deflection-geoid 公式，以測高資料計算得南海  $2' \times 2'$  之大地水準面值。配合測高資料此水準面可用於計算南海海流。

英文摘要(keywords : ocean tide, satellite altimetry, South China Sea, geoid )

The project produces an initial ocean tide model of the South China Sea (SCS) using the hydrodynamic method with the tidal vales of CSR 3.0 as the boundary condition. The initial model was corrected using TOPEX/POSEIDON, ERS-1 and ERS-2 altimeter data. The corrected model contains orthoweights on a  $2'5 \times 2'5$  grid which can be used to interpolate the tidal height at any time of a given point in the SCS. Over the continental shelf the model has an accuray of 20-30 cm, and about 10 cm elsewhere. A  $2' \times 2'$  gridded geoid for the SCS is produced using the deflection-geoid formula and altimeter data. Together with altimeter data, the geoid model can be used to compute ocean circulations of the SCS.

二、計畫緣由與目的

本計畫旨在以多衛星資料建立一南

海海潮及大地水準面(geoid)模式以為南海海洋研究之用。南海島礁星羅棋佈，多無人居住，在有我國駐軍的島礁設置驗潮計已屬不易，更何況主權屬他國之島礁。南海海潮模式有其科學及實用的價值：在科學方面，精確之海潮模式可用以修正海深測量之海潮效應、改善衛星測高品質等；實用方面，海潮模式可用於預估島礁沉沒及浮現時間，進而提供導航、漁業、軍事之用途。再者，南海 geoid 面對南海研究有重要用途，例如：以衛星測高資料推求地轉流時必須有一精確的 geoid；再者，geoid 可供絕對海水位變化的參考。

三、研究方法與結果

3.1 南海海潮模式建立

本計畫海潮模式建立的步驟為：(1) 以 hydrodynamic equation 建立一初始模式；(2) 以測高資料修正此模式。Hydrodynamic equation 數值解法可參考 Davies (1980, 1986)。吾人以 CSR 3.0 海潮模式(Eanes and Bettadpur, 1996)為開口邊界之起始條件，以有限差分法解得  $2'5 \times 2'5$  網格點上之 30 天時間序列，此時間序列視為潮位觀測值，再以正交潮位法求其正交權。正交潮位法適用於解算半日及全日潮。週期為兩星期以上之分潮，則以平衡潮理論推算。本研究使用之正交潮位法之公式為：

$$\zeta(\phi, \lambda, t) = \sum_{l=1}^{30} \sum_{m=1}^2 \sum_{j=0}^2 [U_j^m(\phi, \lambda) P_j^{m,l}(t) + V_j^m(\phi, \lambda) Q_j^{m,l}(t)] \quad (1)$$

其中 $\zeta$ 為潮高， $l$ 、 $m$ 、 $j$  分別為分潮，潮種類(半、全日)及正交權之指標。 $U$ 、 $V$  為正交權，且為位置之函數(未知)， $P$  及  $Q$  則為正交函數(已知)，與時間及分潮頻率有關。其他細節可見 **Cartwright and Ray (1990)**。以上述 hydrodynamic 法求得之潮高，配合 **lenst-squares** 方法，則可求得所有  $2'.5 \times 2'.5$  網格點上之正交權  $U$ 、 $V$ 。欲求任一點， $t$  時之潮高，可利用一內插程式得該位置之正交權，再用公式(1)計算之。

接著，吾人自衛星測高觀測得之瞬間海水面高  $h$  扣除一平均海水面高(本計畫使用 **MSSOSU95**)， $\bar{h}$ ，及上述求得初始潮高，即得殘餘海水面高  $\Delta h$ ：

$$\Delta h(\phi, \lambda, t) = h(\phi, \lambda, t) - \bar{h}(\phi, \lambda) - \zeta(\phi, \lambda, t) \quad (2)$$

利用公式(1)及  $\Delta h$  即可求得正交權之修正量而得一改善之海潮模式。實際求修正量時，只考慮任一網格點半徑 0.5 度內之測高資料。表一列出所使用之測高資料。吾人取南海地區六個驗潮站之實測資料分析海潮模式之精度，其結果如表二所示。

表二顯示模式潮高在深海部分之精度較淺海及岸邊之精度高，部分站則在加入測高資料後精度降低。整體而言，本計畫推求之海潮模式(即表二之"修正模式")在大陸棚及岸邊之精度可達 20 到 30 公分，其他地區達十餘公分，可滿足南海大部分地區之科學用途。

### 3.2 南海大地水準面模式

本計畫採用 **Hwang (1998)** 所發展的 deflection-groid 公式計算南海大地水準面 (geoid)。Deflection-groid 公式為：

$$\begin{aligned} N(p) &= \frac{R}{\psi\pi} \iint_{\sigma} \left( -\cot \frac{\psi_{pq}}{2} + \frac{3}{2} \sin \psi_{pq} \right) \varepsilon_{qp} d\sigma_q \\ &= \frac{R}{\psi\pi} \iint_{\sigma} C'(\psi_{pq}) \varepsilon_{qp} d\sigma_q \end{aligned} \quad (3)$$

其中  $N(P)$  為任一  $P$  點之大地起伏， $\sigma$  為單位球(即地球，但半徑為 1)， $q$  為球面  $\sigma$  之任一點， $\psi_{pq}$  為  $p$ 、 $q$  兩點在球心的夾角， $d\sigma_q$  為球面積元素， $\varepsilon_{qp}$  為  $q$  點沿  $p$  點之垂線偏差分量。詳見圖一， $\varepsilon_{qp}$  可表為：

$$\varepsilon_{qp} = \xi_q \cos \alpha_{qp} + \eta_q \sin \alpha_{qp} \quad (4)$$

其中  $\xi_q$ ， $\eta_q$  為  $q$  點之南北、東西垂線偏差分量。

實際計算時，先在南海地區以 **Seasat**，**Geosat**，**ERS-1** 及 **TOPEX/ POSEICON** 測高資料的沿軌跡垂線偏差，以 **least-squares collocation (Moritz, 1980)** 計算在規則網格點上之  $\zeta$ 、 $\eta$  兩量，詳見 **Hwang and Parsons (1995)**。在組網格之同時，可疑的觀測量以 **Pope (1976)** 的  $\tau$ -測試法將之剔除；最後以 **1DFFT (Haagmans et al., 1993)** 計算網格點上之大地起伏：

$$\begin{aligned} N_{\phi_p}(\lambda_p) &= \frac{R\Delta\phi\Delta\lambda}{4\pi} F_1^{-1} \left\{ \sum_{\phi_q=\phi_1}^{\phi_2} F_1[C'(\Delta\lambda_{qp}) \cos \alpha_{qp}] F_1(\xi_{\cos}) + \right. \\ &\left. F_1[C'(\Delta\lambda_{qp}) \sin \alpha_{qp}] F_1(\eta_{\cos}) \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $\Delta\phi$ ， $\Delta\lambda$  為網格之緯度、經度間格， $\phi_1$ 、 $\phi_2$  為最南、最北之有效緯度， $\xi_{\cos} = \xi \cos \phi$ ， $\eta_{\sin} = \eta \sin \phi$ ， $F_1$  為 1D FFT，而  $C'(\Delta\lambda_{qp})$  為  $pq$  兩點相對應之核函數(見公式 3))，由於  $C'$  在  $\psi_{pq} = 0$  時無定義，故應考慮最內圈效應，即

$$N_i = \frac{S_0^2}{4} (\xi_y + \eta_x) \quad (6)$$

其中  $S_0$  為最內圈半徑大小， $\xi_y$ ， $\eta_x$  為垂線偏差之梯度。配合 **EGM96**

(Lemoine et al., 1997)，本計畫以去除回復法以上述公式及衛星測高求得之垂線偏差而計算得南海之 $2' \times 2'$ 大地水準面，圖二為此面之等值圖。該圖顯示在南海盆地中央，水準面變化平緩，但在南端有島礁分布之區，則變化較劇烈，此乃因海底地形引起。靠近中南半島，水準呈負值，顯示該區密度較低。Manila Trench, Palawan Trough 等地形則在圖二明顯可見。本計畫所計算得之水準面，現正配合 SCSMEX 計畫推求南海環流。

#### 四、討論與結論

本計畫已成功地以 hydrodynamic 法及衛星測高資料求得南海地區  $2'.5 \times 2'.5$  之海潮正交權，可用以內插得南海任一地點、任一時間之潮高，其相關資料如下：

1. ortho98\_scs.ot... 南海海潮校正權檔  
ortho98\_scs.eot... 南海彈性海潮校正權檔
2. scstide.f ... 輸入 ortho98\_scs.ot 及 ortho98\_scs.eot 及一經緯度、時間表，即得該表所需之潮高。

本計畫亦算得南海之大地水準面 (geoid)，其相關資料如下：

1. geoid98.9rd1... 南海 geoid  $2' \times 2'$  .grd 檔 (V1 format)
2. geoid.f... 輸入 geoid98.9rd1 及經、緯度表即得該表所需之 geoid 高。

本計畫執行成果發表於：

1. Hwang, C. and S. A. Chen, 1998. Ocean tide modeling over the South China Sea, Eos Trans., AGU, Vol. 79, No.24, Western Pacific Geophys. Meeting, Taipei.
2. 陳松安, 黃金維, 1998, 建構台灣海峽海潮模式，第十七屆測量學術及應用研討會論文集, 226-235, 台南。

3. Hwang, C., 1998. Inverse Vening Meinesz formula and deflection-geoid formula: applications to the predictions of gravity and geoid over the South China Sea, Journal of Geodesy, 72, 304-312.

#### 五、參考文獻

- Cartwright, D. W. and A. C. Edden 1973. Corrected tables of tidal harmonics, Geophys. J. R. Astron. Soc., 33, 253-264.

- Davies, A. M. and G. K. Furnes 1980, Observed and computed  $M_2$  tidal currents in the North Sea, J. Phys. Oceanogr., Vol. 10, 237-257.

- Davies, A. M. 1986. A three-dimensional model of the Northwest European continental shelf, with application to the  $M_4$  tide, J. Phys. Oceanogr., Vol. 16, 797-813.

- Eanes, R. and S. Bettadpur 1996. The CSR3.0 global ocean tide model: Diurnal and semi-diurnal ocean tides from TOPEX/POSEIDON altimetry, CSR-TM-96-05, Univ. of Tex. Cent. For Space Res., Austin, Texas.

- Haagmans, R. E. de Min, and M. Van Gelderen, 1993. Fast evaluation of convolution integrals on the Sphere using 1D FFT, and a comparison with existing methods for Stokes integral, maruscr. geod., 18. 227-241.

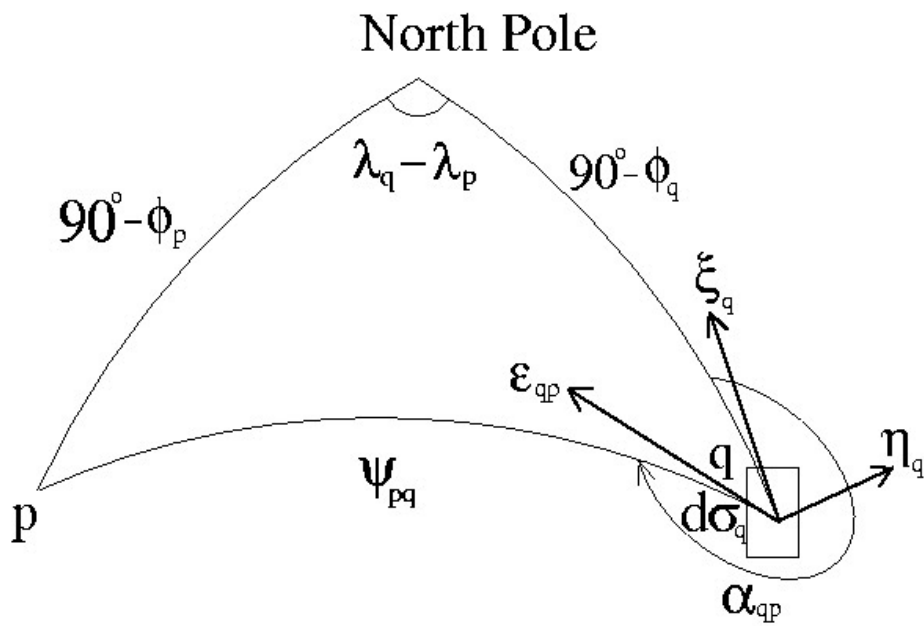
- Hwang, C., 1998. Inverse Vening Meinesz formula and deflection-geoid formula: applications to the predictions of gravity and geoid over the South China Sea, Journal of Geodesy, 72. 304-312.

- Hwang, C., and B. Parsons, 1995. Gravity anomalies derived from Seasat, Geosat, ERS-1 and TOPEX/ POSEIDON altimetry and ship gravity: a case study over the Reykjanes Ridge, Geophys. J. Int., 122. 551-568.

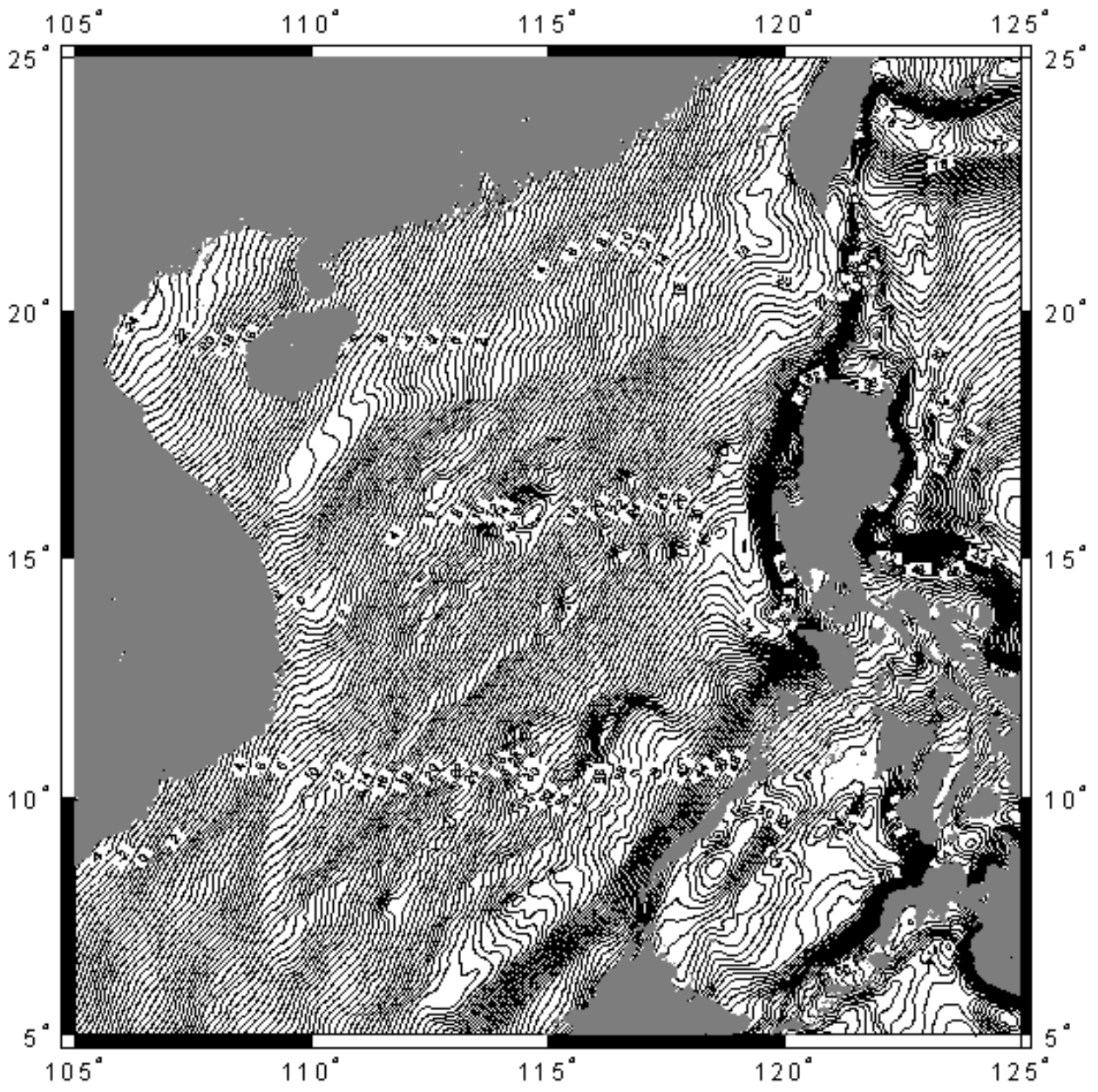
Lemoine, F.G., et al., 1997. The development of the NASA/GSFC and NIMA Joint Geopotential Model, Proc. Int. Symp. on Gravity, Geoid and Marine Geodesy, Tokyo.

Pope, A.J., 1976. The Statistics of Residuals and Detection of Outliers, TR. NOS. 65 NGS, NOAA, National Ocean Service, Rockville, Maryland.

Moritz, H., 1980. Advanced Physical Geodesy, Abacuss Press.



圖一、逆 Vening Meinesz 公式及垂線偏差分量示意圖



圖二、南海水準面等值圖

表一、海潮模式使用之資料

	周數(cycles)	時段(月/日/年)	提供者
T/P	10-201	12/21/1992-03/09/1998	AVISO(1996)
ERS-1	phase C	10/06/1992-12/23/1993	AVISO(1997)
	phase G	03/24/1995-06/02/1996	
ERS-1 GM	phase E & F	04/10/1994-03/09/1995	AVISO(1997)
ERS-2	0-24	04/24/1995-06/06/1996	AVISO(1997)
	12-24	06/06/1996-09/01/1997	

表二、實測模式潮高差異之均方根值

站名	緯度	經度	初始	修正	時間
Dongsha	20.69830	116.72000	12.70	12.46	1997,11-1998,03
Taiping	10.51444	114.35833	15.75	21.91	1996,12-1997,05
Quarry-bay	22.30000	114.22000	32.93	25.09	1996,01-1996,12
Zhapo	21.58000	111.83000	41.16	34.13	1994,01-1994,12
Haikou	20.01667	110.28333	24.64	31.48	1994,01-1994,12
Kota Kinabalu	5.98333	116.06667	12.72	10.96	1996,01-1996,12