

# 臺灣海域由海流引致之漂沙傳輸現象探討

廖建明<sup>1</sup> 莊文傑<sup>2</sup> 許朝敏<sup>3</sup> 陳思樺<sup>4</sup> 高家俊<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心副研究員

<sup>2</sup> 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

<sup>3</sup> 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心副研究員兼海事工程組組長

<sup>4</sup> 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心研究助理員

<sup>5</sup> 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心資深研究員兼主任

## 摘要

針對臺灣海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性模擬海洋變動，並以此海流變化為依據，探討潮流與洋流優勢流速與流向帶動下，討論與評估海流所引致之漂沙傳輸擴散與長期性沖淤潛勢。

關鍵詞：海流、漂沙傳輸、海洋模式 POM

## A Study on the Sediment Transport Phenomena Caused by Ocean Currents in the Seas around Taiwan

Jian-Ming Liao\* Wen-Jye Juang Chao-Min Hsu Szu-Hua Chen  
Chia-Chuen Kao

\* Research Associate, National Applied Research Laboratories, Taiwan Ocean Research Institute

## ABSTRACT

The study is aimed to simulate ocean current in the coastal waters around Taiwan by using the Princeton Ocean Model (POM). A couple of the tidal and ocean circulation effects is taken into consideration in ocean current simulations, and verifications are also carried out to improve rationality and the precision by using the measurement data. The potential long-term sediment transport in the seas around Taiwan can be driven by the ocean current of the model results. The results could provide a helpful reference to evaluate the long-term processes of the coastal erosion and deposition.

Keywords: Ocean current; Sediment transport; Princeton Ocean Model

## 一、前言

漂沙傳輸現象與海岸保育及近岸災害防救之應用密切相關，由於每進行海岸工程相關開發規劃之環境影響評估時，除了近岸波浪所引致之近岸流輸沙效應外，亦會討論潮流與大尺度恆常洋流的影響，但在模式邊界條件上缺乏長時間實測海流資料，導致無合理可信的洋流資料可供模式驗證參考與設定邊界上之洋流條件。鑑此，針對臺灣近海有必要進行綜合洋流與潮流效應之海流模擬研究，藉

以充分掌握恆常海流之水動力特性，並建立合理的數值模式作為近岸海流評估的有效工具，確立海流對近岸工程之影響性，以釐清海流特性在維護海岸穩定所具有的輕重角色，評估其對海岸工程規劃保護策略的可能衝擊。廖等人(2012)透過模式模擬臺灣海域洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並利用港研中心於各港口外之海流實測數據進行模式驗證，其驗證模式結果具合理性。並由臺灣海域洋流與潮流綜合效應中發現，臺灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動，而臺灣中

西部、西南部海域及東部離岸等海域應考慮洋流對這些區域海流變動特性之影響。

而臺灣位於西太平洋颱風侵襲區域與地震帶上，島上河川坡度大河水湍急，由於地震造成土石鬆動，加上颱風暴雨之大量雨水造成嚴重地形侵蝕與土石流，根據經濟部水資會歷年來河川輸沙量之估計，臺灣島上河系流域每年每平方公里平均流失土石超過一萬公噸，侵蝕速率高居世界第一(扈和洪，2011)。有源就有匯，若陸地侵蝕為源，必形成海域沉積之匯，如此嚴重的地形侵蝕所導致土石輸出形成海中沉積物與海岸的地形的變化。扈和洪(2011)利用臺灣海峽各處採集之重力岩心與箱型岩蕊，經放射性核種測定後所得之臺灣海峽沉積速率與沉積物粒徑，由比對臺灣海峽地形圖中，可看出兩者間存在一相似性，其與臺灣海峽內潮汐、海流變動應有密切關係。

在海岸工程觀點中，底床沙粒受波浪運動流速引起之底床磨擦影響，在碎波帶內之攪動形成懸浮狀態之懸浮載，進而受波浪往復流動或其所引致的近岸流流動帶動漂沙移動，或沙粒沿著底床水流挾帶成為滾動、滑動或躍動狀態之底床載，懸浮載與底床載兩者相加即為總輸沙載，其受到波浪水分子流速、近岸流或海流等因素形成漂沙傳輸現象，近而形成海岸地形變化。而輸沙來源主要由河川所攜帶，而此輸沙大部分沉澱在河口與三角洲地帶，小部分直接流至沿岸，但仍有部分較細顆粒之懸浮沉積物會經由河川輸送至外海，可能在外海沉積或輸送到遠處。

錢等人(2011)利用現場觀測潮汐對於濁水溪所輸送之懸浮沉積物對於臺灣海峽輸送之影響中發現，在極端事件下濁水溪河口懸浮沉積物可傳送至離岸方向 3 公里遠。除了較大顆粒之沙粒沉積在近岸地區之外，其餘細顆粒受到海流帶動會輸送至何處?故本研究重點在於評估臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估，其並不探討波浪所引起的海岸漂沙變化，而是從大尺度洋流與潮流可能輸送之沉積物現象觀點，來評估臺灣附近海域所可能的產生沉積物傳輸現象。

本研究由漂沙傳輸擴散模式，並結合綜合海流與潮流之三維 POM (Princeton Ocean Model) 模式，利用 2009 年之模擬海流與臺灣主要河川之漂沙量

與流量做為漂沙來源，進行臺灣海域漂沙濃度定性模擬以了解由海潮流所引致之漂沙傳輸現象。

## 二、模式介紹

美國普林斯頓大學海洋模式的發展，早期是由於 Blumberg and Mellor (1983) 在大西洋南方海灣作的一連串預測的數值模擬，直到 1987 年 Blumberg 和 Mellor 再整理模式之後命名為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM 模式。POM 模式能描述三維的海洋變化物理現象，控制方程式包含採用垂直  $\sigma$  座標之連續方程式、動量方程式、鹽度與溫度守恆方程式，模式中並包含 Mellor and Yamada (1982) 紊流閉合模式(turbulence closure model)。在數值技巧方面，水平網格可利用正交曲線網格，提高解析度並增加計算效率。而 POM 模式採用分割技巧，利用水深積分將三維方程式轉換成二維模式，將模式分成二維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而三維模式來模擬緩慢變化的內部波動或熱動力變化等，可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷，關於模式詳細內容可參考 Mellor (2003)。

為了探討臺灣近岸海域輸沙潛勢特性所需，故建置以漂沙濃度擴散方程式為基礎之數值模擬程式，由於本研究海潮流模擬建構於 POM 模式之上，為了應用上之便利性，故漂沙濃度擴散模組之建置亦以 POM 模式中之副程式加以修改，如傳導與擴散項等，並參考 Wang(2002)之底質傳輸模式建置本研究所使用之漂沙傳輸擴散模式，以下則說明漂沙擴散模式之控制方程式與參數設定。

漂沙擴散模式僅考慮單一粒徑底質 (single-sized sediment)，其三維傳輸擴散方程式可表示為：

$$\frac{\partial C_S}{\partial t} + \frac{\partial(UC_S)}{\partial x} + \frac{\partial(VC_S)}{\partial y} + \frac{\partial[(W + w_S)C_S]}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial C_S}{\partial z} \right) + F_C \quad (1)$$

其中  $C_S$  為底質濃度， $w_S$  底質沉降速度， $K_h$  為底質垂直渦流混合擴散係數， $F_C$  為水平擴散項。而表面或側向邊界在漂沙擴散模式中並不考慮，表面通量設定為零與側向邊界為輻射邊界條件，而底床邊界條件表示為：

$$K_h \frac{\partial C_S}{\partial z} = E_S, \quad z = -H \quad (2)$$

其中  $E_S$  為底質傳輸通量，其為底質沉積與再懸浮之淨通量，參考 Ariathurai and Krone (1976) 之公式，其可表示為：

$$E_S = \begin{cases} E_0 \left( \frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right) & , \text{if } |\tau_b| > \tau_c \\ C_{Sb} w_S \left( \frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right) & , \text{if } |\tau_b| < \tau_c \end{cases} \quad (3)$$

其中  $E_0$  為侵蝕參數， $\tau_c$  為再懸浮與沉積之臨界剪應力， $C_{Sb}$  為底床層之底質濃度。由於僅考慮輸沙潛勢特性之探討，且現今之輸沙與地形變遷模式仍具有許多不確定性，多數漂沙傳輸仍多為經驗公式，故在此所使用之  $E_0$  侵蝕參數為  $10^{-4} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ 。而漂沙傳輸擴散方程式之數值技巧與 POM 模式中計算溫度與鹽度變化方式一致，在水平方向採用顯式法、垂直方向採用隱式法計算，數值穩定條件與計算時距之選擇方式亦與 POM 模式中一致。

### 三、模式建置與設定

#### 3.1 臺灣海域海潮流模式

本研究利用 MPI 平行化方式提升 POM 模式計算效率，故可大幅提高計算格網之解析度。為了合理的模擬臺灣海域之高解析度海流變化，故採用巢狀格網計算方式縮小模擬範圍增加模式解析度，在本研究中採用全球、西北太平洋、臺灣海域及臺灣近岸海域四層格網的模式設定。第一層格網為全球 POM 洋流模式(G1)，計算領域南至南極洲，北至北緯 70 度，東西邊界互相連接為一週期性邊界，格網解析度為  $1/4 = 0.25$  度；第二層則縮小範圍至西北太平洋(N2)，計算領域為東經 105~175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，格網包括赤道南北附近海域，格網解析度為  $1/10 = 0.1$  度約為 10 公里；第三層則為臺灣海域(T3)，而格網範圍為東經 116~128 度、北緯 15~41.3 度，格網解析度為  $1/32 = 0.03125$  度約為 3.5 公里。而臺灣近岸海域(T-S)格網範圍為東經 118.5~122.7 度、北緯 21~27 度，解析度為  $1/100$  度約為 1 公里。圖 1 分別為全球(G1)、西北太平洋(N2)、臺灣海域(T3)及臺灣近岸海域(T-S)之計算領域地形水深圖，G1 至 T3 之地形水深採用 ETOP1 地形水深資料庫，其解析度為  $1/60$  度，而

T-S 臺灣近岸海域格網之地形水深採用國科會海洋學門之地形水深資料庫(Liu 等人, 1998)，其解析度為 500 公尺，其計算格網間距小於水深資料庫格網間距區域採內插方式。

在邊界條件方面，海面溫度採 NOAA OI SST 的週平均資料庫，其資料範圍為 1981 年 1 月至今，空間解析度為 1 度，海面風場與氣壓資料為 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的 6 小時一筆之大氣資料庫，其資料範圍為 1948 年至今。模式鹽度與溫度起始資料以 WOA09 海洋資料庫的年平均氣候值，而鹽度邊界條件則使用 WOA09 海洋資料庫之海面鹽度月平均氣候值做為海面邊界。關於模式設定，全球模式之起始時間為 1981 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2010 年 12 月 31 日，而西北太平洋與臺灣海域模式之起始時間亦為 1981 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日，而巢狀格網相互連接邊界資料更新頻率為日平均值。

除了海流之外，必須考慮天文潮汐為近岸海域之重要影響因素，故利用邊界條件處理方式來模擬臺灣海域洋流與潮流同時存在之流況。其利用臺灣海域洋流模式(T3)為基礎，採用 Matsumoto 等人 (2000) 所提出的 NAO99 模式來建立天文潮位邊界，並以上述之全球天文潮汐模式之水位輸出結果做為驅動天文潮推算所需的動力邊界條件，配合西北太平洋海域模式(N2 模式)所輸出之海流流速與水位，將潮汐與洋流模式之水位兩者相加後，並考慮遠域之潮汐流速影響分量很小，以洋流模式結果做為流速主要成分，提供臺灣海域模式所需的水位與流速邊界條件進行模擬。

#### 3.2 漂沙傳輸模式

海岸地形侵蝕與淤積，除了區域內沙的運移有關外，部分原因應與河川輸砂量及含沙量之特性因素有關。為了模擬臺灣河川所輸出的沉積物之傳輸擴散現象，本研究所需漂沙傳輸資料來源為河川輸砂量，根據經濟部水利署出版之臺灣水文年報，取得近三年臺灣 21 條重要河川之河川流量和懸移質測站資料推估年總輸砂量，各測站盡量選取較靠近出海口區域，以其能盡量代表河川輸砂為主，其測站架於渠道附近，洪水來時水流湍急混濁，常造成測站故障，測量甚為困難。本次彙整臺灣 21 條重要河川，並分為北、中、南、東共四個部分。

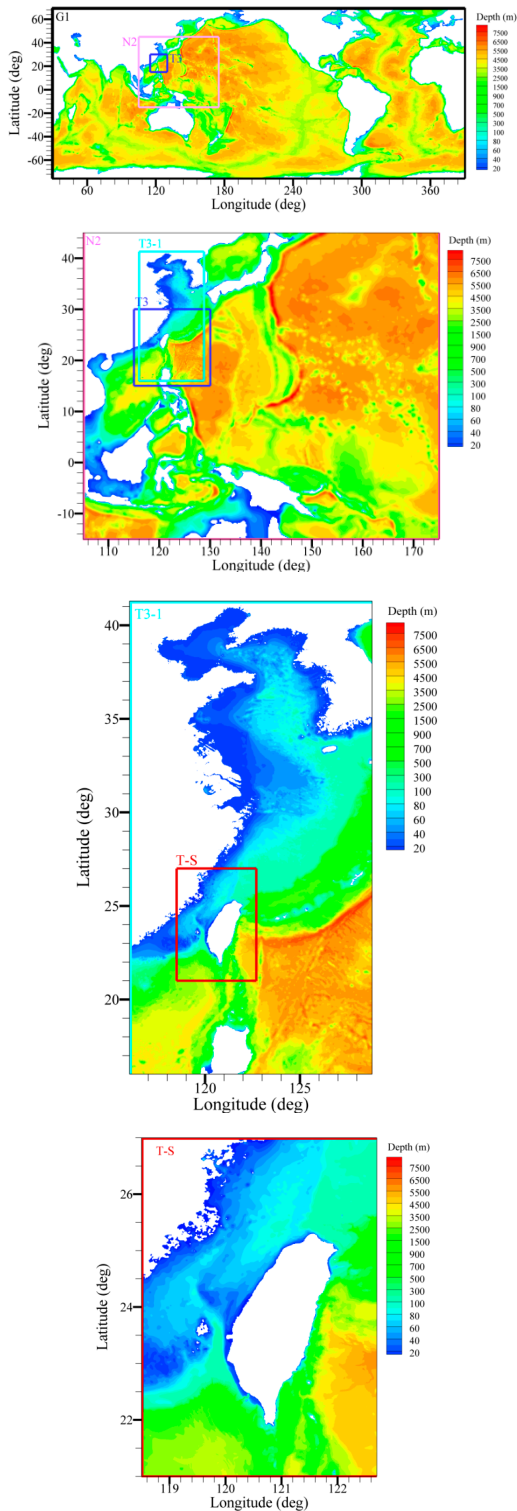


圖 1 全球海域模式(G1)、西北太平洋海域模式(N2)、臺灣海域模式(T3)及臺灣近岸海域模式(T-S)地形水深圖

將河川平均流量和年輸砂總體積繪製成圖，由圖 2 可知濁水溪輸砂量為全台之冠，可達 25 百萬立方公尺以上，平均流量為 130 秒立方公尺，其次依序為高屏溪(年輸砂總體積約為 19 百萬立方公尺，平均流量為 239 秒立方公尺)、卑南溪(年輸砂總體積約為 8 百萬立方公尺，平均流量為 81 秒立方公尺)、秀姑巒溪、花蓮溪、蘭陽溪、曾文溪、八掌溪、林邊溪、烏溪、東港溪、北港溪、二仁溪、朴子溪、大安溪、後龍溪、淡水河、急水溪、鹽水溪、頭前溪。

利用所收集的臺灣主要河川年輸砂量與河川流量做為沉積物輸出數量與河川平均流量的依據，作為漂沙傳輸擴散模式之輸入條件，配合上節所建置的臺灣海域海流模式，模擬臺灣海域漂沙傳輸擴散行為與特性探討。

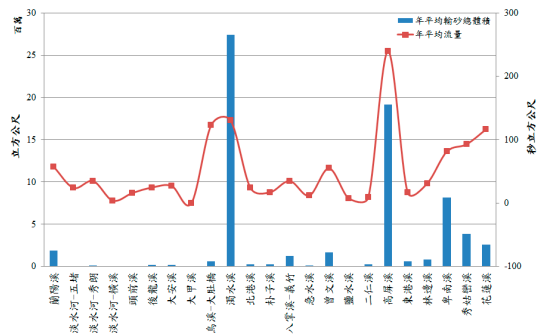


圖 2 臺灣本島主要河川流量與輸砂量統計圖

#### 四、結果與討論

圖 3 分別為臺灣海域表面之春、夏、秋及冬季平均漂沙濃度與海流流速流向分布圖，由圖中可知，不論季節漂沙濃度於臺灣西側海域之台中至嘉義一帶海域漂沙濃度最高，夏季於西南部外海亦有明顯較高漂沙濃度，秋季在彰化外海漂沙濃度明顯呈現一三角狀分布，由圖中海流分布可知，由於夏秋兩季台灣海峽中黑潮分支於臺灣西側外海流速強勁，黑潮分支繞過雲彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，所以將西部河川所輸出之漂沙帶往外海，形成外海漂沙濃度較高之現象，且平均海流走向有一明顯向北趨勢之相關性。對照臺灣西北部河川輸砂量較小，卻在春夏兩季在臺灣北側海域可見漂沙濃度較高之分布，此現象或許可說明臺灣西側海域夏季漂沙傳輸現象由於海流的影響造成趨

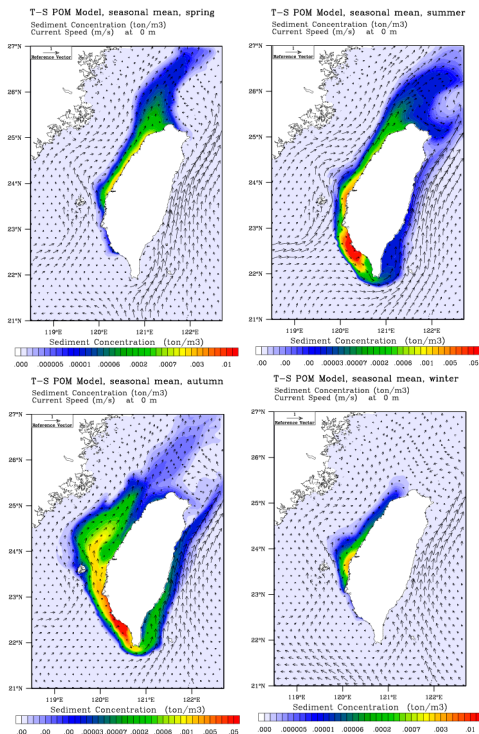


圖 3 臺灣海域表面之季平均漂沙濃度與海流分布

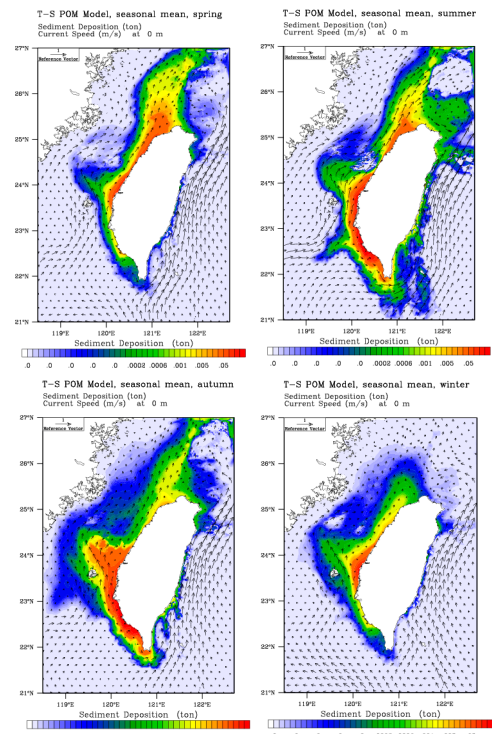


圖 4 臺灣海域表面之季平均沉積量與海流分布

勢向北。而冬季由於海流流速較小，由於潮汐往復作用無法將漂沙帶離海岸，故僅在河川輸沙量較高之臺灣西側形成較高濃度之現象。

圖 4 為臺灣海域春、夏、秋及冬季平均漂沙沉積量與表面海流分布圖，由圖中年平均漂沙沉積量可知，不論季節在臺灣中西側彰化、雲林外海之沉積量最高，此沉積量與臺灣中西部海域之雲彰隆起海底地形具有一致性，此為雲彰隆起地形造成此處沉積量為最高，或者是由於潮流與海流雙重作用下造成此處沉積量最高，則有待更多模擬資料進行討論。除此之外，臺灣西北部海域亦明顯可見沉積量較高現象，此與西北部海域漂沙濃度較高現象一致，由沉積量分布可看出，沉積量大約分布在臺灣苗栗至台北金山一帶近岸海域，而在桃園外海沉積量較大。圖中亦可發現，臺灣南側海域亦有一明顯沉積現象，其可能由臺灣西南側海域之海流由北向南流動帶至臺灣南側海域處沉積有關。

## 五、結論

本研究建置一漂沙傳輸擴散模式，並結合綜合海流與潮流 POM 模式，利用 2009 年之模擬海流與

臺灣主要河川之漂沙量與流量做為漂沙來源。由漂沙傳輸模擬可初步發現，漂沙濃度之定性分布於臺灣西側海域之台中至嘉義一帶海域漂沙濃度最高，而在彰化外海漂沙濃度明顯呈現一三角狀分布，而臺灣西側海域漂沙傳輸優勢方向之趨勢向北，其與平均海流走向有一明顯相關性，而漂沙之定性沉積量與臺灣中西部海域之雲彰隆起海底地形具有一致性，其是由於潮流與海流雙重作用下造成此處沉積量最高，或雲彰地形隆起之影響，則有待更多模擬資料進行討論。

## 謝誌

本論文係交通部運輸研究所港灣技術研究中心專題研究計畫「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」(編號 MOTC-IOT-101-H3DB004a)之研究成果，承蒙港灣技術研究中心經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌(2011)，臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬，交通部運輸研究所，共 414 頁。

2. 扈治安、洪崇勝(2011)「臺灣海峽沉積物的來龍去脈：多示蹤劑法研究」，行政院國家科學委員會自然科學簡訊研究成果報導，第 23 卷第 1 期，第 4-8 頁。
3. 錢樺、江文山、鄭皓元、劉康克(2011)「高潮流流速下河口沉積物再懸浮機制探討」，第三十三屆海洋工程研討會論文集，第 435-440 頁。
4. Ariathurai, R. and Krone, R.B. (1976) "Mathematical modelling of sediment transport in estuaries," *Circulation, Sediments, and Transfer of Material in the Estuary*, M. Wiley, Ed., Estuarine Processes, Vol. II, Academic Press, pp. 98-106.
5. Blumberg, A.F. and Mellor, G.L. (1983) "Diagnostic and prognostic numerical circulation studies of the South Atlantic Bight," *J. Geophys. Res.*, 88, pp. 4579-4592.
6. Blumberg, A.F. and Mellor, G.L. (1987) "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model," *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 4, edited by N. Heaps, 208p.
7. Liu, C.S., Liu, S.Y., Lallemand, S.E., Lundberg, N. and Reed, D. (1998) "Digital elevation model offshore Taiwan and its tectonic implications," *TAO*, Vol. 9 (4), pp. 705-738.
8. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M. (2000) "Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan," *J. Oceanogr.*, Vol. 56, pp. 567-581.
9. Mellor, G.L. (2003) *Users Guide for a Three-dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
10. Mellor, G.L. and Yamada, T. (1982) "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems," *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. 20, pp. 851-875.
11. Wang, X.H. (2002) "Tide-induced sediment resuspension and the bottom boundary layer in an

idealized estuary with a muddy bed," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 32, pp. 3113-3131.