

102-42-7690

MOTC-IOT-101-H3DB004a

# 臺灣環島近岸海域大尺度海流 引致之輸沙潛勢評估



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-42-7690

MOTC-IOT-101-H3DB004a

# 臺灣環島近岸海域大尺度海流 引致之輸沙潛勢評估

著者：廖建明、許朝敏、莊文傑

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估

交通部運輸研究所

GPN : 1010200348

定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估 /

廖建明, 許朝敏, 莊文傑著.-- 初版.-- 臺北市 :

交通部運研所, 民 102.02

面 ; 公分

ISBN 978-986-03-6172-8(平裝)

1.海流

351.9

102003255

臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估

著 者：廖建明、許朝敏、莊文傑

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 102 年 2 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010200348

ISBN：978-986-03-6172-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6172-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1010200348	運輸研究所出版品編號 102-42-7690	計畫編號 101-H3DB004a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：莊文傑 研究人員： 聯絡電話：04-26587185 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：台灣海洋科技研究中心 計畫主持人：廖建明 研究人員：許朝敏、楊文昌、蔡原祥、劉紹勇、 楊文榮、曾瓊蓉、陳思樺 地址：852 高雄市茄苳區東方路一段 219 號 聯絡電話：07-6986886 轉 123		研究期間 自 101 年 2 月  至 101 年 12 月
關鍵詞：海洋數值模式；普林斯頓海洋數值模式；洋流；潮流；漂沙傳輸潛勢			
摘要：			
<p>本計畫為四年期研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第四分年研究計畫，針對台灣海域特殊的海峽與陸架坡地形，使用美國普林斯頓大學三維海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)模擬台灣海域海流特性，透過實測資料的驗證改善模式合理性。並利用台灣海域各種時間尺度的海流變化特性，探討大尺度恆常海流的優勢流向特性，進而評估海流所引致之台灣海域長期性漂沙傳輸特性潛勢。</p> <p>本計畫以潮流與洋流綜合效應之海潮流模擬結果驅動漂沙傳輸擴散模式，以台灣 20 條主要河川流量與輸沙量為來源，藉以探討由河川輸沙所引致之海域漂沙傳輸擴散現象。從結果中可發現，台灣中西側海域之沉積量最高，此沉積現象與雲彰隆起之海底地形具有一致性，而台灣西南海域、西北海域、南部墾丁海域及宜蘭海域亦有明顯之堆積現象。而台灣西部海域大尺度漂沙趨勢大致上為由南向北，而漂沙來源可以台南為分界，台南以北海域漂沙主要來源為濁水溪，以南則由高屏溪為主。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 2 月	270	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級：			
<input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密)			
<input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE:</b> An assessment on the potential sediment transportation caused by the large-scale ocean current in the coastal waters around Taiwan			
ISBN 978-986-03-6172-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200348	IOT SERIAL NUMBER 102-42-7690	PROJECT NUMBER 101-H3DB004a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang PROJECT STAFF: PHONE: (04) 26587185 FAX: (04) 26564415			<b>PROJECT PERIOD</b>  FROM February 2012 TO December 2012
RESEARCH AGENCY: Taiwan Ocean Research Institute PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jian-Ming Liao PROJECT STAFF: Chao-Min Hsu, Wen-Chang Yang, Yuan-Shiang Tsai, Shao-Yung Liu, Wen-Rong Yang, Chiung-Jung Tseng, Szu-Wua Chen ADDRESS: No.219, Sec. 1, Dongfang Rd., Qieding Dist., Kaohsiung 852, Taiwan PHONE: 07-6986886 ext 123			
<b>KEY WORDS:</b> ocean circulation model, Princeton Ocean Model, ocean circulation, tidal current, potential sediment transportation			
<b>ABSTRACT</b>  <p>The present project is aimed to simulate ocean current in the complex bottom topography of sea around Taiwan. The working items of this year follow research results in the last three years. The Princeton Ocean Model (POM) is adopted to construct a high resolution three-dimensional ocean current model simulating different scales of the ocean current around Taiwan. A couple of the tidal and ocean circulation effects is taken into consideration in the simulations, and verifications are also carried out to improve the rationality and precision of the simulations by using the measurement data. The model results can be investigated the long-term and large-scale characteristics of the ocean current and evaluated the potential sediment transportation in the sea around Taiwan.</p> <p>In the present study, the sediment transportation and diffusion numerical model was driven by the ocean current with the combined effects of tidal and circulation currents. The discharges and the sediment loads of 20 major rivers of Taiwan were as sources to investigate the sediment transport phenomenon in the sea around Taiwan. It can be found that the distribution of the sediment deposition amount is highest in the western waters of Taiwan, and its position is also consistent with the location of Yunchang Rise. The apparent sediment deposition phenomenon also could be found in the southwestern, northwestern, southern Kenting and Ilan offshore waters. In the analysis, the large-scale trend of the sediment transportation is from the south to the north. The source of sediment as a dividing line can be in the Tainan coast, the north area of the sediment is from Jhuoshuei River, and the south area is from Kaoping River.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b> February 2013	<b>NUMBER OF PAGES</b> 270	<b>PRICE</b> 300	<b>CLASSIFICATION</b> <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估

## 目 錄

中文摘要 .....	I
ABSTRACT .....	II
目 錄 .....	III
圖 目 錄 .....	V
表 目 錄 .....	IX
符號表 .....	XII
第一章 緒論 .....	1-1
1.1 研究動機 .....	1-1
1.2 計畫背景 .....	1-2
1.3 工作項目與預期成果 .....	1-9
1.4 本文組織 .....	1-13
第二章 POM 模式之理論介紹 .....	2-1
2.1 模式特性 .....	2-1
2.2 控制方程式 .....	2-2
2.3 數值方法 .....	2-11
2.4 海氣交互介面邊界條件 .....	2-17
2.5 漂沙傳輸擴散模式 .....	2-19
2.6 巢狀格網邊界 .....	2-20
第三章 POM 模式執行環境建置 .....	3-1
3.1 軟硬體設備建置 .....	3-1

3.2 POM 模式操作說明 .....	3-5
3.3 資料蒐集 .....	3-6
<b>第四章 台灣海域海流模式建置與驗證 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 台灣海域洋流特性 .....	4-2
4.2 台灣海域海流模擬系統之建置 .....	4-4
4.3 台灣海域潮位推算改善與驗證 .....	4-40
4.4 台灣海域海流月季年特性分析 .....	4-52
<b>第五章 台灣海域漂沙潛勢模擬 .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 台灣海域漂沙現象之月平均傳輸潛勢 .....	5-2
5.2 台灣海域漂沙現象之季、年平均傳輸潛勢 .....	5-4
<b>第六章 結論與建議 .....</b>	<b>6-1</b>
6.1 結論 .....	6-1
6.2 建議 .....	6-3
<b>參考文獻 .....</b>	<b>參-1</b>
<b>附錄一 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊 .....</b>	<b>附 1-1</b>
<b>附錄二 期末簡報 .....</b>	<b>附 2-1</b>
<b>附錄三 期中報告審查意見處理情形表 .....</b>	<b>附 3-1</b>
<b>附錄四 期末報告審查意見處理情形表 .....</b>	<b>附 4-1</b>

## 圖 目 錄

圖 2-1 $\sigma$ 座標系統 .....	2-8
圖 2-2 內外模相嵌示意圖.....	2-12
圖 2-3 二維外部模式網格配置圖.....	2-12
圖 2-4 三維內部模式網格配置圖.....	2-13
圖 2-5 模式計算流程圖.....	2-16
圖 2-6 巢狀格網邊界示意圖.....	2-21
圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程.....	3-2
圖 3-2 MPI 平行化 POM 模式之效率評估圖.....	3-5
圖 3-3 基隆港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-14
圖 3-4 蘇澳港海氣象測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-15
圖 3-5 花蓮港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-15
圖 3-6 台中港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-16
圖 3-7 高雄港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-16
圖 3-8 安平港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-17
圖 3-9 台北港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖 .....	3-17
圖 3-10 台灣地區之河川與水資源分區圖 .....	3-23
圖 3-11 經濟部水利署第一河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-26
圖 3-12 經濟部水利署第二河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-27
圖 3-13 經濟部水利署第三河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-28
圖 3-14 經濟部水利署第四河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-28
圖 3-15 經濟部水利署第五河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-29

圖 3-16 經濟部水利署第六河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-30
圖 3-17 經濟部水利署第七河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-31
圖 3-18 經濟部水利署第八河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-32
圖 3-19 經濟部水利署第九河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-33
圖 3-20 經濟部水利署第十河川局所管水位站及流量站分布圖 .....	3-34
圖 3-21 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖 .....	3-69
圖 3-22 台灣主要河川年平均流量與年輸沙總量圖 .....	3-75
圖 4-1 全球主要洋流分佈圖.....	4-2
圖 4-2 全球洋流(G1)模式計算領域地形水深圖 .....	4-7
圖 4-3 西北太平洋(N2)模式格網範圍與地形水深圖 .....	4-8
圖 4-4 台灣海域(T3、T3-1)模式格網範圍與地形水深圖 .....	4-8
圖 4-5 綜合潮汐與洋流效應模式之模擬流程示意圖 .....	4-9
圖 4-6 台灣海域之年平均流速流向比較圖 .....	4-14
圖 4-7 台灣海域之春季平均流速流向比較圖 .....	4-18
圖 4-8 台灣海域之夏季平均流速流向比較圖 .....	4-20
圖 4-9 台灣海域之秋季平均流速流向比較圖 .....	4-22
圖 4-10 台灣海域之冬季平均流速流向比較圖 .....	4-24
圖 4-11 台灣附近海域各季之水深 0 至 200 公尺平均流速分布圖 ...	4-26
圖 4-12 台灣海域模式之年平均溫度、鹽度比較圖 .....	4-27
圖 4-13 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖 .....	4-32
圖 4-14 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖 .....	4-34
圖 4-15 海洋中心錨定串列觀測儀器佈置圖 .....	4-37
圖 4-16 海洋中心錨定串列佈放位置圖 .....	4-38

圖 4-17 高屏峽谷錨定串列之觀測海流與模擬結果比較圖 .....	4-38
圖 4-18 高屏峽谷處不同深度之東西、南北分量流速比較圖 .....	4-39
圖 4-19 高屏峽谷處東西、南北分量流速比較散布圖 .....	4-39
圖 4-20 台灣海域模式潮位模擬結果與實測值之統計參數比較圖 ...	4-43
圖 4-21 各種模擬方式於台中港潮位之 2009 年 6 月比較結果 .....	4-44
圖 4-22 台灣海峽南北斷面位置示意圖 .....	4-47
圖 4-23 二維與三維潮流模式於台灣海峽南北斷面之通量逐時變化圖	4-47
圖 4-24 三維潮汐模式於台中港退潮位時段之南北斷面流速分布圖	4-48
圖 4-25 水深平均二維潮汐模式於台中港退潮位時段之南北斷面流速 分布圖 .....	4-50
圖 4-26 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之每兩小時表面海流變化圖 .....	4-55
圖 4-27 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均表面海流 .....	4-58
圖 4-28 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均 200 公尺深處海流 .....	4-60
圖 4-29 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之季平均表面海流 .....	4-62
圖 4-30 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之季平均 200 公尺深處海流 .....	4-63
圖 4-31 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之年平均海流 .....	4-64
圖 5-1 台灣海域 T3 模式月平均漂沙濃度與沉積量分布圖 .....	5-6
圖 5-2 台灣海域春季平均漂沙濃度與沉積量分布圖 .....	5-10
圖 5-3 台灣海域夏季平均漂沙濃度與沉積量分布圖 .....	5-11
圖 5-4 台灣海域秋季平均漂沙濃度與沉積量分布圖 .....	5-12
圖 5-5 台灣海域冬季平均漂沙濃度與沉積量分布圖 .....	5-13

圖 5-6 台灣海域年平均漂沙濃度與沉積量分布圖 .....5-14

圖 5-7 台灣環島近岸海域之水下沙體 .....5-15

## 表 目 錄

表 1-1 計畫規定進度甘特圖.....	1-14
表 3-1 NCEP/NCAR 再分析海氣象資料格式.....	3-7
表 3-2 CFSR 資料格式.....	3-7
表 3-3 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式.....	3-8
表 3-4 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式.....	3-8
表 3-5 NODC WOA09 海洋資料庫格式.....	3-10
表 3-6 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料.....	3-10
表 3-7 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料.....	3-10
表 3-8 ETOPO2 地形水深資料庫格式.....	3-11
表 3-9 ETOPO1 地形水深資料庫格式.....	3-11
表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式.....	3-11
表 3-11 五大商港海流觀測資料.....	3-13
表 3-12 五大商港潮位觀測資料.....	3-13
表 3-13 五大商港風速、向觀測資料.....	3-14
表 3-14 水位流量站及水位站一覽表.....	3-35
表 3-15 懸移質輸沙量與流量之迴歸關係式.....	3-38
表 3-16 2008 年台灣主要河川月平均流量統計表.....	3-39
表 3-17 2009 年台灣主要河川月平均流量統計表.....	3-40
表 3-18 2010 年台灣主要河川月平均流量統計表.....	3-41
表 3-19 台灣主要河川之月平均流量統計表.....	3-42
表 3-20 2008 年台灣主要河川月平均河川懸移質輸沙量.....	3-43

表 3-21 2009 年台灣主要河川月平均河川懸移質輸沙量 .....	3-44
表 3-22 2010 年台灣主要河川月平均河川懸移質輸沙量 .....	3-45
表 3-23 蘭陽溪之河川總輸沙量 .....	3-46
表 3-24 淡水河-五堵之河川總輸沙量 .....	3-47
表 3-25 淡水河-秀朗之河川總輸沙量 .....	3-48
表 3-26 淡水河-橫溪之河川總輸沙量 .....	3-49
表 3-27 頭前溪之河川總輸沙量 .....	3-50
表 3-28 後龍溪之河川總輸沙量 .....	3-51
表 3-29 大安溪之河川總輸沙量 .....	3-52
表 3-30 烏溪-大肚橋之河川總輸沙量 .....	3-53
表 3-31 濁水溪之河川總輸沙量 .....	3-54
表 3-32 北港溪之河川總輸沙量 .....	3-55
表 3-33 朴子溪之河川總輸沙量 .....	3-56
表 3-34 八掌溪-義竹之河川總輸沙量 .....	3-57
表 3-35 急水溪之河川總輸沙量 .....	3-58
表 3-36 曾文溪之河川總輸沙量 .....	3-59
表 3-37 鹽水溪之河川總輸沙量 .....	3-60
表 3-38 二仁溪之河川總輸沙量 .....	3-61
表 3-39 高屏溪之河川總輸沙量 .....	3-62
表 3-40 東港溪之河川總輸沙量 .....	3-63
表 3-41 林邊溪之河川總輸沙量 .....	3-64
表 3-42 卑南溪之河川總輸沙量 .....	3-65
表 3-43 秀姑巒溪之河川總輸沙量 .....	3-66

表 3-44 花蓮溪之河川總輸沙量.....	3-67
表 3-45 台灣主要河川月平均河川輸沙量 .....	3-68
表 4-1 巢狀格網之範圍與計算條件.....	4-9
表 4-2 模式計算背景資料與計算時間 .....	4-10
表 4-3 模式重要參數表.....	4-10

## 符號表

$A_H$	: 溫鹽水平渦旋擴散係數
$A_M$	: 動量水平渦旋擴散係數
$B_1$	: 紊流閉合常數
$C$	: Horcon 參數
$C_D$	: 拖曳係數
$C_E$	: 蒸發通量係數
$C_H$	: 熱通量係數
$C_{pV}$	: 水蒸氣之比熱
$C_{pW}$	: 水之比熱
$C_T$	: 最大內部重力波速
$C_t$	: 最大水平速度
$C_S$	: 漂沙濃度
$C_{sb}$	: 底床層之底質濃度
$C_z$	: 摩擦參數
$D$	: 總水深
$D_*$	: 無因次粒徑
$E_S$	: 底質傳輸通量
$E_0$	: 侵蝕參數
$\dot{E}$	: 蒸發通量
$F_C$	: 為水平擴散項
$F_\theta$	: 水平方向由溫度擴散產生之側向混合力
$F_S$	: 水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力
$F_u$	: $x$ 方向之雷諾應力
$F_v$	: $y$ 方向之雷諾應力
$G$	: 任何物理變數
$H$	: 水深
$K_h$	: 底質垂直渦旋混合擴散係數
$K_M$	: 動量的垂直渦旋混合擴散係數
$K_H$	: 熱量的垂直渦旋混合擴散係數
$K_q$	: 鹽度的垂直渦旋混合擴散係數

$L$	: 蒸發潛熱
$LWR$	: 長波輻射(longwave radiation)
$\dot{P}$	: 降雨通量
$R$	: 短波輻射穿透量
$Q_s$	: 顯熱
$S$	: 鹽度
$S'$	: 砂與水之密度比
$S_H$	: 穩定函數
$S_M$	: 穩定函數
$S_q$	: 穩定函數
$S_w$	: 海面鹽度
$T_s$	: 平滑化的解
$T_{10}$	: 海面 10 公尺高溫度
$T_w$	: 海面溫度
$U$	: $x$ 方向分量流速
$\bar{U}$	: $x$ 方向水深平均流速
$U_w$	: $x$ 方向水面流速
$U_w$	: 水面流速
$U_{10}$	: 海面 10 公尺高風速
$U_{10}$	: 海面 10 公尺高 $x$ 方向風速
$V$	: $y$ 方向分量流速
$\bar{V}$	: $y$ 方向水深平均流速
$V_w$	: $y$ 方向水面流速
$V_{10}$	: 海面 10 公尺高 $y$ 方向風速
$W$	: 流速在 $z$ 方向之分量
$\tilde{W}$	: 接近壁面函數
$c$	: 內部重力波速
$d_{50}$	: 漂沙中值粒徑
$e_{10}$	: 水蒸氣壓力
$f$	: 科氏力係數
$g$	: 重力加速度
$l$	: 紊流的尺度參數
$n$	: 雲覆蓋率

$p$	: 壓力
$q^2$	: 紊流的動能
$q_w$	: 海面空氣之比濕
$q_{10}$	: 海面 10 公尺高之比濕
$t$	: 時間
$\Delta t_E$	: 外部模式計算時距
$\Delta t_I$	: 內部模式計算時距
$u_\tau$	: 頂部與底部的摩擦速度
$w_S$	: 底質沉降速度
$w_I$	: 海面垂直方向傳輸速度
$x$	: 空間中的水平方向
$y$	: 空間中的水平方向
$z$	: 空間中的垂直方向
$z_0$	: 粗糙係數
$\eta$	: 水面高程
$\theta$	: 勢溫(在淺水時為現場溫度)
$\kappa$	: von Karman 常數
$\rho$	: 海水混合密度
$\rho'$	: 海水密度擾動量
$\rho_0$	: 平均海水密度
$\rho_A$	: 空氣密度
$\sigma$	: $\sigma$ 座標系統
$\zeta$	: Stefan-Boltzman 常數
$\omega$	: $\sigma$ 座標系統之垂直流速分量
$\Delta$	: 數值格網間距
$\tau_c$	: 再懸浮與沉積之臨界剪應力

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

本計畫為四年期研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第四分年研究計畫，希望透過本計畫研究成果能了解台灣海域各種尺度的海流變化特性，探討大尺度恆常海流的優勢流速與流向特性，進而討論與評估海流所引致之海岸長期性沖淤潛勢。本課題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，評估其對採行海岸工程規劃保護之「近自然工法」策略的可能衝擊。

本計畫針對台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，分析台灣海域之海流特性。主要工作項目為延續前三年計畫成果，在已經建置之模式基礎與操作經驗上，透過實測資料的驗證持續改善模式合理性，針對台灣海域建構可以描述近岸解析度之三維海流變動特性模式，分析洋流與潮流成分特性與綜合效應，評估近岸海域長期之年月季平均優勢海流特性，及台灣海域長期之年月季輸沙潛勢，完成本計畫「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」之研究，計畫完成後進行技術與資料移轉，以期模式轉移至交通部運輸研究所後能順利使用，提供合理的模擬海流工具做為相關單位擬定政策之參考。

## 1.2 計畫背景

海洋是陸地河川的總滙聚所，具有豐富的生態，為生養哺育地球萬物的重要生產區。海流則是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源「永續經營及利用」的最根本與關鍵課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。此外，基於海洋與氣候的大尺度特性，其彼此間複雜的交互作用與影響，因此海流的研究，長久以來一直是跨國界、跨學門領域的艱鉅工作，其不僅牽涉層面廣泛，更需要大量水下、海上、太空等人力與物力資源的整合。先進的海洋國家無不積極參與投入其中，臺灣及日本即曾有黑潮觀測計畫，韓國亦曾有東北亞海洋觀測系統等。隨著計算機的進步，數值海洋模式更是蓬勃發展，如 COHERENS (COupled Hydrodynamical Ecological model for REgioNal Shelf seas)、POM (Princeton Ocean Model)、ROMS (Regional Ocean Modeling System)、HYCOM(HYbrid Coordinate Ocean Model)等模式都是使用者眾多的分享模式。

在海潮流模式之研究方面，可分為潮汐與洋流的模擬，隨著模擬區域水理特性的需求，數值模式一般分為二維和三維模式。而常見的二維模式有水平二維模式和垂直二維模式兩種。而水平二維模式多應用於水平運動尺度遠大於垂直尺度的波動特性上，如潮汐的流動，如 Leendertse (1967)、Stelling (1986)等人、黃(2001)。其控制方程式為水深平均的淺水波方程式(depth-averaged shallow water wave equation)，這些模式應用於潮汐及波浪傳波模擬，以有限差分法求解連續方程式和動量方程式。而垂直二維模式，如 Bouden 和 Hamilton (1975)、Park 和 Kuo (1993)等，其中 Park 和 Kuo 所發展的模式稱為 MODEL-2D，以定蓋(rigid lid)假設配合 Munk-Anderson 紊流模式，將其應用範圍擴展至河川水質模擬。

利用水平二維模式針對台灣海域潮波特性研究，如莊(2000)蒐集整理台灣環島及中國大陸沿岸潮汐實測與調和分析資料，就實測潮汐特

性與地形、水深之關聯性做詳細之剖析。依據台灣海峽明顯之陸架地形進行潮波協振盪之理論解析，並使用水深積分後的二維水動力計算模式 (Danish Hydraulic Institute, DHI) 之計算結果探討潮波與潮流之動力及運動特性，說明台灣海峽水域潮差特別顯著之原因，應係半日潮波在狹長海峽渠道之特殊長度陸架地形上呈現潮波協振盪共振所導致，且台灣海峽潮波之總體運動方向應依據全日潮波之傳遞方向而判定，全日潮波在台灣海峽水域內之運行方向為由北往南單一方向傳遞。

而台灣海峽內平均水深為 80 公尺，其可視為一形狀頗為規則之矩形陸架(shelf)(莊，2000)，其總長度約為 650 公里，根據廖等人(2011)綜合洋流與潮流模擬之結果，台灣海峽內之主要流動現象仍以潮流為主導，潮流主要以半日和全日潮流為主，兩者之潮流主軸方向都約平行於海峽縱走向，澎湖以北為正規的半日潮區，澎湖以南為不正規半日潮區，而海峽南端開口則為不正規全日潮區。針對台灣環島沿岸海域之實測潮位資料分析(劉，1996；1999)，平均潮差於基隆為 79.5 公分、淡水 247.1 公分、桃園竹圍 278.2 公分、新竹南寮 371.4 公分、台中港 400.8 公分、澎湖馬公 223.2 公分、嘉義東石 169.8 公分、高雄港 68.5 公分、台東成功 125.3 公分，故在台灣環島海域，潮差以中西部海域潮差最大，台灣南部海域為最小、北部次之，且南北海域潮差約具對稱性。而就潮時相位分布而言(莊與江，2000a；2000b)，台灣東部海域第一次滿潮之潮時為最早，台灣南端之南灣與北端之福隆相當，高雄與鼻頭角近似，將軍與石門、淡水潮時相同，中部海域之澎湖、台西及台中港相當。而由潮時特性上之分析(莊與江，2003)，鼻頭角與基隆直線距離不及 20 公里，但潮時差異竟達 3 小時，淡水至台中海岸線距離在 200 公里以上，而潮時差異竟不到 30 分鐘。此外，台灣西南部沿岸，恆春南灣至台南將軍之海岸線距離約與將軍至台中港距離相當，但前者潮時差異亦高達 3 小時又 30 分鐘，而後者僅約有 1 小時左右。可見台灣西南與東北部海域，由於大陸棚架地形之影響，具由潮汐潮差特別小，但潮時變化卻甚為劇烈之特性。而王玉懷(1998；1999)

依據實測潮汐資料之調和分析結果與凱文波理論，說明台灣海峽潮波運動方向，其實是由北向南傳遞進行，且由潮流實測資料分析，布袋至馬公間半日潮平均流速為 117 公分每秒，全日潮平均流速為 32 公分每秒，澎湖至金門間，半日潮平均流速為 46.7 公分每秒，全日潮平均流速為 7.9 公分每秒。

在三維模式應用上，由於計算費時加上邊界條件取得不易，Nihoul (1977)提出擬似三維模式(qusi-three dimensional model)計算的概念。所謂擬似三維模式，即是三維模式經處理後可分為局部一維模式和水深平均二維模式，期以相當於二維計算容量及計算時間的模式，來提供多變水流特性的擬似三維空間分布的相關資訊。Nihoul 已將這種模式應用到北海(North Sea)及亞得里亞海(Adriatic sea)，在水理特性分析方面均得到不錯的結果。同樣的計算方法在 1988 年 Lardner 和 Cekirge 也提到，並命名為 VHS (Vertical Horizontal Splitting)計算方法。吳(1997)以 Lardner 和 Cekirge (1988)的 VHS 模式概念，透過求解簡化的水平動量控制方程式，來獲得水平速度隨水深的變化量，而提出擬似三維水動力計算模式。林(1999)則進一步研究擴充擬似三維水動力計算模式的邊界處理能力，使能推算河、海共同作用下的河川水理問題。

本計畫所使用的美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)的發展，早期是由於 Blumberg 和 Mellor (1983)在大西洋南方海灣作的一連串預測的數值模擬，該數值模式發展一個時變三維動量方程式並使用 $\sigma$ 座標的模式，包含一個由 Mellor 和 Yamada (1982)研發的紊流閉合模式(turbulence closure model)。接著 Oey 等人(1985a；1985b；1985c)利用該模式模擬 1980 年七月到九月這段期間的 Hudson-Raritan 河口，模擬結果展現時間獨立、三維的速度和鹽度場結構，其結果描述複雜的海域循環和河口的混合過程。直到 1987 年 Blumberg 和 Mellor 再整理及撰寫過去幾年來發展的三維數值循環模式，稱為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM 模式。Ezer 和 Mellor (1991)使用 POM 原始動量方程式，跟隨底部平滑的垂直座標系統和一個跟隨近岸的水平正交座標系統，進行大範圍水力特性計算，延伸範圍包括

墨西哥灣流，並可同時模擬如溫度、鹽度等水理特性。而 Oey (2005；2006)則增加一乾溼格網技巧，延展 POM 模式於沿海地區對於海水漲退或溯升降之模擬。

數值模式的目的是在於可提供詳細的模擬資料，以了解模擬區域的海流特性，如 Zavatarelli 和 Mellor (1995)則模擬實際的地中海流況，並與各種觀測結果比較。Aikman 等人(1995)將 POM 模式和其他發展中的近岸海洋預測系統(Coastal Ocean Forecast System，簡稱 COFS)作比較。近年來，大部分應用在近岸和小範圍地區的模式也開始使用在大範圍的海洋、海岸地區，例如 Ezer 和 Mellor (1997；2000)、Ezer (1999)第一次將 $\sigma$ 座標模式應用在整個大西洋海域水理特性的數值模擬，藉由模式計算獲得基本的海洋循環特性。且模擬結果與觀測值和其他模式(例如 z-level 模式) Mellor 等人(2002)做比較，結果顯示兩種模式有不同的模擬結果。最主要的不同在於 z-level 模式在有坡度的底層無法只做一層的模擬，而在多層的模擬則會產生一個像階梯地形的結構，以致無法精確地表示底部邊界層流之流況。葉(2002)利用 POM 模式為建立適合模擬台灣海域之潮汐模式，找尋該模式最佳化參數，以完成一套台灣海域作業化潮汐預報模式。另外，盧與吳(2005)曾利用 POM 針對台灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究。由此可知，POM 模式不但可計算小尺度河川、渠道等之水理運動例如溫度、鹽度等的改變，亦可模擬大尺度海洋、海岸等天文潮及氣象潮所引起的水位與流場變化。

對於臺灣附近海流的研究，Hsin 等人(2008)利用 POM 模式建置  $1/8^\circ$  解析度之東亞邊緣海模式，利用模式結果討論 1982 至 2005 年間的黑潮變化。其結果發現黑潮流經台灣東岸時，在近岸區域可延伸至 300 公尺水深，在離岸區域可達 600 公尺深度，在某些區域甚至可達 1000 公尺深度，而黑潮於台灣東岸之平均流量約為  $32.7 \pm 4.4\text{Sv}$ 。而 Wu 等人(2007)利用高解析度 POM 模式、風場與海面溫度資料模擬台灣海峽之海流變化，其結果發現夏季黑潮支流直接越過彰雲隆起，冬季由於東北季風的影響中國沿岸流阻擋海峽中向北流的流動，於彰雲

隆起北側形成一逆時針渦流。

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮全年皆由南而北流經東部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南沿流經臺灣海峽。除此之外，基於臺灣海峽的水深地形所引致的半日型潮波共振效應，在臺灣海峽的南北兩端開口，常年有潮波的無潮點存在。因此，導致潮流的流速普遍甚強勁，洋流與強勁潮流的交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性產生異常的特殊變化，如在高雄港外海即可測得漲潮流向向南而退潮流向向北的特殊海流特性。如此可見，為補充既有地球環境科技監測體系的完整，針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形與地理環境，達成政府對於海洋國家的政策目標，有必要針對大尺度潮流與洋流進行綜合研究，探討洋流對潮流等近岸水動力特性之相關影響。

本計畫為四年期研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第四分年研究計畫，希望透過本計畫研究成果對於台灣海域各種尺度的海流變化特性能全面掌握，其不僅具有本土化概念，對於海洋資源的開發與永續發展息息相關，更與海洋國家長期性、全面性、總體性的海岸保育策略關聯密切。可預期地，此研究成果可成為臺灣從事深層海水水資源開發利用、海洋資源保育、海岸保護、與近岸災害防救等新興課題之基礎，亦是達成海洋國家永續發展目標之科研重點。而本計畫研究成果之推展與深化，並透過更多海洋研究成果的結合，不僅可以利用於本土性自然工法及先期水海環境資源保育技術之研發，重要的亦可有效提昇近岸海域海水資源管理與防救災科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵。

在第一分年「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」(廖等人, 2010)計畫中，針對台灣鄰近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完成台灣鄰近海域的洋流模擬，並建立模式作業化雛型，其研究成果可重現西北太平洋中洋流流動，並可模擬出台灣海域存在的親潮、南海吹送流、黑潮等洋流現象，為後續計畫提供有效

研究工具。

在第二分年「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」(廖等人, 2011)計畫中, 改善模式合理性與模擬精度, 並簡化前置與後置處理軟體與流程, 利用模擬結果分析台灣東部海域洋流與深層海水年季月特性, 並利用國科會海洋學門之海流與水文資料庫進行模式驗證與改善, 於台灣海域年月季之海流與水文資料驗證皆具有定性定量之合理性。並利用表面海流浮標追蹤、深海錨碇海流實測及岸基測流雷達等資料與模式結果加以比對皆可獲得合理的成果, 顯示台灣海域洋流模式之合理性與可靠性。對於近岸海域之潮流與洋流綜合效應之初步探討, 利用高雄海域近岸單點實測資料與模擬結果之比較, 其結果與高雄海域單點測站之水位、流速、流向具有合理之一致性, 顯示欲模擬台灣西南近岸海域之海潮流現象, 高解析度格網與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件, 但洋流與潮流混合模擬僅對台灣西南海域進行驗證, 其餘台灣附近海域是否具有相同特性仍須進行探討與驗證。

在第三分年「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」(廖等人, 2012)計畫中, 主要工作項目為延續前兩年計畫成果, 針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域, 利用MPI平行計算與正交曲線座標方式改善POM模式計算效率與增加未來擴充性。透過模式模擬台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。並由台灣海域洋流與潮流綜合效應中發現, 台灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動, 而台灣中西部、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。而於各商港海域特性分析方面, 高雄港受到高屏峽谷地形影響與洋流、潮流互相交互作用, 造成此處海域流動現象複雜。而基隆港海域退潮時段受到野柳龜頭山阻擋退潮海流, 在基隆港外海海域形成一順時針渦流, 而基隆港外廓防波堤亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。於台灣東部宜蘭至花蓮一帶海岸存在一黑潮返

流區，於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。於台中港海域海流特性方面，受夏季黑潮分支影響下外海流速強勁，不論漲退潮段皆持續向北，而冬季於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且受北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。

由於台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，河川集水區內每年每平方公里侵蝕速率高居世界第一，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)利用台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台灣海峽沉積速率與沉積物粒徑，由比對台灣海峽地形圖中，可看出兩者間存在一相似性，其與台灣海峽內潮汐、海流變動應有密切關係。

根據莊(2009)指出「近岸海域漂沙輸送運移不平衡將導致海岸沖淤變遷，而影響近岸海域漂沙輸送運移不平衡之因素，依據其時空尺度變化型態通常可分為三類：(一)大尺度變遷，如全球氣候暖化導致平均海面上昇，地下水超抽導致地層下陷、及潮流長期攜運等所引其之長期大規模海岸與近岸海域地形變化；(二)中尺度變遷，如海岸或海埔地過度開發或過當保護、港灣超限擴建利用、港灣大規模防波堤等結構物興建、河川流域治理及砂石開採盜挖導致河流供沙減少等，由於局部近岸海域漂沙之輸送平衡被阻隔破壞，以致引起近岸海域地形水深產生變化；(三)小尺度變遷，如海岸受颱風暴潮巨浪衝擊與季風波浪作用，由於近岸海域近岸流系統之短期變化，以致引起海岸前灘之沖蝕。…但對於大尺度之海岸侵蝕變遷及其保育、防護對策課題…國內相關之研究與文獻則尚不多見。其間之困難處，除臺灣環島近岸海域海床底質粒徑分佈調查與漂沙濃度分析資料庫尚不夠完備、漂沙輸送之優勢海潮流方向尚待確立外，環島近岸海域直接面對廣闊之開放海域，而開放海域上並無適切、準確地長期潮位及海潮流等資訊可供

研究應用應為最重要之原因。」在大尺度變遷中，潮殘餘流是潮波在特定海域的運動中，因非線性作用所引起的持久性平均流，一般只會具有複雜地形的近岸海灣或河口海域，潮殘餘流才會比較明顯，並會與近岸海域物質的傳輸過程產生密切的關聯。在莊(2009)的研究結果顯示，在台灣西海岸，潮殘餘流主要以和緩的流速順沿海岸向北流動；在台灣中西部外海，潮殘餘流明顯會以近於 10cm/s 的較大流速，順沿雲彰隆起水下大型沉積沙體地形，蜿蜒向北流動；在澎湖群島及台灣灘等淺水海域，潮殘餘流流速普遍強勁，同時具有順時針方向旋轉的大型環流型態。而其成果亦指出，結合潮流流場與輸沙模式 MIKE21\_ST (DHI, 1996) 進行沖淤潛勢評估，再與台灣鄰近海域在水深 50 米內所自然陳現的水下大型沉積沙體相對照驗證，可確認潮殘餘流對漂沙物質的長期輸運作用(莊，2009)。

根據以上所述，基於洋流與潮汐對於台灣環島輸沙之大尺度效應影響，本計畫將利用前三年度之計畫成果，在已經建置之海潮流模式基礎與操作經驗上，針對台灣近岸海域進行洋流與潮流綜合模擬，持續利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度，並利用模擬結果分析台灣環島近岸海域之優勢海流流速與流向，且建立輸沙傳輸—擴散模式，評估台灣近岸海域輸沙潛勢，完成本計畫「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」之研究。

### 1.3 工作項目與預期成果

主計畫「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」為政府科技計畫地球環境科技群組 4 年(98 至 101 年度)固定期程之任務導向型一般研究計畫，其分年度計畫內容分別為：98 年度、POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬；99 年度、臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討；100 年度、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；101 年度、臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估。而本年度之工作項目與預

期成果詳述如下：

### 1.3.1 工作項目

本計畫預定以一個年度完成，本年度的計畫重點將模擬台灣近岸海域之洋流與潮流綜合流場，並透過實測資料進行改善模式合理性，討論長期性海流變化與輸沙潛勢之特性。其計畫進度如表 1-1 計畫進度甘特圖中所示，而工作項目如下所述：

延續前三年計畫工作項目：

1. 改善貴所個人電腦環境下，Linux 作業系統之 POM 海洋數值模式作業流程與環境。
2. 國內外海流數值模擬計算相關文獻收集與海氣象資料庫之引進更新、建置及應用。
3. 建置臺灣環島近岸海域綜合洋流與潮汐效應之大尺度海流模擬計算系統。
4. 臺灣環島近岸海域實測海流之年月季平均特性探討。
5. 臺灣近海綜合洋流與潮汐效應之海流模擬、模式參數調校、成果檢核與驗證及水動力特性探討。
6. 模擬計算臺灣環島近岸海域綜合洋流與潮流效應之大尺度海流。

本年度新增計畫工作項目：

1. 臺灣環島近岸海域長期海流流場之模擬計算。
2. 臺灣環島近岸海域年月季平均之優勢海流流速流向確認。
3. 臺灣環島近岸海域年月季輸沙潛勢評估。
4. 針對本計畫研究成果，撰寫並提交前述延續工作項目(1)至(6)項與新增工作項目(1)至(3)項之實際研究應用報告，報告內容包含 POM 模式洋流數值模擬計算之建置、操作及應用等中文化手冊。

5. 本合作研究所建置之數值模擬系統移轉本所使用，包含系統作業化程式、自由軟體、商業軟體(如有購置)、相關電子檔案文獻、圖表及海氣象資料庫等。

### 1.3.2 重要研究成果、預期效益及未來應用

依據本計畫之工作項目，其重要研究成果、預期效益及未來之應用如下所述：

#### 重要研究成果：

1. 針對臺灣近岸海域，檢核與驗證綜合洋流與潮汐效應之先期海流模擬成果，並進行模式參數之調校，進一步提昇模式準確性，俾據以進行臺灣環島近岸海域長期及年月季輸沙潛勢評估(相關內容說明於第四章 4.2 節)。
2. 針對臺灣近岸海域，改善既有建置之海流數值模擬系統，提昇數值模擬計算之準確性(相關內容說明於第四章 4.3 節)。
3. 延續第 1 至第 3 年期之海流模擬研究成果，持續進行臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流水動力特性掌握及探討(相關內容說明於第四章 4.4 節)。
4. 確認臺灣近岸海域長期及年月季平均之優勢海流流速流向。評估臺灣環島近岸海域長期及年月季輸沙潛勢(相關內容說明於第五章)。

#### 預期效益：

1. 科技基礎研究：開發培育海洋科技人力，促進海洋科研人才供需；發表國內外研討會學術論文，並出版研究報告。
2. 科技整合創新：深耕本土化特色領域，追求學術卓越；推動產學合作，發展產業群聚；從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，強化海洋科技－藍色科技之科研能力。

3. 科技政策管理：強化海洋政策規劃，完善海洋能源與資源永續開發利用之制度法規；健全海洋及海岸科技政策管理配套措施，強化研究環境之建構、充實既有政策法規制度及系統，落實海洋國家之海洋政策。
4. 環境安全永續：建置保育、開發及利用本土化海洋環境、資源、及能源的影響評估依據。充實海洋科研資料庫，深耕海洋文化，厚植海洋科技發展相關產業之環境安全永續基礎。
5. 產業經濟發展：促成新興產業，增進民生福祉；配合深層海水產業的發展與開發，掌握深海洋流的水動力特性及其水溫與水質的月季變化；建立近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，精進災害風險評估系統，以降低生態環境衝擊，並因應全球環境之變遷，補充既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家海洋資源永續利用之目標。
6. 民生社會發展：充實海洋科技，強化科技的民生及國防應用，促進社會與海洋環境科技的互動；研發新災害課題之防治方法與技術。

#### 未來應用：

1. 本研究採合作研究方式在國內自行模擬計算台灣鄰近海域之海流流場，研究結果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考。
2. 本研究綜合台灣鄰近海域之潮流與洋流模擬計算流場，其可作為海流動力模式之基礎，透過更多波浪、地形變遷模式的結合，其成果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事台灣環島海岸長期性沖淤趨勢評估的完整資訊，同時更可作為本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位採用柔性自然工法從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。
3. 強化總體性海岸保育策略(如：恆常海流之流速與流向、海岸長期沖淤潛勢等)及海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)永續開發利用之基礎關鍵資訊。

4. 針對臺灣近海確立洋流與潮流對近岸海流之影響性，掌握各種尺度變化之海流特性，並評估長期性變化之海流特性，以釐清臺灣西海岸海岸變動因素與特性。
5. 本研究在臺灣鄰近海域所構建的海流流場，可提供教育部及國科會，補充本土性詳實的海洋水文資訊，豐富地球科學教育之內涵。

## 1.4 本文組織

本文共分六個章節，第一章為緒論，闡述本計畫研究動機、計畫背景、工作項目、重要成果、預期效益及未來應用；第二章為 POM 模式理論介紹，說明控制方程式、數值方法與邊界處理方式；第三章為 POM 模式執行環境建置，說明模式所需之軟硬體環境、海氣象資料庫、台灣主要河川水文資料；第四章為台灣海域海流模式測試與驗證，說明台灣海域洋流模擬結果、洋流與潮流綜合效應模式建置與結果驗證、台灣海域格網建置與結果驗證、台灣海域月季年優勢海流特性分析；第五章為台灣漂沙潛勢評估結果，探討台灣海域漂沙傳輸潛勢與月季年平均漂沙濃度、沉積量定性分布狀況；第六章為結論與建議，節錄本計畫重要結論與後續計畫執行之建議。

表 1-1 計畫規定進度甘特圖

工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月					備 註
相關資料收集與分析	■												
改善 POM 海洋模式模擬系統		※	■										
近岸海域長期海流模擬		■											
模式邊界條件之調整		■											
以實測資料進行模式驗證		■				※							
期中簡報					■								
整理分析台灣海域長期海流特性			■				※						
分析台灣海域長期漂沙潛勢特性			■										
報告與模式操作手冊之撰寫							■						
技術轉移							■						
期末簡報								■					
繳交正式報告及辦理結案								■					
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	70	80	100					
預定查核點	第 1 季：資料收集與改善 POM 海洋數值模式模擬系統												
	第 2 季：長期海流模擬、驗證模式與參數校驗												
	第 3 季：整理分析海流與輸沙潛勢特性與期末報告撰寫												
說明:(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。													
(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。													
(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。													

## 第二章 POM 模式之理論介紹

### 2.1 模式特性

計算海洋水動力所使用的數值模式，若將物理量以水深平均方式進行模擬時則可將模式簡化為二維，如此可以節省計算時間與增加模式執行效率。但在水深方向的物理量變化很大時，水深平均模式將無法描述垂直方向上的變化，故此時必須使用三維模式來模擬。本計畫使用的美國普林斯頓大學海洋模式是由 Blumberg 和 Mellor (1987) 所整理及撰寫，POM 模式屬於三維的數值模式，含有紊流閉合模式 (turbulence closure model) 來處理垂直方向的混合作用，能描述三維的海洋變化物理現象。另外在數值技巧方面，水平網格也可根據地形的需要使用正交曲線網格，其可提高解析度並增加計算效率。POM 模式分為外模式 (external mode) 和內模式 (internal mode) 兩組不同的模式功能，前者計算水深平均二維流場，而後者計算三維變化的流場。模式演算上先計算外模式的水深平均流場，由於水平方向流速變化較快，故所需計算時距較短，再計算內模式之垂直方向各層的流速流場，其垂直方向流速變化較慢，可以使用較長之計算時距，如此計算技巧的交替運用則可以大量節省電腦運算時間。

POM 模式垂直方向的座標採用 Philip (1957) 創立之  $\sigma$  座標系統，此座標系統可以簡化三維模式處理底部邊界條件的複雜性。模式中也包含熱動力學理論，可輸入或計算熱含量和熱通量，也可輸入邊界水位、邊界流速或大尺度的風應力來驅動模式中的流場。另者，模式在河口區也可以加入河流排放量來研究河口的物理動力機制，由於海水與淡水在此交會，兩者密度不同，故存在鹽、淡水混合和鹽水入侵的問題，透過鹽度狀態方程式，亦可以描述河口附近海域鹽度的變化。以下則簡介該模式之控制方程式、邊界條件與數值方法。

## 2.2 控制方程式

### 2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

POM 模式的基本控制方程式為質量守恆和動量守恆方程式，為了簡化 POM 的方程式，模式採用了兩個假設，第一個假設為流體為不可壓縮，則在卡式座標下的連續方程式表示如下：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2-1)$$

式中  $U$ 、 $V$  分別為  $x$ 、 $y$  水平方向的流速， $W$  為  $z$  垂直方向的流速，而定義垂直向上為正。第二個假設則是使用近似的方法簡化流體的動力方程式，引用包氏近似(Boussinesq approximation)，因此流體的水平方向動量方程式可寫為：

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_u \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_v \dots\dots\dots (2-3)$$

而垂直方向的動量方程式，由於垂直方向流速( $W$ )的大小比起水平方向的流速( $U, V$ )尺度小了許多，故把垂直方向的動量方程式化簡為靜水壓方程式來代替，則變成下面的形式：

$$\rho g = -\frac{\partial p}{\partial z} \dots\dots\dots (2-4)$$

式(2-4)為靜水壓方程式， $\rho = \rho_o + \rho'$  為海水混合密度， $\rho_o$  為平均海水密度， $\rho'$  為密度擾動量， $K_M$  為動量垂直渦漩混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent momentum mixing)， $g$  為重力加速度， $f$  為科氏力參數， $F_u$  為  $x$  方向之雷諾應力， $F_v$  為  $y$  方向之雷諾應力。

垂直方向的壓力可以藉由對動量方程式，式(2-4)的垂直分量作積

分，可得

$$p(x, y, z, t) = p_{atm} + g\rho_o\eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz' \dots\dots\dots (2-5)$$

其中  $p_{atm}$  為水面大氣壓力， $\eta$  為自由水面高程。而溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta - \frac{\partial R}{\partial z} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \dots\dots\dots (2-7)$$

其中  $\theta$  表示溫度， $S$  為鹽度， $K_H$  為熱能和鹽度的垂直渦漩混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)， $F_\theta$  為水平方向由溫度擴散產生之側向混合力， $F_S$  為水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力， $R$  為短波輻射穿透量。

至於海水混合密度，因其為溫度和鹽度之函數，故可表示為：

$$\rho = \rho(\theta, S) \dots\dots\dots (2-8)$$

在控制方程式中的  $F_u$ 、 $F_v$ 、 $F_\theta$ 、 $F_S$ ，其分別可表示如下：

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (2-10)$$

$$F_\phi = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (2-11)$$

式(2-11)中的  $\phi$  分別表示  $\theta$  和  $S$  來表示。

$A_M$  為動量及熱量之水平渦漩擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式

(Smagorinsky 等人, 1965)求得, 其表示式為

$$A_M = C\Delta x\Delta y \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2-12)$$

其中  $C$  為無因次參數, 合理範圍在 0.1 至 0.2 之間, 故模式中僅需輸入一參數  $Horcon$  代表  $C$  值, 而  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  表示  $x$  和  $y$  方向的格網間距。至於溫鹽度之水平渦旋擴散係數  $A_H$ , POM 模式係利用 Schmidt 數以之與  $A_M$  相關聯, 即  $A_H / A_M \equiv TPRNI$ , 該值通常設定為一個很小的數, 例如 0.2 或甚至在某些例子為零(Oey 等人, 1985a; 1985b)。

### 2.2.2 紊流閉合模式

在式(2-2)、(2-3)、(2-6)及(2-7)中的渦旋混合擴散係數  $K_M$ 、 $K_H$ , 其利用 Mellor 和 Yamada (1982)所發展的二階紊流模式來計算。將動量垂直渦黏擴散係數  $K_M$  以及熱能和鹽度垂直渦黏擴散係數  $K_H$ , 以紊流的動能  $q^2/2$  及紊流的尺度參數  $l$  分別表示如下:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + \frac{\partial q^2 U}{\partial x} + \frac{\partial q^2 V}{\partial y} + \frac{\partial q^2 W}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left( K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ &+ \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_q \end{aligned} \dots\dots\dots(2-13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 l}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 l}{\partial y} + \frac{\partial W q^2 l}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_q \frac{\partial (q^2 l)}{\partial z} \right] \\ &+ E_1 l \left\{ K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \right\} \dots\dots\dots(2-14) \\ &+ E_3 \left\{ \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} \right\} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_l \end{aligned}$$

式中  $F_q$ 、 $F_l$  為  $q^2$  與  $q^2 l$  之水平渦旋擴散項如(2-11)式表示之。而  $\tilde{W}$  為接近壁面函數(wall proximity function), 定義為:

$$\tilde{W} = 1 + E_2 \left( \frac{l}{\kappa L} \right) \dots\dots\dots (2-15)$$

其中  $L$  表示為：

$$(L)^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1} \dots\dots\dots (2-16)$$

此處  $H$  為任意水深， $E_1$ 、 $E_3$  為經驗係數， $\kappa = 0.4$  為 von Karman 常數。

動量以及熱能和鹽度之垂直渦旋擴散係數分別表示如下：

$$K_M = qlS_M \dots\dots\dots (2-17)$$

$$K_H = qlS_H \dots\dots\dots (2-18)$$

$$K_q = qlS_q \dots\dots\dots (2-19)$$

其中  $S_M$ 、 $S_H$ 、 $S_q$  定義為穩定函數，而以下式表示：

$$S_H [1 - (3A_2B_2 + 18A_1A_2)G_H] = A_2 [1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots (2-20)$$

$$S_M [1 - 9A_1A_2G_H] - S_H [(18A_1^2 + 9A_1A_2)G_H] = A_1 [1 - 3C_1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots (2-21)$$

$$S_q = 0.20 \dots\dots\dots (2-22)$$

上二式中

$$G_H \equiv \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial z} \dots\dots\dots (2-23)$$

其中參數分別為

$$(A_1, A_2, B_1, B_2) = (0.92, 0.74, 16.6, 10.1)$$

$$(E_1, E_2, E_3) = (1.8, 1.33, 1.0)$$

$$C_1 = \frac{1}{3} (1 - 6A_1B_1^{-1} - A_1^{-1}B_1^{-1/3}) = 0.08$$

### 2.2.3 $\sigma$ 座標轉換

由於傳統卡式座標系統  $(x, y, z, t)$  在地形水深變化複雜處計算上不方便，POM 模式利用 Phillips (1957) 所創立之  $\sigma$  座標系統，將所有的控制方程式自卡式座標系統轉換至  $\sigma$  座標系統。 $\sigma$  座標是將不同的水深等分為固定的垂直分層，垂直方向的水深雖然都不同，網格數卻都一樣，但網格間的距離會隨水深的不同而改變。如此邊界上的分層不會變化，對模式計算上帶來很大的便利。 $\sigma$  座標系統  $(x^*, y^*, \sigma, t^*)$  與卡式座標系統間的轉換關係如下所示：

$$x^* = x \quad , \quad y^* = y \quad , \quad \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad , \quad t^* = t \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

應用上式之轉換關係，任何物理變數  $G$  在兩座標系之微分式，將可由以下方程式建立關聯：

$$\frac{\partial G}{\partial x} = \frac{\partial G}{\partial x^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[ \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial G}{\partial y^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[ \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{1}{D} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[ \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

其中  $x$ 、 $y$ 、 $z$  是一般的卡式座標， $D \equiv H + \eta$ ，而  $H(x, y)$  是地形水深， $\eta(x, y, t)$  為自由水面高程。將上列式(2-25)至(2-28)代入控制方程式，則上列所有的方程式，將可自卡式座標系統完全轉換至  $\sigma$  座標系統，而經此座標轉換後，垂直方向之範圍，將由  $z = \eta$  (水面) 至  $z = -H$  (水底) 轉變為  $\sigma = 0$  至  $\sigma = -1$ ，如圖 2-1 所示。

假設一變量是  $\xi$  是  $\sigma$  座標系統的函數，即  $\xi = \xi(x^*, y^*, \sigma, t^*)$ ，則卡式座標系統下  $z$  垂直方向之流速分量  $W = dz/dt$ ，可先轉換表示為：

$$W = \frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial t^*} + U \frac{\partial z}{\partial x^*} + V \frac{\partial z}{\partial y^*} + \omega \frac{\partial z}{\partial \sigma} \dots\dots\dots(2-29)$$

再將  $z = D\sigma + \eta$  帶入上式，則  $\sigma$  座標上之垂直流速分量  $\omega$  即可表示為，

$$\omega = W - U \left[ \sigma \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] + V \left[ \sigma \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] + \left[ \sigma \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \dots\dots\dots(2-30)$$

而轉換至  $\sigma$  座標系統之連續方程式可改寫為：

$$\frac{\partial DU}{\partial x^*} + \frac{\partial DV}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(2-31)$$

動量守恆方程式則轉換為：

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t^*} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x^*} + \frac{\partial UVD}{\partial y^*} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho}{\partial x^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + DF_u \dots\dots\dots(2-32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t^*} + \frac{\partial UVD}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + DF_v \dots\dots\dots(2-33) \end{aligned}$$

溫度守恆方程式：

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t^*} + \frac{\partial U\theta D}{\partial x^*} + \frac{\partial V\theta D}{\partial y^*} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + DF_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots(2-34)$$

鹽度守恆方程式：

$$\frac{\partial SD}{\partial t^*} + \frac{\partial USD}{\partial x^*} + \frac{\partial VSD}{\partial y^*} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + DF_s \dots\dots\dots(2-35)$$

紊流的動能  $q^2/2$  及紊流的尺度參數  $l$  表示：

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 UD}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 VD}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) \\ &+ \frac{2K_M}{D} \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2-36) \\ &+ \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2q^3 D}{B_1 l} + DF_q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 l UD}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 l VD}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 l \omega}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_q}{D} \frac{\partial (q^2 l)}{\partial \sigma} \right] \\ &+ \frac{E_1 l}{D} \left\{ K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \right\} \dots(2-37) \\ &+ E_3 \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{q^3 D}{B_1} \tilde{W} + DF_l \end{aligned}$$

式中， $U$ 、 $V$  與  $\omega$  分別為  $\sigma$  座標系統上  $x^*$ 、 $y^*$  與  $\sigma$  座標方向之流速。

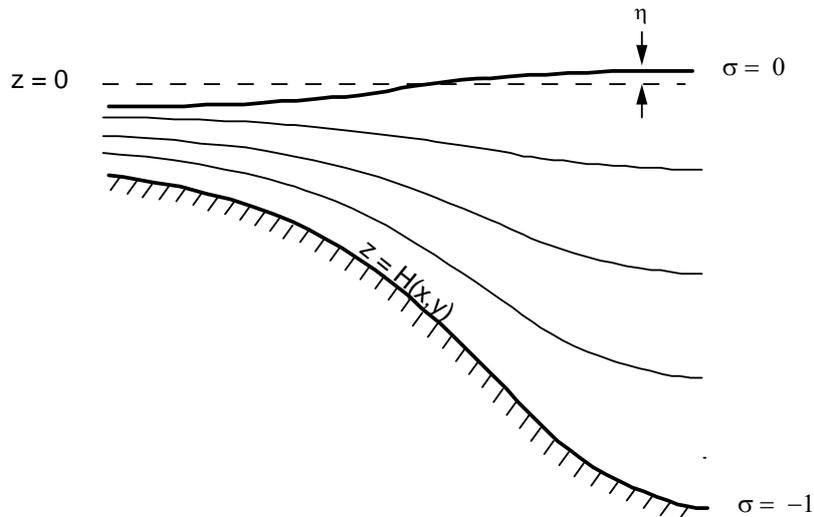


圖 2-1  $\sigma$  座標系統 (Mellor, 2003)

#### 2.2.4 外模式-水深積分方程式

由於海洋變動中包含了快速的慣性重力波與緩慢變化的內波，為了可以有效率的模擬海洋變動，故將上述的三維方程式利用水深積分技巧轉換成水平二維模式。如此將模式分成外模式之水平二維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而內模式之三維模式來模擬緩慢變化的

內部波動或熱動力變化等，其分割技巧(Simons, 1974; Madala 和 Piacsek, 1977)可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷。因此將式(2-31)至(2-33)由 $\sigma = -1$ 積分至 $\sigma = 0$ 的水深積分方式消除所有垂直方向的變化，則二維方程式可表示成，

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (2-38)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} - \tilde{F}_x - f\bar{V}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\langle wu(0) \rangle + \langle wu(-1) \rangle \\ + G_x - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \left[ D \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \end{aligned} \dots\dots\dots (2-39)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - \tilde{F}_y + f\bar{U}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\langle wv(0) \rangle + \langle wv(-1) \rangle \\ + G_y - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \left[ D \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\partial D}{\partial y} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \end{aligned} \dots\dots\dots (2-40)$$

式中，

$$\bar{U} = \int_{-1}^0 U d\sigma, \quad \bar{V} = \int_{-1}^0 V d\sigma \dots\dots\dots (2-41)$$

而 $-\langle wu(0) \rangle$ 與 $-\langle wv(0) \rangle$ 為海表面風剪應力， $\langle wu(-1) \rangle$ 與 $\langle wv(-1) \rangle$ 為底床摩擦剪應力。 $\tilde{F}_x$ 與 $\tilde{F}_y$ 定義為，

$$\tilde{F}_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2H\bar{A}_M \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ H\bar{A}_M \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right) \right] \dots\dots\dots (2-42a)$$

$$\tilde{F}_y = \frac{\partial}{\partial y} \left( 2H\bar{A}_M \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[ H\bar{A}_M \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right) \right] \dots\dots\dots (2-42b)$$

若 $A_M$ 在垂直方向為常數，則式(2-42a)與(2-42b)之值為零。而 $G_x$ 與 $G_y$ 定義為，

$$G_x = \frac{\partial \overline{U^2} D}{\partial x} + \frac{\partial \overline{UV} D}{\partial y} - \widetilde{F}_x - \frac{\partial \overline{U^2} D}{\partial x} - \frac{\partial \overline{UV} D}{\partial y} + \widetilde{F}_x \dots\dots\dots (2-43a)$$

$$G_y = \frac{\partial \overline{UV} D}{\partial x} + \frac{\partial \overline{V^2} D}{\partial y} - \widetilde{F}_y - \frac{\partial \overline{UV} D}{\partial x} - \frac{\partial \overline{V^2} D}{\partial y} + \widetilde{F}_y \dots\dots\dots (2-43b)$$

在外模式運算時式(2-39)與(2-40)之等號右側項保持為定值，而在內模式計算時才重新更新其值。若以單獨執行 POM 模式中之二維模式則  $G_x = G_y = 0$ 。

### 2.2.5 邊界條件

連續方程式，式(2-31)的垂直邊界條件

$$\omega(x^*, y^*, 0, t^*) = \omega(x^*, y^*, -1, t^*) = 0 \dots\dots\dots (2-44a,b)$$

動量方程式，式(2-32)、(2-33)兩式的表面邊界條件

$$\frac{K_M}{D} \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = (\langle \omega U(0) \rangle, \langle \omega V(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \dots\dots\dots (2-45a,b)$$

底部邊界條件

$$\frac{K_M}{D} \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = C_z [U^2 + V^2]^{1/2} (U, V), \quad \sigma \rightarrow -1 \dots\dots\dots (2-45c,d)$$

其中

$$C_z = \text{MAX} \left[ \frac{\kappa^2}{[\ln\{(1 + \sigma_{kb-1})H / z_0\}]^2}, 0.0025 \right] \dots\dots\dots (2-45e)$$

其中 von Karman 常數  $\kappa = 0.4$ ， $z_0$  為摩擦糙度參數， $\sigma_{kb}$  為  $\sigma$  座標於垂直層  $k = kb$  層時的值， $kb$  表示垂直格網層數的值， $kb$  表示最底層，而  $\sigma_{kb-1}$  為  $kb-1$  層之  $\sigma$  座標值。

溫度和鹽度方程式，式(2-34)、(2-35)的邊界條件

$$\frac{K_H}{D} \left( \frac{\partial \theta}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = (\langle \omega \theta(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \dots\dots\dots (2-46a)$$

$$\frac{K_H}{D} \left( \frac{\partial \theta}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = 0, \quad \sigma \rightarrow -1 \dots\dots\dots (2-46b)$$

而紊流閉合方程式，式(2-36)、(2-37)的邊界條件：

$$(q^2(0), q^2l(0)) = (B_1^{2/3} u_\tau^2(0), 0), \quad \sigma \rightarrow 0 \dots\dots\dots (2-47a,b)$$

$$(q^2(-1), q^2l(-1)) = (B_1^{2/3} u_\tau^2(-1), 0), \quad \sigma \rightarrow -1 \dots\dots\dots (2-47c,d)$$

其中  $B_1$  為紊流閉合常數， $u_\tau$  為在表面與底部的摩擦速度。開放邊界流速邊界條件

$$H\bar{U} \pm c_e \eta = F_{BC} \dots\dots\dots (2-48)$$

其中  $\bar{U}$  為水平平均速度， $\eta$  為自由表面水位，而  $F_{BC}$  為邊界通量，如  $F_{BC} = H\bar{U}_{BC} \pm c_e \eta_{BC}$ ， $\bar{U}_{BC}$  為邊界流速其流速值可來自上層巢狀格網，而  $\eta_{BC}$  為開放邊界水位邊界條件，其值可由全球潮汐模式(如 NAO99b)之水位或上層巢狀格網模擬水位給定，式中

$$c_e = \sqrt{gH} \dots\dots\dots (2-49)$$

其中  $H$  為總水深， $g$  為重力加速度。

## 2.3 數值方法

### 2.3.1 網格配置

模式中的控制方程式包含了傳輸速度較快的表面重力波，以及傳輸速度較慢的內部重力波，在數值計算上區分為計算正壓流的外部模式及計算斜壓流的內部模式，此種方法就是所謂的 mode splitting，如下圖 2-2 所示。

模式的計算上，由於外部模式為計算速度較快的表面重力波，故計算時距較短，且將流速依垂直方向取平均值以求得水平傳輸量，因此，只有二維的運算。內部模式由於其為計算速度較慢的內部重力波，故計算時距可以取的較長，但是需要較高的空間解析度，所以採用三維空間網格。如此兩種不同計算技巧的交替運用，可以大大減少電腦運算時間。另外，在空間網格的設定上，內外模式水平方向皆採用 Arakawa C-grid 交錯網格系統，分別如圖 2-3 與 2-4 所示。其中，水平速度  $U$ 、 $V$  分別位於東、西、南、北向的格網中間，至於其他的變量，例如水位  $\eta$ 、垂直方向的流速  $W$ 、溫度  $T$ 、以及鹽度  $S$  等，則位於網格中間。

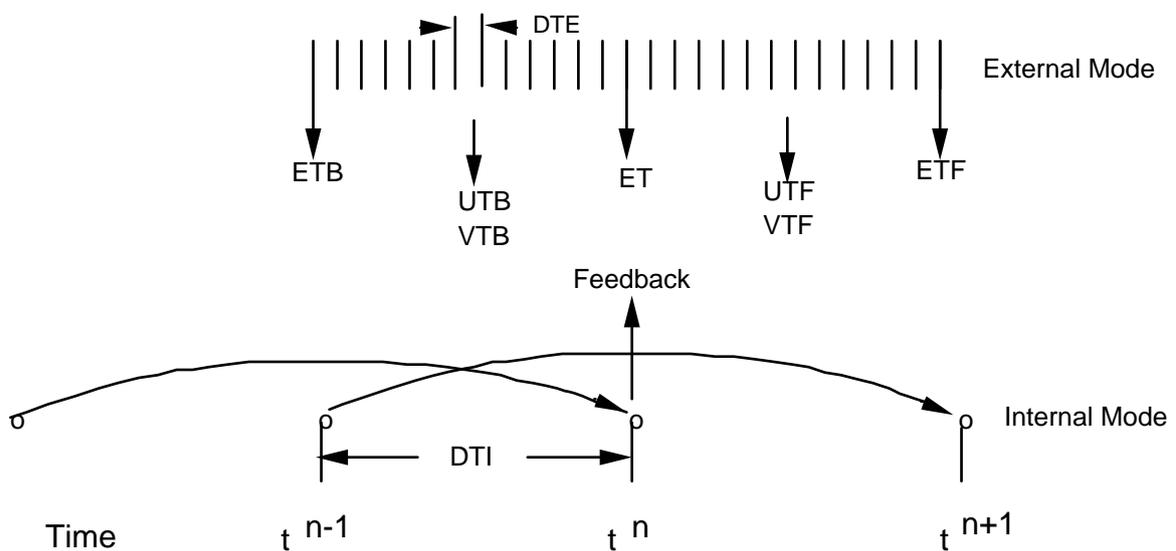


圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

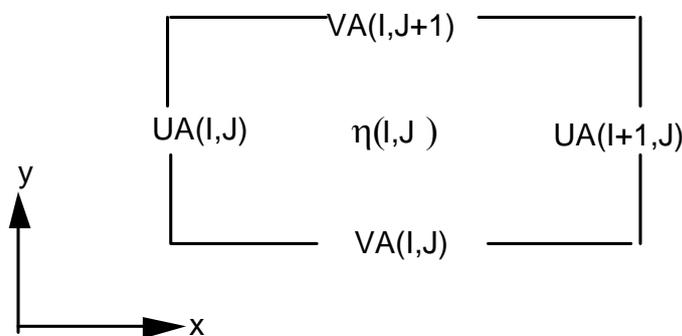


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

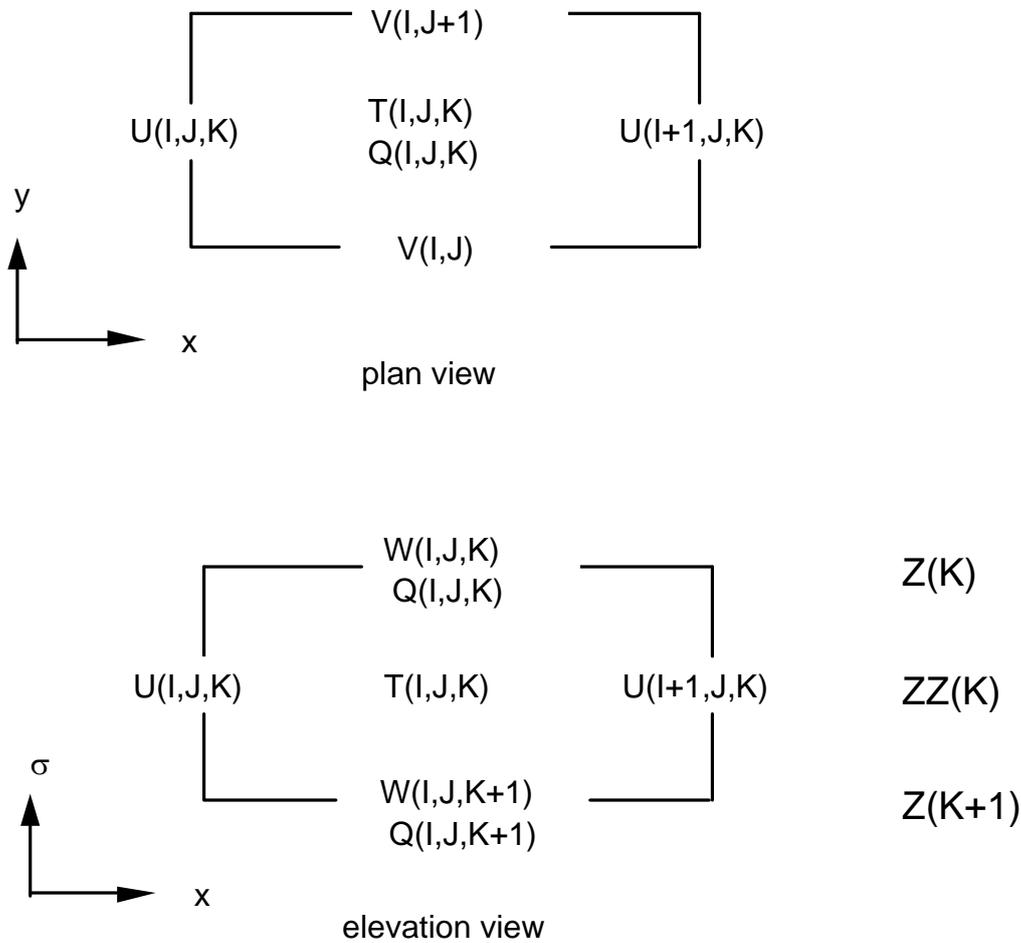


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

(Q 表示  $K_m$ 、 $K_h$ 、 $q^2$  或  $q^2 l$ 。T 表示  $T$ 、 $S$  或  $\rho$ )

### 2.3.2 數值離散

關於 POM 模式中的數值離散技巧，在三維模式中係將計算分為垂直、水平傳導與擴散兩步驟，且將垂直方向分量以隱式(implicit)積分，而水平分量以顯式(explicit)積分。例如以溫度平衡方程式可離散成

$$\frac{\partial DT}{\partial t} + Adv(T) - Dif(T) = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( K_H \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots(2-50)$$

其中  $Adv(T)$  與  $Dif(T)$  分別表示水平傳導項與水平擴散項。而時間積分採用兩步驟法分割水平與垂直分量，如下式表示，

$$\frac{\tilde{D}\tilde{T} - D^{n-1}T^{n-1}}{2\Delta t} = -Adv(T^n) + Dif(T^{n-1}) \dots\dots\dots(2-51)$$

$$\frac{D^{n+1}T^{n+1} - \tilde{D}\tilde{T}}{2\Delta t} = \frac{1}{D^{n+1}} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( K_H \frac{\partial T^{n+1}}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots(2-52)$$

式中  $n$  表示積分時間。由於模式在時間計算上採用蛙跳差分法的技巧，為了消除微小數值震盪，故需藉由濾波器來使數值結果平滑化，如下式所示，

$$T_s = T + \frac{\alpha}{2} (T^{n+1} - 2T^n + T^{n-1}) \dots\dots\dots(2-53)$$

其中  $T_s$  是平滑化的解， $\alpha$  取 0.05。在式(2-53)進行平滑化計算後，令  $T_s$  為  $T^{n-1}$ 、 $T^{n+1}$  為  $T^n$ ，然後再進行下一時刻之計算。

在空間離散方面，POM 模式採用有限體積(finite volume)的概念，則水平傳導項可離散為，

$$-Adv(T)h_x h_y = \delta_x (Dh_y UT) + \delta_y (Dh_x VT) + h_x h_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\Delta \sigma} \dots\dots\dots(2-54)$$

式中， $h_x$  與  $h_y$  分別表示  $x$  與  $y$  方向格網間距。 $\delta$  表示不同方向之離散方法，在 POM 模式預設為中央差分法，透過上述空間離散的處理方式，故可利用正交曲線格網進行模式運算。而模式的總體計算流程與相對應的重要處理程序(副程式)，如圖 2-5 中所示。

### 2.3.3 穩定條件

在水深積分模式(外部模式)以及傳輸方程式中，計算時距是根據 Courant-Friedrichs-Levy (CFL) 計算穩定條件而決定，其中

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_i} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots(2-55)$$

$$C_i = 2(gH)^{1/2} + U_{\max} \dots\dots\dots(2-56)$$

式中  $U_{\max}$  是可預期的最大速度，實際應用上的穩定條件會比上式的估計約小 90%。而以類似的方式估計內部模式之計算時距限制為，

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{C_T} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots(2-57)$$

其中

$$C_T = 2c + U_{\max} \dots\dots\dots(2-58)$$

$C_T$  是最大內部重力波速，一般尺度約為 2 m/s， $c$  表示波速。 $U_{\max}$  是最大傳導速度。在一般應用於海洋模式的情況下， $\Delta t_I / \Delta t_E$  的比率約為 30 至 80 之間。除上述條件之外，仍有兩個額外的限制會影響 POM 模式的數值穩定性，其中與動量方程式中水平擴散項有關的穩定條件，依照上述方式可推論其條件為：

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{4A} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1} \dots\dots\dots(2-59)$$

其中  $A = A_M$  或  $A = A_H$ 。而科氏力項可能造成的穩定條件為：

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{2\Omega \sin \phi} \dots\dots\dots(2-60)$$

根據上述條件，在計算時必須注意計算時距大小的設定。此外，由於  $\sigma$  座標的關係，會在靠近海岸處形成不可計算的奇異點，故在水深給定時必需設定最小水深，在 POM 模式預定的最小水深為 10 公尺，但可隨計算案例的不同給定可能的最小水深。

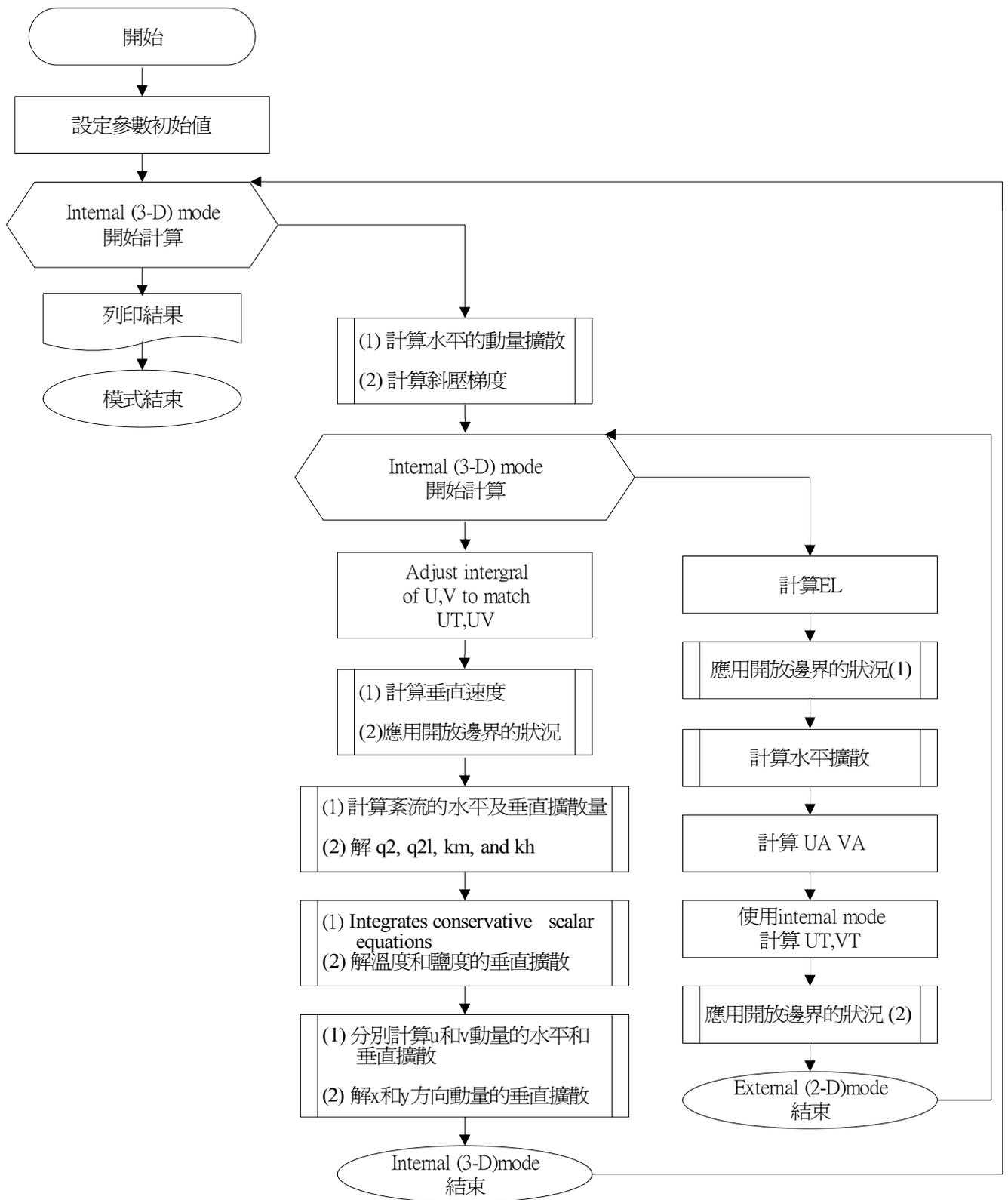


圖 2-5 模式計算流程圖

## 2.4 海氣交互介面邊界條件

處理海氣交互介面邊界條件為三維洋流模擬中重要的課題，在處理海面邊界條件時，可以利用通量交換或直接設定海面邊界變動來給定邊界條件。利用直接給定海面邊界條件，如直接給定海面溫度(SST)可以使模式啟動速度(spin up)加快(Ezer 和 Mellor, 1997)。但在本計畫中包含台灣海域高解析度模式，受限於海面溫度資料庫的解析度，可能會造成洋流模擬的誤差。另一種海面邊界條件就是給定海氣交互介面的通量變化，如此就可避免海面溫度資料庫解析度不足的缺點。而海氣交互邊界條件中包括海面風剪應力、水體質量、熱通量、鹽度通量及輻射通量。以下則分別說明各種海氣交互介面邊界條件之處理方式：

### 2.4.1 動量平衡

考慮由風剪應力所形成的動量平衡，如下式所述：

$$\rho K_M (\partial U / \partial z, \partial V / \partial z) = (\tau_x, \tau_y) \dots\dots\dots (2-61)$$

$$(\tau_x, \tau_y) = \rho_A C_D |\mathbf{U}_{10} - \mathbf{U}_w| (U_{10} - U_w, V_{10} - V_w) \dots\dots\dots (2-62)$$

其中  $C_D$  為拖曳係數， $\rho$  為水密度， $\rho_A$  為空氣密度， $(U_{10}, V_{10})$  為海面上 10 公尺高度之  $x$ 、 $y$  方向風速分量， $U_{10} = \sqrt{U_{10}^2 + V_{10}^2}$  為 10 公尺高度風速， $(U_w, V_w)$  為水面流速之  $x$ 、 $y$  方向流速分量， $U_w = \sqrt{U_w^2 + V_w^2}$  為水面流速，而  $(\tau_x, \tau_y) = (-wu(0), -wv(0))$ 。

### 2.4.2 質量平衡

考慮海氣交互介面之水體質量交換如下所述：

$$\rho w_l = \dot{E} - \dot{P} \dots\dots\dots (2-63)$$

其中  $w_l$  為海面垂直方向傳輸速度， $\dot{P}$  為降雨通量，而  $\dot{E}$  為蒸發通量可

表示為

$$\dot{E} = \rho_A C_E |\mathbf{U}_{10} - \mathbf{U}_w| (q_{10} - q_w) \dots\dots\dots (2-64)$$

其中  $q_w$  為海面空氣之比濕， $q_{10}$  為海面 10 公尺高之比濕， $C_E$  為蒸發通量係數。

### 2.4.3 鹽度平衡

假設降雨與蒸發過程中所含之鹽度幾乎為零，故鹽度平衡可由下式所述：

$$-\rho(K_H \partial S / \partial z) + \rho w_l S_w = 0 \dots\dots\dots (2-65)$$

$-\rho_w(K_H \partial S / \partial z)$  為鹽度控制方程式之海面擴散通量， $S_w$  為海面鹽度。

### 2.4.4 熱量平衡

海氣交互介面熱量平衡可由下式所述：

$$\rho C_{pW} (K_H \partial T / \partial z) = \dot{E}L - Q_S + LWR + (\dot{E} - \dot{P})C_{pW} (T_{10} - T_w) \dots\dots\dots (2-66)$$

其中  $C_{pV}$ 、 $C_{pW}$  分別為水蒸氣與水之比熱， $T_{10}$  為海面 10 公尺高溫度， $T_w$  為海面溫度， $L = (2.501 - 0.002T_w) \times 10^6 J(kg^0C)^{-1}$  為蒸發潛熱(latent heat)， $LWR$  為長波輻射(longwave radiation)， $Q_S$  為顯熱(sensible heat)可表示為

$$Q_S = \rho_A C_{pA} C_H |\mathbf{U}_{10} - \mathbf{U}_w| (T_{10} - T_w) \dots\dots\dots (2-67)$$

其中  $C_H$  為熱通量係數。而長波輻射如下所示：

$$LWR = 0.98\zeta(T_w + 273)^4(0.39 - 0.05e_{10}^{1/2})(1 - 0.8n) - [(T_w + 273)^4 - (T_{10} + 273)^4] \dots\dots\dots (2-68)$$

其中  $\zeta = 5.7 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$  為 Stefan-Boltzman 常數， $e_{10}$  為水蒸氣壓力， $n$  為雲覆蓋率。

## 2.5 漂沙傳輸擴散模式

為了本年度計畫探討台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，由於本計畫海潮流模擬建構於 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計畫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。

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

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} + \frac{\partial(UC_s)}{\partial x} + \frac{\partial(VC_s)}{\partial y} + \frac{\partial[(W + w_s)C_s]}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial C_s}{\partial z} \right) + F_c \quad (2-69)$$

其中  $C_s$  為底質濃度， $K_h$  為底質垂直渦漩混合擴散係數， $F_c$  為水平擴散項， $w_s$  底質沉降速度引用 Soulsby (1997)所提出之經驗公式：

$$w_s = \frac{v}{d_{50}} \left[ (10.36^2 + 1.049D_*^3)^{1/2} - 10.36 \right] \dots\dots\dots (2-70)$$

式中  $D_*$  為無因次粒徑，定義為：

$$D_* = \left[ \frac{g(S'-1)}{v} \right]^{1/3} d_{50} \dots\dots\dots (2-71)$$

其中  $S' = \rho_s / \rho$  砂與水之密度比， $d_{50}$  為漂沙中值粒徑。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：

$$K_h \frac{\partial C_s}{\partial z} = E_s, \quad z = -H \dots\dots\dots (2-72)$$

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 和 Krone (1976)之公式，其可表示為：

$$E_s = \begin{cases} E_0 \left( \frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right) & , \text{if } |\tau_b| > \tau_c \\ C_{sb} w_s \left( \frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right) & , \text{if } |\tau_b| < \tau_c \end{cases} \dots\dots\dots(2-73)$$

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。當流速變小使得底床剪應力小於臨界剪應力時，由式(2-73)可估計底質傳輸量離開計算格網減少漂沙濃度，其可視為漂沙沉積量，而當底床剪應力大於臨界剪應力時，透過式(2-73)即可計算由底床所侵蝕的沙量進入計算格網增加漂沙濃度。由以上所述，臨界剪應力的選取會影響漂沙濃度的計算，而本計畫僅考慮輸沙潛勢特性之探討，並不是欲建立之精確之地形變遷模式，由於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。在考量本計畫執行目標，故在模擬中所使用之  $E_0$  侵蝕參數為  $10^{-4} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ，而臨界剪應力  $\tau_c$  為  $1.0 \text{ N/m}^2$ ，使得漂沙傳輸擴散模擬特性多為沉積現象。

而本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。

## 2.6 巢狀格網邊界

由於洋流大規模流動的特性，故需要足夠的模擬範圍才可解析出環流流動的特性。利用巢狀計算逐步縮小計算範圍提高精度，為有限計算資源之下獲得高精度模擬結果之最佳方式。關於巢狀格網邊界條件設定方式，可分為邊界處與邊界緩衝區兩種條件。如圖 2-6 所示，圖中最外部方框為巢狀母格網範圍，圖中方框為巢狀子格網邊界處，子格網內部格紋處為邊界緩衝區。外模式之邊界處之入流邊界條件由上層模式給定，如下式所述：

$$\bar{U}_n = \bar{U}_n^0 + \sqrt{\frac{g}{H}}(\eta - \eta^0) \dots\dots\dots(2-74)$$

式中上標 0 表示上層模式於下層邊界處之內插值，其中  $\bar{U}_n$  為邊界之法線方向流速， $\eta$  為水位。而內模式之三維溫鹽與流速邊界條件乃採用漸進方式(nudging)方式給定，如下式所述：

$$\Phi_i = \Phi_i + \left(1 - \tanh\left(4 \frac{\Delta x_i}{L_{nest}}\right)\right) (\Phi_i^0 - \Phi_i) \dots\dots\dots(2-75)$$

式中  $\Phi$  可分別代表  $S$ 、 $T$ 、 $U$ 、 $V$ ，下標  $i$  為距離子格網邊界處第  $i$  格點，上標 0 表示上層模式於下層位置處之內插值， $\Delta x_i$  為該格點至邊界之距離， $L_{nest}$  為緩衝區之寬度。

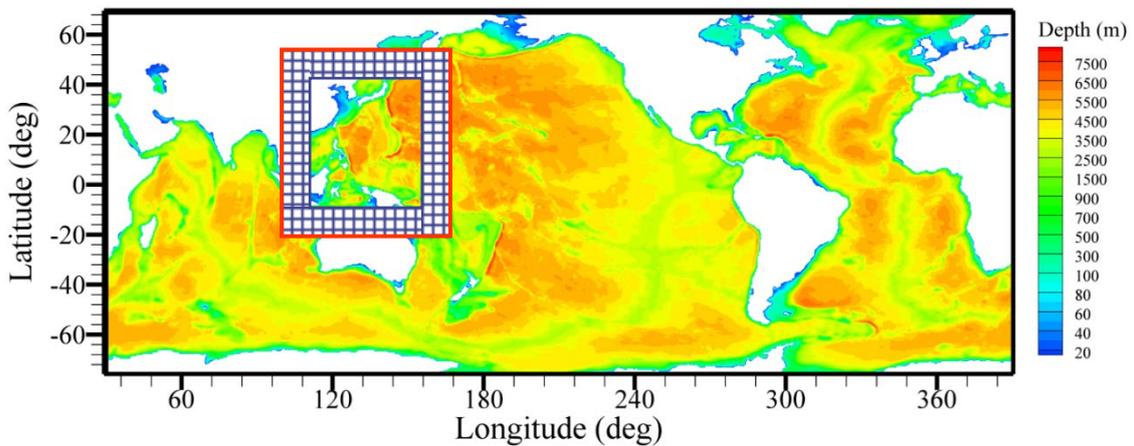


圖 2-6 巢狀格網邊界示意圖

## 第三章 POM 模式執行環境建置

本計畫利用 POM 模式建立台灣海域之三維海流與漂沙傳輸擴散模式，透過模式建立使其能應用於台灣海域之海流與物質傳輸擴散特性的模擬，並發展前置與後置處理軟體與流程，簡化處理數值模式所產生大量數據的流程，以期模式計算結果能完整的呈現。為了有效落實計畫執行目的，本節將描述模式建置過程與所需要的軟硬體設備。

### 3.1 軟硬體設備建置

在 POM 模式建置方面，由官方網站(<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>)所下載的程式並未提供完整的資料輸入選項，應本計畫之需求，採用 POM2K 版本為基礎，增加具有乾濕格網處理選項的 POM08 版本之功能。為了方便模式執行與使用，亦進行輸入介面的發展，提供使用者更為快速的資料輸入方式，可依計算方案的不同提供相對應的資料輸入選項。圖 3-1 為 POM 模式資料處理流程圖，資料經由前置處理程式將海面與側向邊界資料透過內插法內插至 POM 模式格網上，透過 POM 模式進行模擬後以 NetCDF (Network Common Data Format)格式輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，再經由 NCL (NCAR Command Language)後置處理程式分析各種變量之變化趨勢並繪製圖表。由於巢狀格網之計算方式會帶來大量之檔案管理與輸出入問題，本年度計畫又將建構數個台灣近海高解析度海潮流格網，勢必更迫切需要合理之檔案架構與管理，本計畫所使用的 POM 模式模擬流程為架構於前兩年度計畫所建立之基礎，持續改善模擬流程，於 Linux 作業系統下建立有效率之處理命令腳本，使技術移轉能順利進行，對於後續操作與維護亦有所幫助。

在作業系統方面，POM 模式並未限制模式執行環境，考量未來擴充性與降低模式發展、執行時所遭遇的阻礙，本計畫以美國 Novell 公司所負責維護的 openSUSE Linux 套件作為主要的系統環境。而其使用

Linux Kernel 2.6 核心，具有執行速度最佳化、更廣泛的硬體支援、有效率的檔案系統與電源管理等特點，可有效發揮硬體效能，而系統安全與穩定性也可有效保護計畫成果。由於 Linux 作業系統近幾年來發展迅速，不論是伺服器或桌面應用上都有相當數量的開放性源碼(open source)軟體可供選擇，尤其在科學運算與數據處理上更是有許多自由軟體(freeware)可供應用，如此可大大降低軟體購置費用與增加系統擴充性。

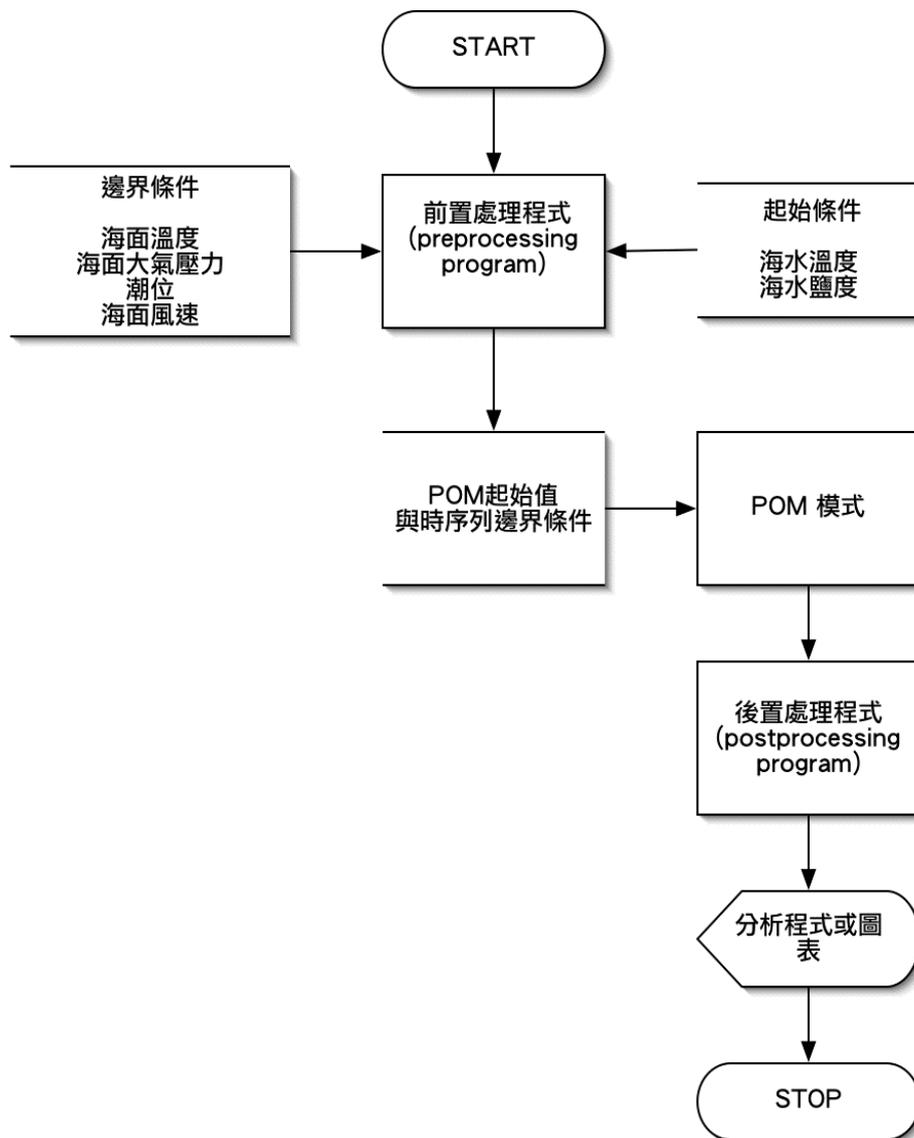


圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程

而 POM 模式為一源碼開放軟體，其利用標準 FORTRAN 77 程式語言開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。為了程式執行與開發，本計畫擬以 Intel Fortran for Linux 來解決編譯程式的問題。而 Intel Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點。

除了編譯器的設定外，由於 POM2K 以後之版本增加了 NetCDF (Network Common Data Format) 程式庫的支援，而 NetCDF 最早是由美國國家科學委員會資助之 Unidata 計畫所發展，其用意是提供一種通用的資料存取方式，資料的內容可以包括單點的觀測值、時間序列、規則排列的網格、以及人造衛星或雷達之影像檔案。其資料格式廣泛應用於大氣與海洋研究中，其為一自我描述資料的格式、並且可以跨越平台和機器的限制，現有之 NetCDF 程式庫可提供 C、Fortran、C++、Perl 或其他語言的聯結，以讓程式發展者可以快速的讀寫資料檔案。NetCDF 亦為開放源碼軟體，使用者可自由下載，其官方網站為 <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>，最新版本為 4.1.2 版。但為了相容性之考量，本計畫採用 3.6.3 版，故讀寫資料都必須透過 NetCDF 程式庫來完成，模式建置時亦須同時安裝此程式庫。

於後置繪圖與資料處理方面，本計畫亦採用開放源碼軟體為主，如 GMT (Generic Mapping Tools) 或 NCL (NCAR Command Language) 等自由軟體來進行圖形的繪製，透過命令腳本方式呼叫 GMT 或 NCL 軟體繪製分析展示所需的圖形。本計畫所繪製的圖形主要使用 NCL 軟體，其官方網站為 <http://www.ncl.ucar.edu/>，最新版本為 6.0.0，使用者必須於網站註冊才可下載與作業系統相對應的執行檔安裝程式，由於其類似 Fortran 與 C 程式語言撰寫方式進行資料處理與圖形繪製，使用者亦必須了解其語法才可了解其運作方式，本計畫亦進行相關程式撰寫以利使用者進行圖形繪製批次處理。

由於 POM 模式為三維海洋模式，需要龐大的計算能量與輸入出資料儲存空間，但為了計畫結束後可順利移轉模式，本計畫於進行格網

建置時亦考量個人電腦上可執行之環境。本計畫執行時之硬體設備為雙六核心 Intel Xeon 3.33GHz 與 24GB 主記憶體，並採用 OpenMP 與 MPI (Message Passing Interface) 平行化技術修改 POM 模式程式碼，使其可以充分利用硬體資源進行運算。由於 OpenMP 平行化方式需要共用記憶體式系統才能執行，其硬體架構複雜，若要增加計算效能所需硬體升級費用龐大，但其程式撰寫較為簡單，Intel Fortran 編譯程式亦包含相關程式庫與編譯能力，使用者不需安裝額外軟體即可使用。去年度為了進一步提升模式計算效能與增加未來擴充性而發展 MPI 版本之 POM 模式，因 MPI 平行程式可以在分散式記憶體之叢集平行系統上執行，也可以在共用記憶體之平行系統上執行。而叢集平行系統由許多相同規格之計算節點(主機)所組成，每組計算節點亦可具有多組中央處理器(CPU)，每組中央處理器通常具有多組計算核心(Core)，透過高速網路連結計算節點組成一大型平行計算系統。故未來需要提升模式解析度，其所增加的計算能量可以透過增加計算節點的方式來進行，其系統擴充性較佳，亦較符合經濟效益。

而 MPI 的平行化計算方式的唯一缺點是程式需要大幅改寫，由於本計畫執行期間後發現模式須提升解析度以完成工作項目，故著手進行 MPI 版本 POM 模式之發展，透過 Open MPI (<http://www.open-mpi.org/>) 第 1.4.5 版程式庫，其具有完整 MPI-2 標準、適用於各種網路環境(如 TCP、OpenFabrics、SM、Myrinet、UDAPL 等)、支援多種排程軟體與作業系統、高效能等特點，其 Open MPI 下載網址為 <http://www.open-mpi.org/software/ompi/v1.4/downloads/openmpi-1.4.5.tar.gz>，而安裝方式如網頁 <http://www.open-mpi.org/faq/?category=building#easy-build> 所述，使用者必須自行安裝後，透過 Open MPI 程式庫與 Intel Fortran 程式的配合才可進行 MPI 版本 POM 模式之編譯。圖 3-2 為計算格點 201x442x21 之三維 POM 模式利用不同數量計算核心計算 1 天所需時間比較圖，由圖中可看出，隨著計算核心的增加程式效率亦大幅增加，故本計畫將以此 MPI 版本之 POM 模式為基礎進行模式驗證與結果討論。

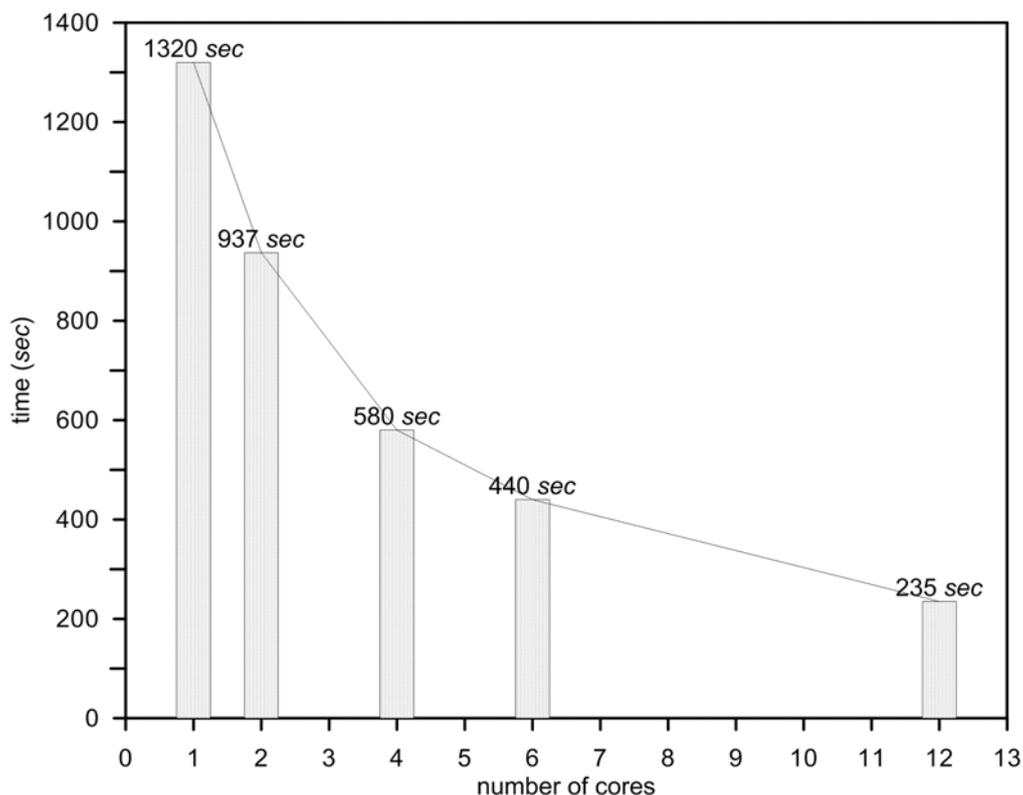


圖 3-2 MPI 平行化 POM 模式之效率評估圖

### 3.2 POM 模式操作說明

關於 POM 模式的操作與相關檔案的說明，在報告附錄「港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊」中詳述本年度計畫所使用的程式與相關程序，撰寫該模式操作手冊以利進行模式與技術轉移至委託單位。在現有規劃上，模式的操作大致上可分為程式碼、可執行程式、輸出入資料與命令腳本檔等四大類檔案。在程式碼方面，是以 Fortran 程式語言進行開發，故其副檔名為 f90、f、inc 與 h，經編譯後之可執行程式則是以 exe 做為附加檔名。輸出入資料方面，皆採用 NetCDF 格式進行所有資料的讀寫，附檔名 nc 則為 NetCDF 資料格式檔案。為了本計畫亦開發了多個命令腳本，其使用 Linux 作業系統中 bash 命令殼(shell)來進行開發命令腳本(shell script)，使用者可以透過此命令腳本建立模式輸入檔與分析資料，亦可批次處理某一段時間內的 POM 模式模擬，減少使用者製作資料輸入檔的不便。

### 3.3 資料蒐集

在模式邊界條件方面，本計畫透過現有的海氣象資料庫作為驅動模式所需之外力，故收集相關資料庫作為計畫執行依據，而本年度計畫新增台灣附近海域漂沙傳輸擴散特性探討，由於漂沙主要來源為陸地河川傳輸至海域中，故收集台灣主要 20 條河川之流量與輸沙量(大甲溪無任何輸沙量資料)，作為模式輸入之依據。以下則簡述各資料庫之基本參數與時空範圍。

#### 3.3.1 海表面邊界氣象資料

在海表面邊界氣象資料方面，蒐集了 NCEP/NCAR 再分析場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1) (Kalnay 等人，1996)，其資料為模式運算後資料同化之分析場結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為每 6 小時一筆，空間格網為 T62 Gaussian Grid，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。其包含海面氣象資料有 10 米高海面風場(uwnd、vwnd)、海平面大氣壓力(slp)、2 米高氣溫(air)、2 米高比濕(shum)、表面長波輻射通量(nlwrs)、表面短波輻射通量(nswrs)、表面潛熱通量(lhtfl)、表面顯熱通量(shtfl)、降雨率(prate)等變數，利用 2.4 節中所述之計算方式進行 POM 模式表面通量邊界計算，表 3-1 為 NCEP/NCAR 再分析海氣象資料格式說明。

本計畫亦收集了 NCEP 之氣候預測系統之分析資料(NCEP Climate Forecast System Reanalysis, CFSR)，CFSR 設計為全球高解析度大氣、海洋、陸地及海冰之耦合之氣候模擬，該資料集包含各種海、氣與通量參數分析資料，模擬期間為 1979 年至 2010 年，並持續進行模擬中。而 CFSR 大氣模式水平方向為 T382 格網，其格網間距約為 38 公里，垂直方向為 64 層，由表面至 0.26hPa；而海洋模式之水平格網在赤道地區為 0.25 度向南北延伸至回歸線之後為 0.5 度，垂直方向為 44 層向下延伸至水深 4737 公尺；地表與海冰模式分別 4 層與 3 層。為了本計畫所需，僅收集 6 小時解析度之海面 10 公尺高之風速、海面大氣壓力

及海洋模式之溫度場資料，表 3-2 則為資料格式說明。

**表 3-1 NCEP/NCAR 再分析海氣象資料格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
時間間距(interval)	6 小時 6-hourly、日平均 daily mean、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	192×94 格網化資料 T62 Gaussian grid 0.0E~358.12E，88.542S~88.542N
變數(variable)	10 米高海面風場(uwnd、vwnd)、海平面大氣壓力(slp)、2 米高氣溫(air)、2 米高比濕(shum)、表面長波輻射通量(nlwrs)、表面短波輻射通量(nswrs)、表面潛熱通量(lhtfl)、表面顯熱通量(shtfl)、降雨率(prate)
資料型式(type)	NetCDF

**表 3-2 CFSR 資料格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1979/01/01~2010/12/31
時間間距(interval)	6 小時 6-hourly、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	1152×576 格網化資料 T382 Gaussian grid 0.0E~359.687E，89.761S~89.761N
變數(variable)	10 米高風速(surface winds)、海平面大氣壓力(sea level pressure)、海面溫度(sea surface temperature)
資料型式(type)	GRIB2

### 3.3.2 海面溫度

關於海面溫度資料，本計畫蒐集了 NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature V2 之海面溫度資料，其資料為資料測站與衛星資料利用最佳內插法之輸出結果，資料時間範圍自 1981 年至今，時間解析度為 7 天，空間解析度為 1.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網

址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html>。表 3-3 為 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式說明。

另亦蒐集了 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (SST) V3 之海面溫度資料，其資料來源為 International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) 之 SST 資料，利用改良式統計方法重建格網資料 (Smith, 2008)，資料時間範圍自 1854 年至今，時間解析度為月平均，空間解析度為 2.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.html>。表 3-4 為 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式說明。

**表 3-3 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1981 年~迄今
時間間距(interval)	週平均 weekly mean
空間資訊(spatial)	180×360 格網化資料 1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude global grid 0.5E~359.5E, 89.5S~89.5N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

**表 3-4 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1854 年~迄今
時間間距(interval)	月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	89×180 格網化資料 2.0 degree latitude x 2.0 degree longitude global grid 0.0E~358.0E, 88.0S~88.0N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

### 3.3.3 海洋鹽度、溫度與海流

關於海洋鹽度與溫度，本計畫蒐集了 NODC (National Oceanographic Data Center)的 WOA (World Ocean Atlas)海洋水文資料庫，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料，資料時間為 2009 年，水平空間解析度為 1.0 度，垂直方向共有 33 層，分別是 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 [http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr\\_woa09.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html)。表 3-5 為 WOA09 海洋資料庫格式說明。

本計畫亦收集國科會海洋學門海洋資料庫之水文資料來進行模式驗證，海洋學門資料庫資料範圍以台灣附近海域為主，關於海洋水文資料，是研究船以 Seabird 公司製造的溫鹽深儀(CTD, Conductivity, Temperature, Depth)所量測的 CTD 水文資料為主。目前共收集有研究船 3000 多航次的資料，約有 40000 多點資料，原始資料筆數約 1000 萬筆左右。其資料網頁為 <http://www.odn.ntu.edu.tw/ctd/>，表 3-6 為海洋資料庫之海洋水文資料之格式說明。

國科會海洋學門海流資料是海研一、二、三號的船碇式都卜勒流剖儀(Ship-Board Acoustic Doppler Current Profiler, Sb-ADCP)所收集得來，該儀器安裝在研究船船底的聲學裝置，利用都卜勒效應，即可求得海水各層深度之流場剖面資料。由於儀器安裝於研究船船底，航行軌跡所經之處，即為流場量測區域。本流場資料利用 Tang 和 Ma (1995) 的校正方式獲得絕對流場，再將各水層資料內插成每十米深度，並繪製相關圖資。其資料網頁為 <http://www.odn.ntu.edu.tw/adcp/>，表 3-7 為海洋資料庫海流資料之格式說明。

**表 3-5 NODC WOA09 海洋資料庫格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1900-2009 年長期平均
空間資訊(spatial)	180×360 格網化資料(grid) 1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude global grid 0.0E~359.0E，89.5S~89.5N
變數(variable)	溫度(temperature)、鹽度(salinity)
高度(level)	標準深度(水深方向 33 層)
資料型式(type)	ASCII

**表 3-6 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1985 年迄今
空間資訊(spatial)	點狀資料、30 分格網畫資料
變數(variable)	溫度(temperature)、鹽度(salinity)
高度(level)	標準深度(水深方向 33 層)
資料型式(type)	ASCII

**表 3-7 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1991~2009 年
空間資訊(spatial)	0.25 度格網化資料
變數(variable)	流速東西分量( $U$ 、 $V$ )
高度(level)	20~300 公尺深度(每 10 公尺一層)
資料型式(type)	ASCII

### 3.3.4 地形水深

關於地形水深，本計畫蒐集了 NGDC (National Geophysical Data Center)全球 2 分解析度之 ETOPO2 資料庫(National Geophysical Data Center)，與 1 分解析度之 ETOPO1 資料庫(Amante 和 Eakins，2009)，其資料網址為 <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/relief.html>，及國科會海洋學門之水深資料庫(Liu 等人，1998)，而表 3-8、3-9 及 3-10

分別為 ETOPO2、ETOPO1 及海洋學門之水深資料庫格式說明。

**表 3-8 ETOPO2 地形水深資料庫格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	2006 年發表
空間資訊(spatial)	5401×10801 格網化資料(grid-registered) 2 minute latitude x 2 minute longitude global grid 0.0E~360.0E, 90.0S~90.0N
變數(variable)	地形水深高程(topography & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

**表 3-9 ETOPO1 地形水深資料庫格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	2009 年發表
空間資訊(spatial)	21601×10801 格網化資料(grid-registered) 1 minute latitude x 1 minute longitude global grid 0.0E~360.0E, 90.0S~90.0N
變數(variable)	地形水深高程(topography & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

**表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式**

屬性	設定值
時間範圍(period)	1998 年發表
空間資訊(spatial)	1601×1801 格網化資料(grid-registered) 500 m x 500 m 117.0E~125.0E, 18.0N~27.0N
變數(variable)	地形水深高程(topography & bathymetry)
資料型式(type)	ASCII

### 3.3.5 五大商港海流、潮汐及風速資料

去年度計畫目標為台灣各國際商港外海之海流模擬，為了驗證計畫所建置之模式合理性，故收集港研中心於五大商港外海之海潮流觀測資料作為模式驗證與校驗參數的基礎，去年度計畫收集了 2009、2010

年於基隆、蘇澳、花蓮、台中及高雄港外海之海流資料及近岸潮位與風速資料，表 3-11 至 3-13 分別表示海流、潮位及風速於五大商港區成功觀測之月份一覽表。以下則簡述各測站位置與儀器安置狀況。

1. 基隆港：基隆港之海流觀測使用挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統(AWCP)，由於 2006 年 8 月防波堤延伸工程，故安裝於西防波堤外海水深 36 公尺處，其坐標約在北緯  $25^{\circ}09'50''$ ，東經  $121^{\circ}44'50''$ (曾等人，2011)，如圖 3-3 中所示。剖面海流流速的量測可依照使用在不同水深即自固定在海床上之儀器位置到水表面來設定量測不同的間距，基隆港觀測站水深間距設定為 2 公尺，每小時連續量測 600 秒，再將總和平均代表其數樣每一間距層之海流流速、流向等資料，記錄在感應器內，並每隔 1 小時經由海底電纜傳訊回接收站之電腦中儲存(蘇等人，2011)。
2. 蘇澳港：蘇澳港之海流觀測系統亦為 AWCP 型式，其位置在蘇澳港港口外海 700 公尺處，水深 25 公尺，其坐標約在北緯  $24^{\circ}35'23''$ ，東經  $121^{\circ}53'07''$ (曾等人，2011)，如圖 3-4 中所示。
3. 花蓮港：花蓮港之海流觀測系統亦為 AWCP 型式，其位置約在花蓮港東防波堤南方 380 公尺處，水深 33 公尺，其坐標約在北緯  $23^{\circ}58'50''$ ，東經  $121^{\circ}37'30''$ (曾等人，2011)，如圖 3-5 中所示。
4. 台中港：台中港之海流觀測亦使用挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統(AWCP)，由於 2008 年 9 月 28 日因連續二個強烈颱風中下了豪雨，從北邊的大甲溪與大安溪流出的大量砂石，將整座高 2.5 公尺的 AWCP 儀器埋剩 10 公分左右並將電纜沖斷，港研中心隨即在 2009 年 6 月 20 日重新安裝於台中港北防波堤堤頭 570 公尺外、水深 23 公尺處，其坐標約在北緯  $24^{\circ}18'09.4''$ ，東經  $120^{\circ}28'38.4''$ (曾等人，2011)，如圖 3-6 中所示。
5. 高雄港：高雄港之海流觀測系統亦為 AWCP 型式，現有測站為 2005 年 8 月後移至第二港口西南外海約 700 公尺處，水深約為 18 公尺，

其坐標約在北緯  $22^{\circ}32'33.9''$ ，東經  $120^{\circ}17'38.4''$  (曾等人，2011)，如圖 3-7 中所示。

6. 安平港：安平港之 AWCP 海流觀測系統安裝於安平觀測樁水下 5 米處，其坐標約在北緯  $22^{\circ}56'37''$ ，東經  $120^{\circ}08'10''$  (蘇等人，2011)，如圖 3-8 中所示。
7. 台北港：台北港之 AWCP 海流觀測系統安裝於台北港觀測樁上，其座標約在北緯  $25^{\circ}10'54''$ ，東經  $121^{\circ}22'32''$  (蘇等人，2011)，如圖 3-9 中所示。

**表 3-11 五大商港海流觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料)**

年度	2009												2010											
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
基隆港																								
台中港																								
高雄港																								
蘇澳港																								
花蓮港																								
台北港																								
安平港																								

**表 3-12 五大商港潮位觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料)**

年度	2009												2010											
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
基隆港																								
台中港																								
高雄港																								
蘇澳港																								
花蓮港																								
台北港																								
安平港																								

表 3-13 五大商港風速、向觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料)

年度	2009												2010											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
基隆港																								
台中港																								
高雄港																								
蘇澳港																								
花蓮港																								
台北港																								
安平港																								



圖 3-3 基隆港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-4 蘇澳港海氣象測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-5 花蓮港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-6 台中港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-7 高雄港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)

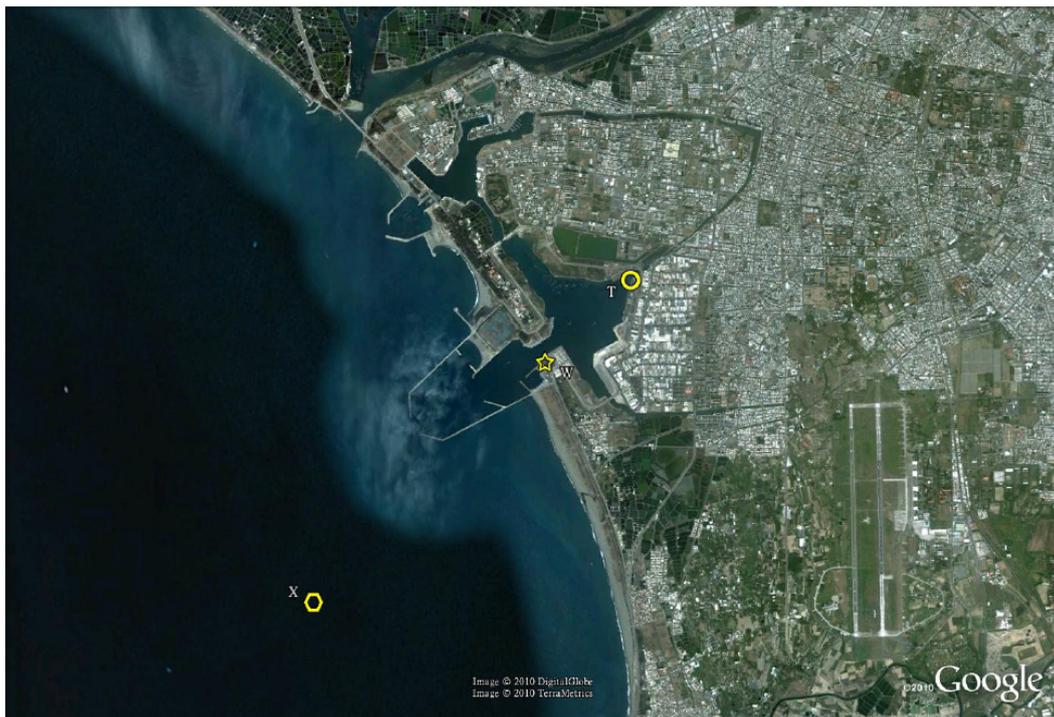


圖 3-8 安平港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(蘇等人，2011)



圖 3-9 台北港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(蘇等人，2011)

### 3.3.6 台灣主要河川水文資料

臺灣地區所有河川悉由中央山脈或其鄰近山區發源，向東西注入太平洋或臺灣海峽，計有中央管河川 24 水系、跨省市河川 2 水系及縣管河川 92 水系。各河流均短且陡，暴雨時水流湍急，挾帶大量泥沙，河川流量並隨降雨迅速漲落。由於上游河谷陡峻狹窄，地質脆弱，於下游出谷之後，河床寬淺，易於氾濫，治理頗為困難(引用經濟部水利署台灣水文年報)，其台灣地區河川與水資源分區如圖 3-10 所示。

本研究主要探討 21 條臺灣重要河川特性與水文特性，根據經濟部水利署發表之台灣水文年報、經濟部水利署各縣市河川局以及相關計畫書之資訊，整理台灣 21 條重要之河川基本資料與特性，分為北、中、南、東四個區域，如下所述：

#### 1. 北部區域

##### (1). 淡水河

淡水河發源自品田山(標高 3,529 公尺，位於新竹縣及台中市交界)，幹線長度 158.7 公里，流域面積 2,726 平方公里，為台灣第三長之河流且淡水河是台灣少數以「河」為名的河川。淡水河流域涵蓋新北市、台北市、基隆市、桃園縣、新竹縣以及宜蘭縣的一小部分，主要支流為大漢溪、新店溪、基隆河、三峽河、景美溪、北勢溪、疏洪道。

##### (2). 蘭陽溪

蘭陽溪發源自南湖大山北麓(海拔 3,536 公尺)，幹線長度 73 公里，包括支流在內的蘭陽溪流域，幾乎涵蓋宜蘭所有鄉鎮市，面積達 978 平方公里，其中山地面積有 652 平方公里，平地面積則佔了 326 平方公里。主要支流為宜蘭河、羅東溪、大湖溪、大礁溪、小礁溪、五十溪，流經區域為宜蘭縣、大同鄉、三星鄉、員山鄉、冬山鄉、羅東鎮、宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉。

##### (3). 頭前溪

頭前溪主要上游為上坪溪和油羅溪，發源於雪山山脈標高 2,512 公尺之檜山西北側，流域面積 565.94 平方公里，幹線長度 63.03 公里，流經區域為芎林鄉、竹北市、竹東鎮、橫山鄉、五峰鄉、尖石鄉、新竹市，分布於新竹市北部及新竹縣中部，是新竹地區的主要河流。

## 2. 中部區域

### (1). 後龍溪

後龍溪主要支流為老田寮溪，發源於加裡山山脈鹿場大山，流域面積 536.69 平方公里，幹線長度 58.3 公里，流經區域為苗栗縣：後龍鎮、苗栗市、頭屋鄉、公館鄉、銅鑼鄉、獅潭鄉，是苗栗縣重要河川之一。

### (2). 大安溪

大安溪發源於雪山山脈之大壩尖山(海拔 3,488 公尺)，為縣界的河川北邊苗栗縣，南邊是台中市，主要分佈於苗栗縣南部及台中市北部，流域面積 758.47 平方公里，幹線長度 95.76 公里，流經區域為苗栗縣：泰安鄉、卓蘭鎮、三義鄉、苑裡鎮，台中市：和平區、東勢區、後里區、外埔區、大甲區、大安區。

### (3). 大甲溪

大甲溪發源於雪山山脈之雪山主峰(海拔 3,886 公尺)及中央山脈之南湖大山(海拔 3,742 公尺)，主要分佈於台中市並包括南投縣、宜蘭縣之一小部分，流域面積 1,235.73 平方公里，幹線長度 124.2 公里。大甲溪富含豐富的水力資源，係台灣水力資源最豐沛河川，由東至西目前共建有德基水庫、青山水庫、谷關水庫、天輪水庫、馬鞍水庫、石岡水壩等水庫。

### (4). 烏溪

烏溪發源於中央山脈合歡山西麓，下游河段因流經台中市大肚區，俗稱大肚溪。流域面積 2,025.60 平方公里，居全台第四，幹線長度 119.13 公里，居全台第六。烏溪為台中市與彰化縣之界河，流經區

域包含南投縣埔里鎮、國姓鄉、草屯鎮，台中市烏日區、大肚區、龍景區，與彰化縣伸港鄉、和美鎮、彰化市、芬蘭鄉等鄉鎮。

#### (5). 濁水溪

濁水溪名字是由日本人所命名，因其溪水帶大量泥沙，長年混濁因而得名，發源於合歡山主峰與東峰間(海拔 3,220 公尺)，流經區域幾乎遍布中部各縣市，流域面積達 3,156.90 平方公里，僅略次於高屏溪。幹線長度約 186.6 公里，是台灣最長的河川。

#### (6). 北港溪

北港溪發源於阿里山山脈西麓林內鄉七星嶺(標高 516 公尺)，流域面積，幹線長度，北港溪支流甚多，分別有三疊溪、石龜溪、大湖口溪、石牛溪，遍及雲林縣九個鄉鎮和嘉義縣六個鄉鎮，是雲嘉平原主要灌溉的河川。

### 3. 南部區域

#### (1). 朴子溪

朴子溪發源於阿里山山脈四天王山芋菜坑(標高 1,421 公尺)，主要支流有清水溪、濁水溪、獅子頭溪、牛稠溪、科底溪、崎腳溪，流域面積 426.60 平方公里，幹線長度 75.87 公里，流經區域為竹崎鄉、嘉義市、民雄鄉、新港鄉、太保市、六腳鄉、朴子市、東石鄉。

#### (2). 八掌溪

八掌溪發源於阿里山奮起湖，主要支流為赤蘭溪、頭前溪，是台南市與嘉義縣的縣界溪，流域面積 474.74 平方公里，幹線長度 80.86 公里。八掌溪名稱據稱該河坡度平緩、支流甚多，高達八條以上因而得名，流經嘉義縣義竹鄉、布袋鎮、鹿草鄉、水上鄉、嘉義市、中埔鄉、番路鄉，台南市北門區、學甲區、鹽水區、後壁區、白河區。

#### (3). 急水溪

急水溪發源於阿里山山脈關子嶺附近，主要支流為六重溪、龜重

溪，流域面積 379 平方公里，幹線長度 65 公里，流經區域台南市白河區、新營區、鹽水區、學甲區、柳營區、東山區、北門區、後壁區、六甲區、下營區。

#### (4). 曾文溪

曾文溪發源自阿里山之水山，至台南市安南土城子入海，為本島第四大河川，經分大埔溪(即本流之上游)、後堀溪，菜寮溪、官田溪等四支流。流域面積 1,176.64 平方公里，幹流長度 138.47 公里。流經嘉義縣的阿里山鄉、番路鄉、大埔鄉，高雄縣的三民鄉，台南市的東山區、六甲區、楠西區、玉井區、南化區、左鎮區、山上區、大內區、官田區、善化區、麻豆區、安定區、西港區、七股區、安南區。

#### (5). 鹽水溪

鹽水溪發源於台南市龍崎區大坑尾中央山脈南部，主要支流為那拔林溪，流經台南市安平入海，該溪昔時稱新港溪，現稱鹽水溪。流域面積 339.74 平方公里，幹流長度 41.30 公里，流經地區：台南市龍崎區、關廟區、歸仁區、新市區、永康區、北區、新化區。

#### (6). 二仁溪

二仁溪發源於高雄市内門區木柵里山豬湖，主要支流為松仔腳溪、牛稠埔溪等支。流域面積 339.20 平方公里，幹流長度 61.20 公里，流經台南市關廟、永康、仁德、歸仁、龍崎，及高雄市内門、田寮、湖內、茄萣、旗山、路竹、阿蓮，台南等。

#### (7). 高屏溪

高屏溪發源於玉山山脈玉山主峰(海拔 3,952 公尺)，幹流長度 171 公里，流域面積廣達 3,25.85 平方公里，流經高屏縣市共 24 鄉鎮，上游有流經高雄縣三民鄉、甲仙鄉、杉林鄉、旗山鎮的楠梓仙溪(旗山溪)；經過高雄縣桃源、六龜、美濃的荖濃溪；流經高雄縣茂林鄉的濁口溪；以及屏東縣霧台的隘寮溪，流至嶺口匯集，統稱高屏溪，是台灣流域面積最大的河川。

#### (8). 東港溪

東港溪發源於屏東縣南大武山前麓，流經屏東縣境內，而由東港出海，河川長度約 47 公里，流域面積 472.2 平方公里。主要支流有萬安溪、牛角灣溪、佳平排水、麟洛排水、溪洲排水、牛埔排水。東港溪流經屏東縣的東港鎮、潮州鎮、新園鄉、南州鄉、崁頂鄉、萬巒鄉、竹田鄉、麟溪鄉、長治鄉、瑪家鄉、泰武鄉、萬丹鄉等。

#### (9). 林邊溪

林邊溪屬於縣管河川，發源於大武山區，向南流經屏東縣境內，而由林邊出海，河川長度約 42.19 公里，流域面積 343.97 平方公里。林邊溪豐水期可引用之水量並不多，枯水期逕流量幾乎全潛伏為地下水，估計有 40 百萬立方公尺之蘊藏量。主要支流有力里溪、七佳溪、尖刀尾溪、來社溪、瓦魯斯溪、大後溪。林邊溪流經屏東縣的泰武鄉、來義鄉、新埤鄉、佳冬鄉、林邊鄉等。

### 4. 東部區域

#### (1). 卑南溪

卑南溪發源於中央山脈卑南主峰(標高 3,293 公尺)，主要支流為鹿野溪、鹿寮溪、萬安溪，流域面積 1,603.21 平方公里，幹線長度 84.35 公里，是台東第一大溪，是灌溉台東平原主要的河川，流經台東縣台東市、卑南鄉、延平鄉、鹿野鄉、關山鎮、海瑞鄉、池上鄉。

#### (2). 秀姑巒溪

秀姑巒溪發源於花蓮縣、台東縣崙天山南麓(標高 2,360 公尺)，主要支流為樂樂溪、卓溪、豐坪溪、紅葉溪、富源溪，流域面積 1,790.46 平方公里，幹線長度 81.15 公里，流經花蓮縣豐里鄉、卓溪鄉、玉里鎮、瑞穗鄉、萬榮鄉、光復鄉、豐濱鄉，台東縣海瑞鄉、池上鄉，是台灣東部第一大河川，也是形成花東縱谷沖積扇的主要河流。

#### (3). 花蓮溪

花蓮溪發源於中央山脈丹大山支脈拔子山主要支流為光復溪、馬鞍溪、萬里溪、壽豐溪、木瓜溪，流域面積 1,507.09 平方公里，幹線長度 57.28 公里，流經花蓮縣光復鄉、鳳林鄉、壽豐鄉、吉安鄉、花蓮市，是花蓮縣的主要河川之一。

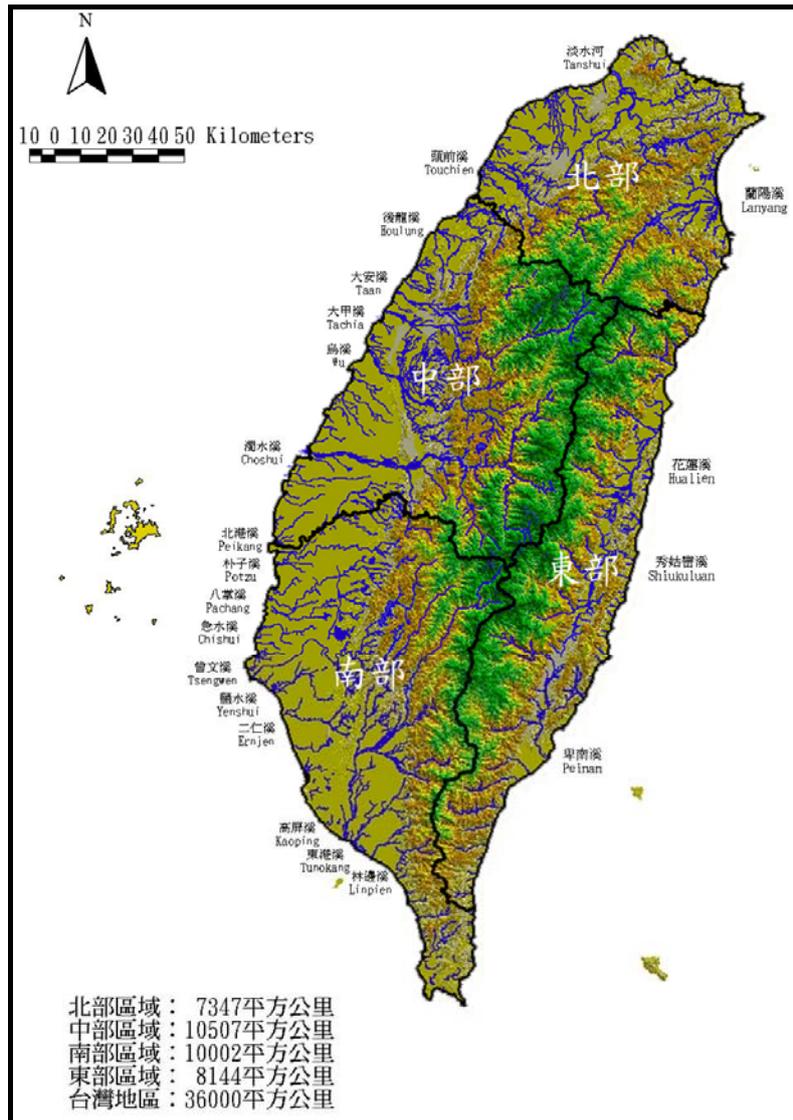


圖 3-10 台灣地區之河川與水資源分區圖(經濟部水利署，2010)

### 3.3.7 台灣主要河川流量與輸沙量

海岸之地形侵蝕與淤積，除了區域內沙的運移有關外，部分原因

應與河川輸沙量及含沙量之特性因素有關。為瞭解河川輸沙量對於海域漂沙特性的影響，根據經濟部水利署出版之台灣水文年報，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沙量，全台各水文站及流量站測站之分布圖如圖 3-11 至 3-20 所示。

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沙為主，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。本次彙整台灣 21 條重要河川，並分為北、中、南、東共四個部分：北部區域蘭陽河流域採用蘭陽大橋測站資料；淡水河流域較為特殊，測站分布於各主要支流為基隆河、新店溪、大漢溪，其中大漢溪以三峽河為主要支流，故採用五堵、秀朗、橫溪測站資料；頭前河流域採用經國橋。中部區域後龍河流域測站採用北勢大橋左岸測站資料；大安河流域測站資料以義里為主，2009 年資料有缺漏故採象鼻測站資料；大甲河流域目前僅上游段有流量測站，無懸移質測站資料；烏河流域採用測站採用大肚橋測站資料，2008 年和 2009 年資料有缺漏；濁水河流域測站採用溪洲大橋測站資料；北港河流域測站採用以北港(2)為主，2008 年資料有缺漏故採土庫大橋測站資料。南部區域朴子河流域採用灣內橋測站資料；八掌河流域採用義竹(輝生橋又稱厚生橋)測站資料，2010 年資料有缺漏；急水河流域測站採用新營測站資料；曾文河流域採用測站以曾文溪橋(新中)為主，2009 年資料有缺漏故改採二溪大橋站資料；鹽水河流域測站採用新市測站資料；二仁河流域測站採用南雄橋(阿蓮(2))；高屏河流域測站採用里嶺大橋測站資料；東港河流域測站採用潮州測站資料；林邊河流域採新埤測站資料，2010 年資料有缺漏。東部區域卑南河流域測站採用台東大橋測站資料；秀姑巒河流域測站採用瑞穗大橋測站資料；花蓮河流域測站採用花蓮大橋測站資料。以上各測站相關資料如表 3-14 所示。

河川輸沙量估算方面，利用許等人(2010)動態人工岬灣應用於台南高雄海岸之研究報告書提及之公式進行推算，由各年度懸移質實測紀錄表中，流量值( $Q$ )與輸沙量值( $S$ )以冪次關係式進行迴歸分析，如下式：

$$S = aQ^b \dots\dots\dots(3-1)$$

經由上式之計算，如表 3-15 所示，2008 至 2010 各年度都可得到一組懸移質輸沙量與流量之迴歸關係式，而其「R 平方值」(R Square)亦如表中所示。再將平均流量(表 3-16 至 3-18)代入所得之輸沙量迴歸式(表 3-15)，即可得懸移質輸沙量，如表 3-20 至 3-22 所示。許等人(2010)估計推移量約為懸移質輸沙量之 25%(許等人，2007)，而蔡等人(2010)亦使用 25%之懸移質估計計算推移質部分。因此本計畫推移質總量以懸移質之 25%估算之，而河川輸沙量為懸移質與推移質之和。由於大甲溪無任何輸沙量值，而各河川之輸沙量計算結果如表 3-23 至表 3-44 所示，並依此整理 20 條重要河川成近三年之月平均流量(表 3-19)和輸沙總量統計(表 3-45)。

將河川平均流量和年輸沙總量繪製成圖，圖 3-21 分別為台灣主要河川月平均流量與月輸沙量變化圖，由圖可知台灣北部蘭陽溪為主要輸沙來源，在九月份月總輸沙量可達 2 百萬公噸，其他河川月總輸沙量皆低於 0.5 百萬公噸以下。而台灣中部之濁水溪於夏季單月可輸出接近 20 百萬公噸，幾乎是其他河川的數十倍，為全台河川輸沙總量之冠。而台灣西南部之高屏溪在河川流量方面為全台之冠，進入梅雨季節六月後流量急速增加至十月後才進入枯水期，在輸沙量方面則是以八月份為最大，月總輸沙量可達 18 百萬公噸，僅次於濁水溪。觀察全台河川月平均流量變化狀況，河川流量最高在颱風季節之夏(六、七、八月)秋(九、十、十一月)兩季，月總輸沙量亦在這兩個季節為最高。

圖 3-22 為台灣主要河川年平均流量與年總輸沙量變化圖，濁水溪輸沙量為全台之冠，可達 45 百萬公噸以上，平均流量為 130 秒立方公尺，其次依序為高屏溪(年輸沙總體積約為 31 百萬公噸，平均流量為 239 秒立方公尺)、卑南溪(年輸沙總體積約為 18 百萬公噸，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。

台灣河流上游的集水區多屬較新的岩層，其特性為容易風化、容易被水侵蝕；且因為坡度陡峻，暴雨時地表逕流流速大，地表土壤沖刷激烈，本身地質條件再加上地震、豪大雨等天候因素之影響，皆使河流的含沙量增高。本計畫利用 2008 年至 2010 年河川流量—河川含沙量資料建立迴歸模式以推估河川總輸沙量，其計算結果可供後續研究參考使用。

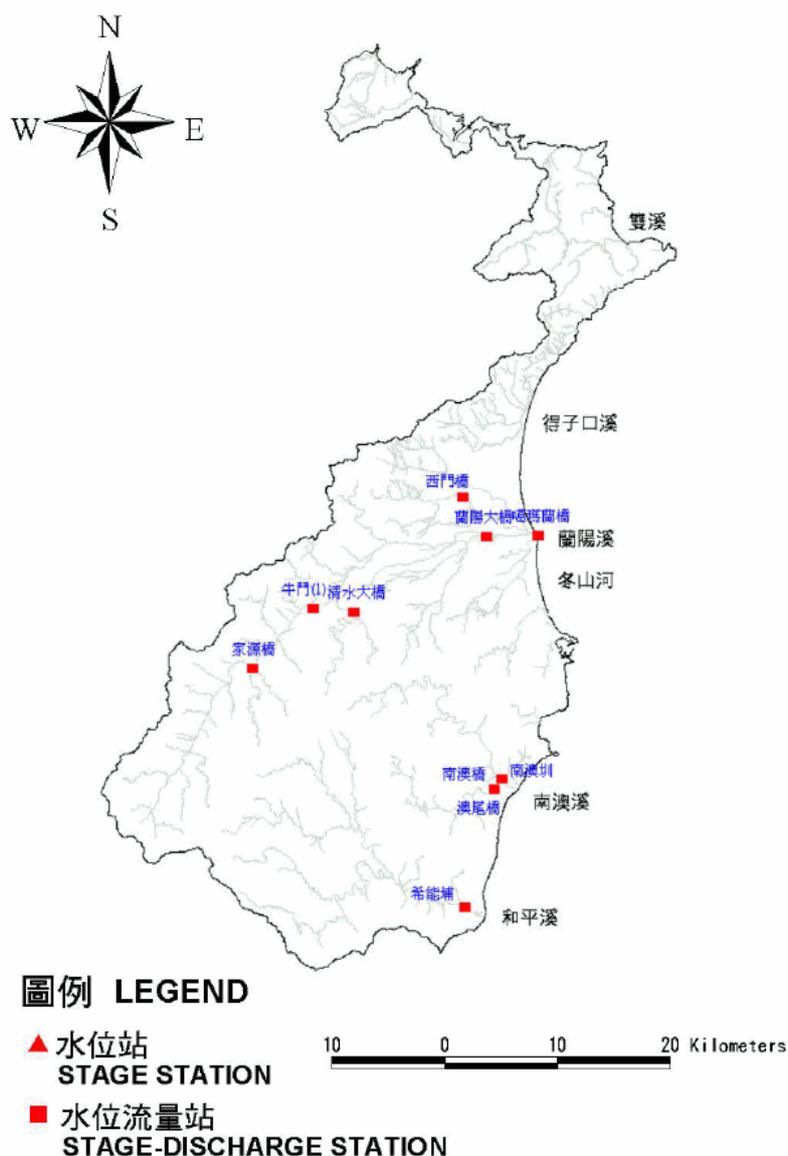
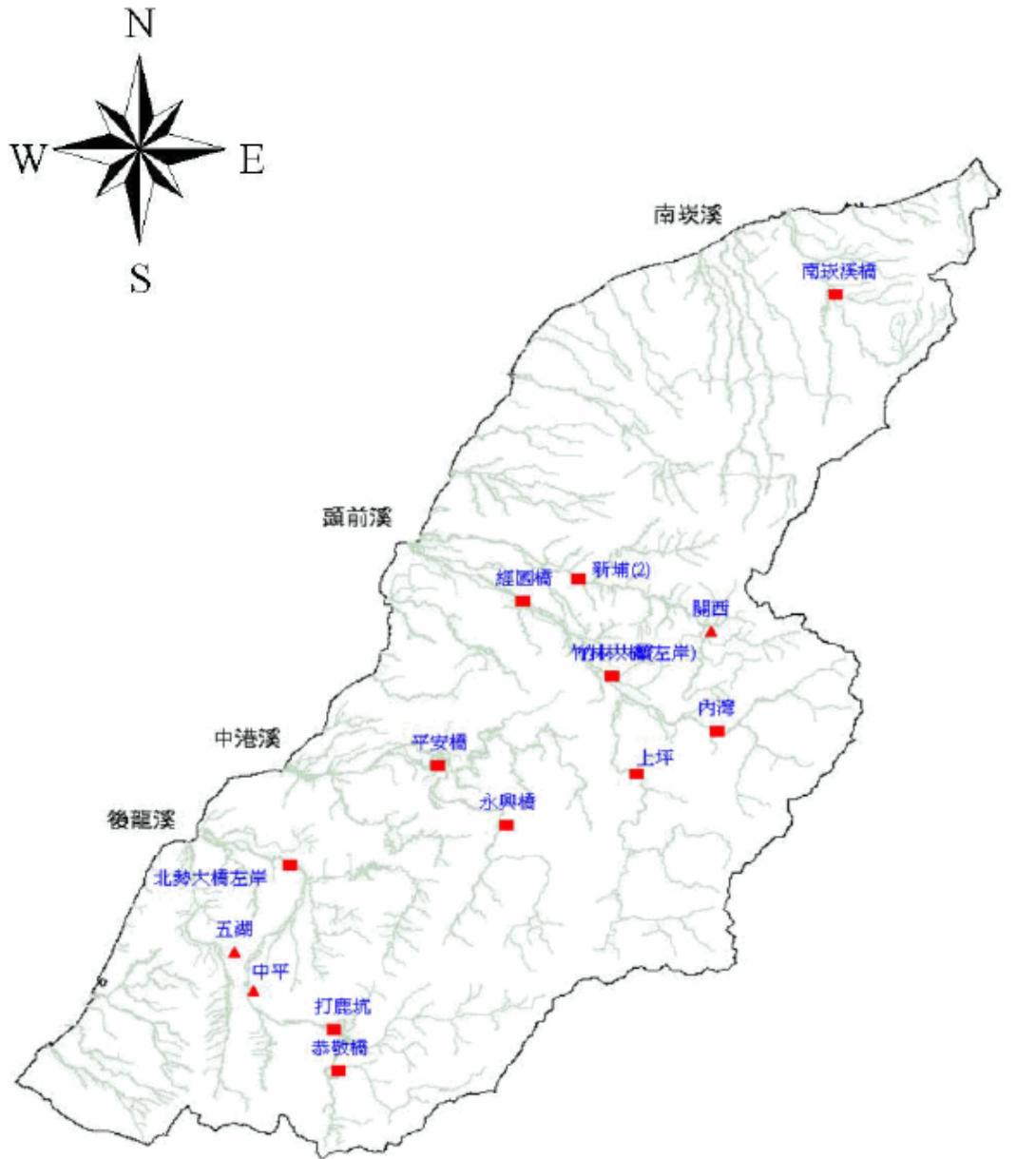


圖 3-11 經濟部水利署第一河川局所管水位站及流量站分布圖



**圖例 LEGEND**

▲ 水位站  
STAGE STATION

■ 水位流量站  
STAGE-DISCHARGE STATION

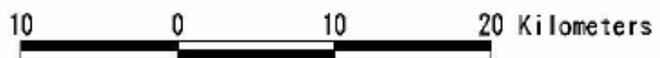


圖 3-12 經濟部水利署第二河川局所管水位站及流量站分布圖

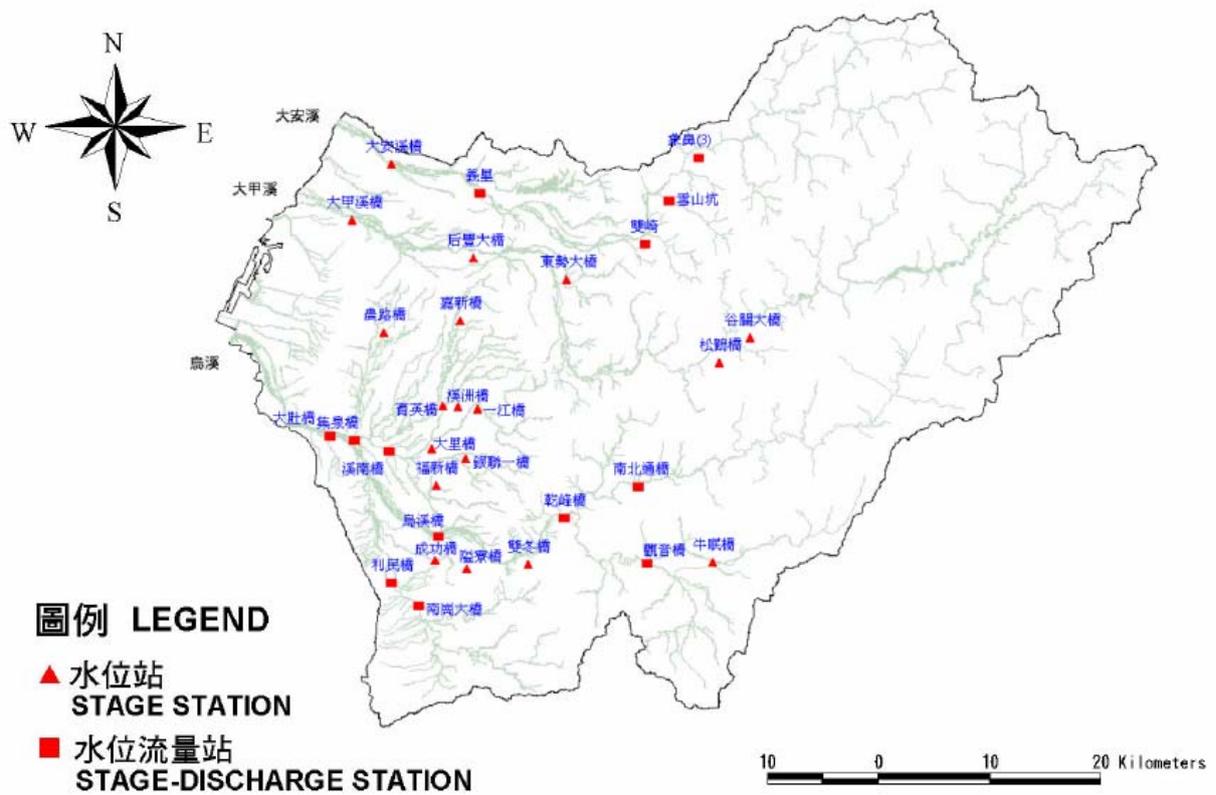


圖 3-13 經濟部水利署第三河川局所管水位站及流量站分布圖

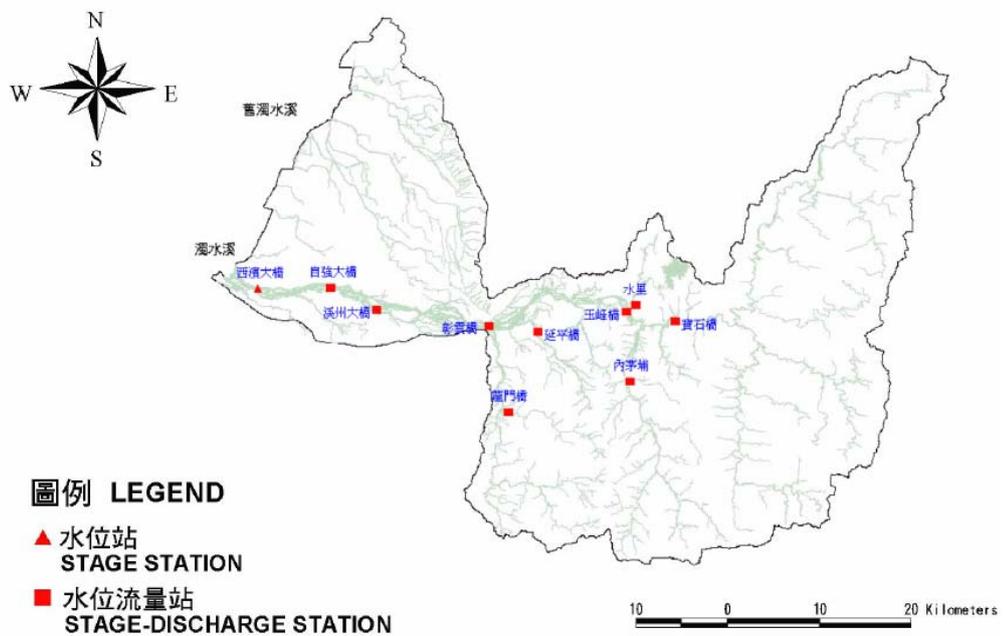
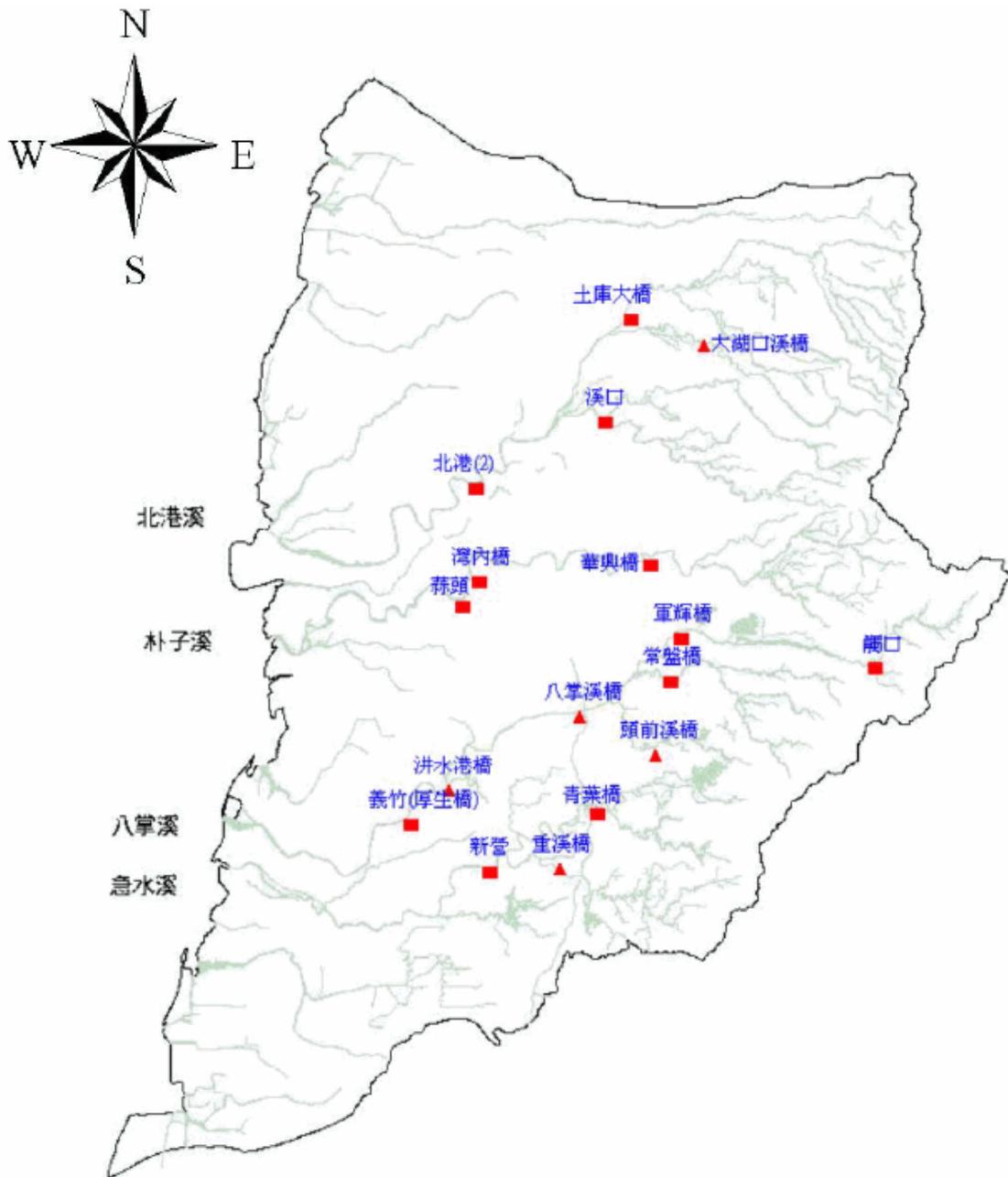


圖 3-14 經濟部水利署第四河川局所管水位站及流量站分布圖



**圖例 LEGEND**

▲ 水位站  
STAGE STATION

■ 水位流量站  
STAGE-DISCHARGE STATION

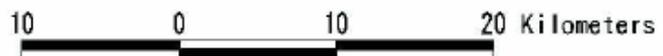
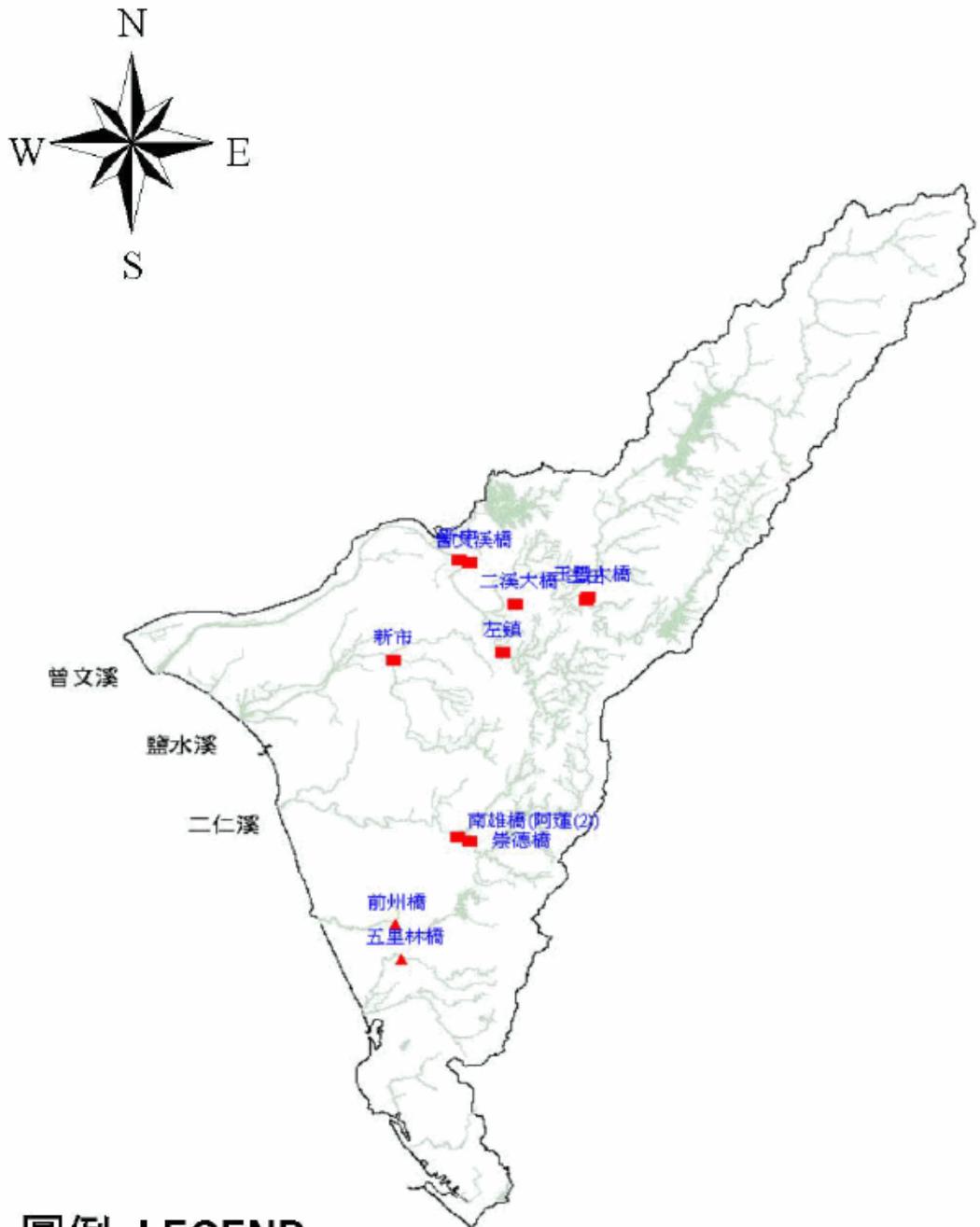


圖 3-15 經濟部水利署第五河川局所管水位站及流量站分布圖



**圖例 LEGEND**

▲ 水位站  
STAGE STATION

■ 水位流量站  
STAGE-DISCHARGE STATION

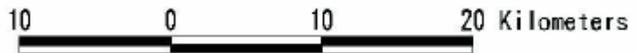


圖 3-16 經濟部水利署第六河川局所管水位站及流量站分布圖

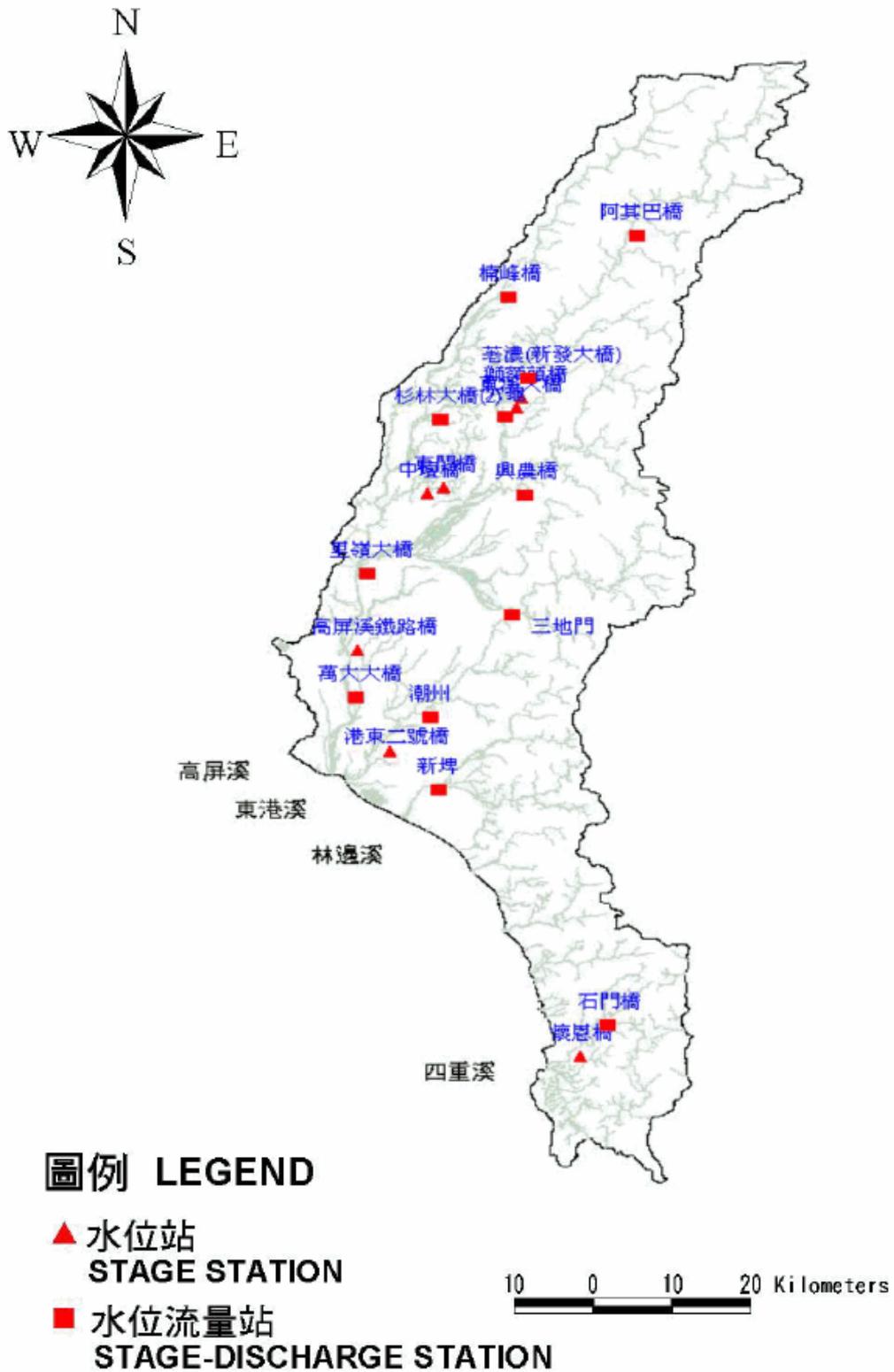
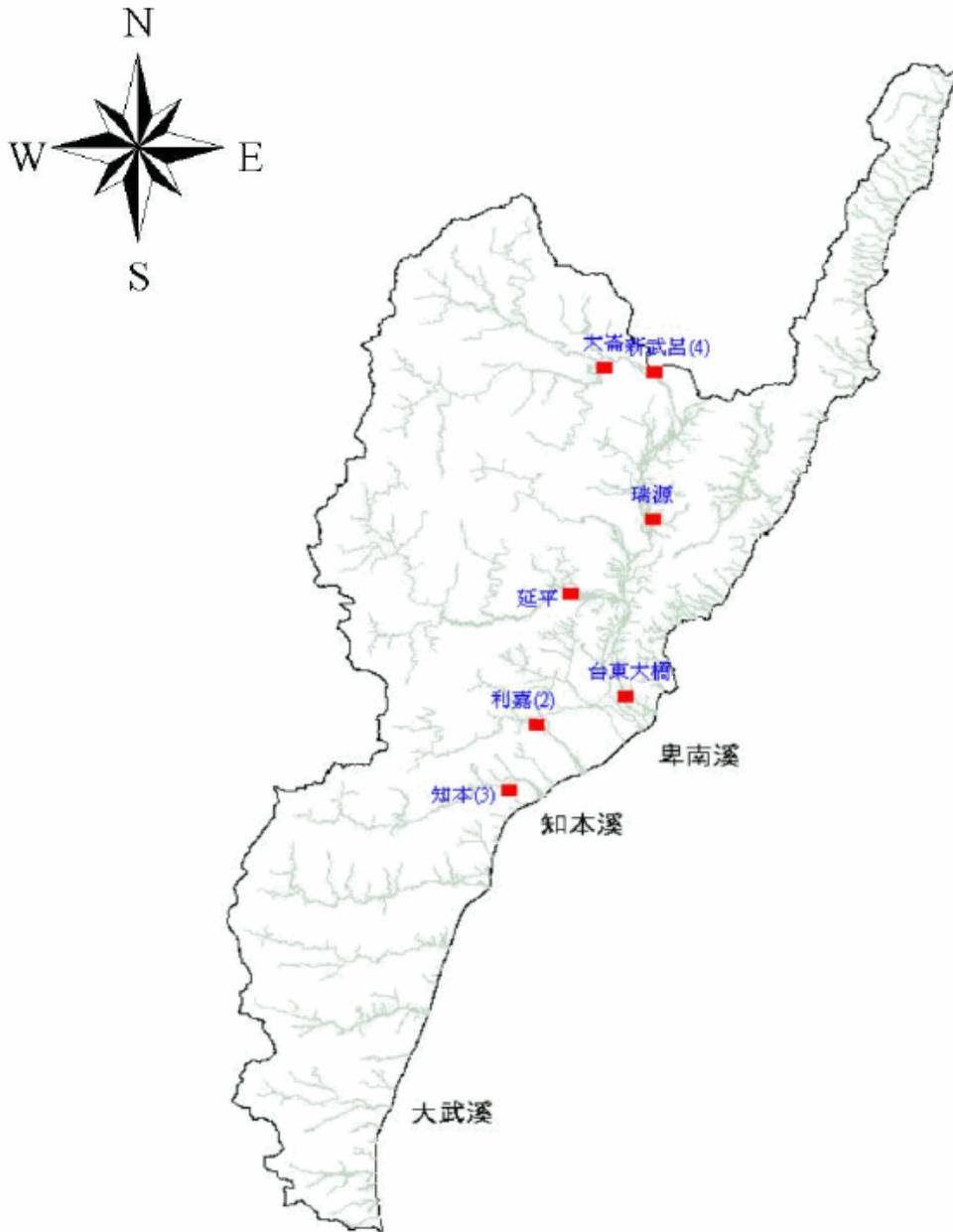


圖 3-17 經濟部水利署第七河川局所管水位站及流量站分布圖



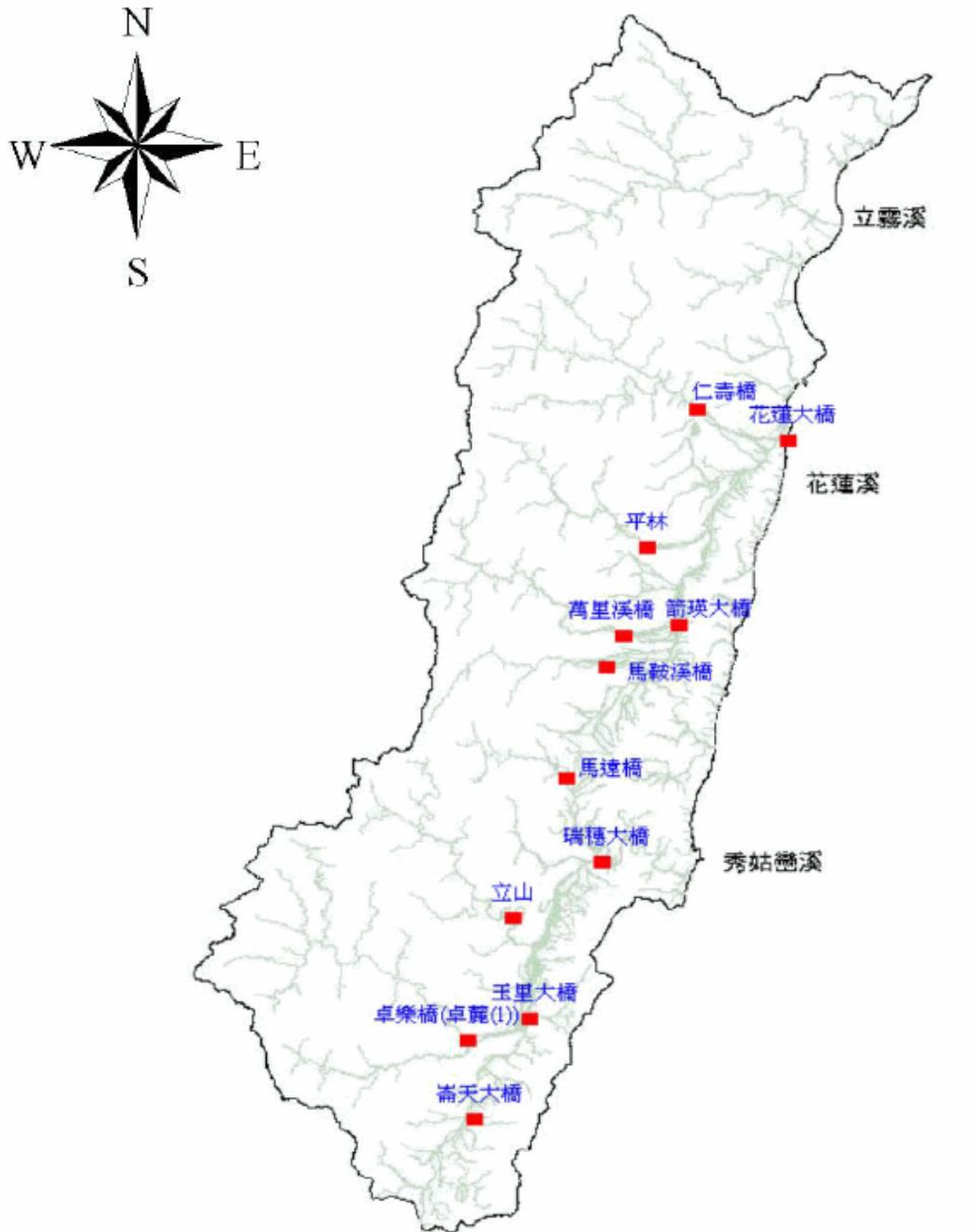
**圖例 LEGEND**

▲ 水位站  
STAGE STATION

■ 水位流量站  
STAGE-DISCHARGE STATION

10 0 10 20 Kilometers

圖 3-18 經濟部水利署第八河川局所管水位站及流量站分布圖



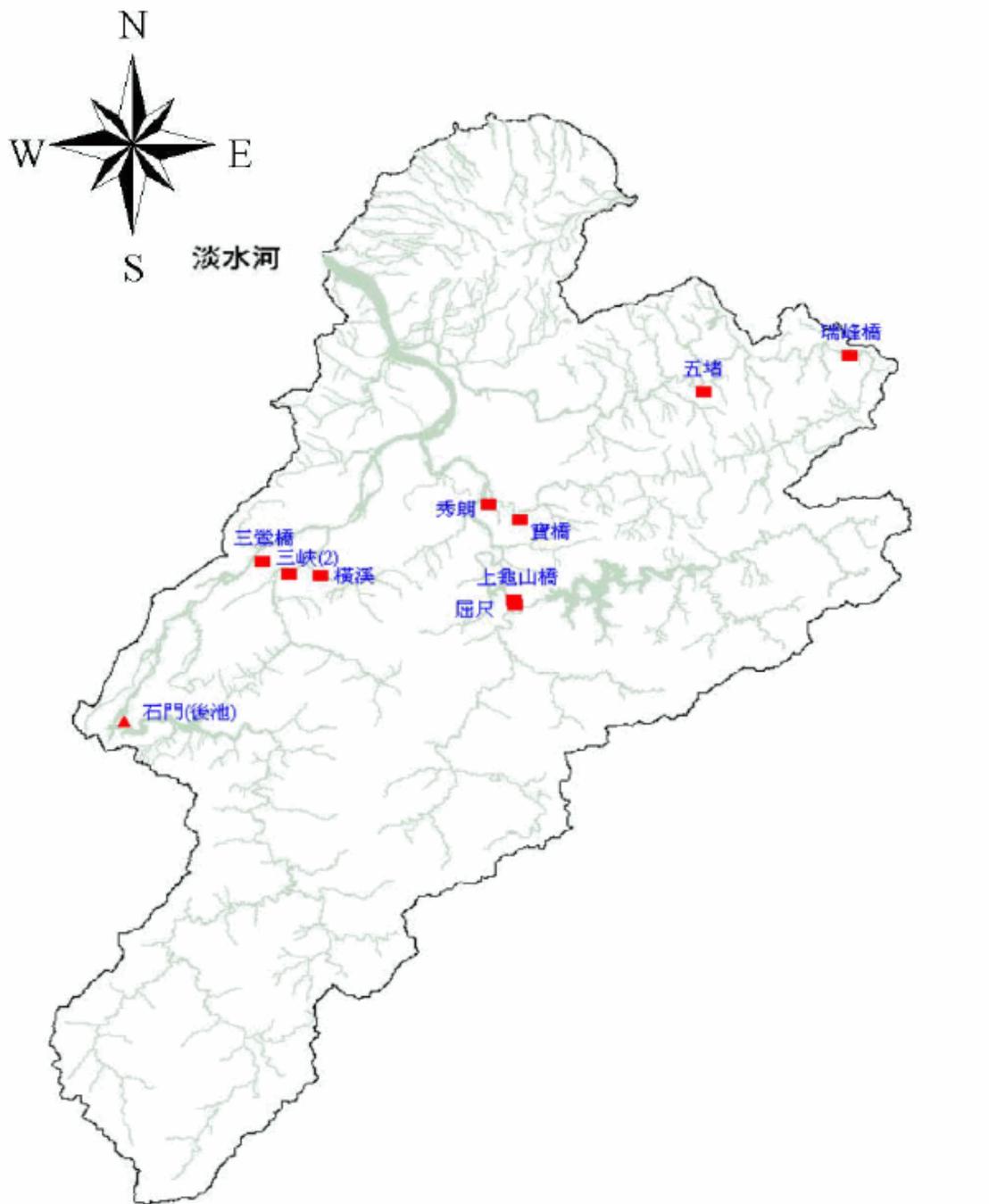
**圖例 LEGEND**

▲ 水位站  
STAGE STATION

■ 水位流量站  
STAGE-DISCHARGE STATION

10 0 10 20 Kilometers

圖 3-19 經濟部水利署第九河川局所管水位站及流量站分布圖



**圖例 LEGEND**

▲ 水位站  
STAGE STATION

■ 水位流量站  
STAGE-DISCHARGE STATION

10 0 10 20 Kilometers

圖 3-20 經濟部水利署第十河川局所管水位站及流量站分布圖

表 3-14 水位流量站及水位站一覽表 (資料來源:經濟部水利署水文年報)

1. 北部地區

流域名稱	河流名稱	編號	測站名稱	站號	流域面積 (平方公里)	縱坐標 E 橫坐標 N	站址	經辦機關	水位紀錄年份
									流量紀錄年份
蘭陽溪	蘭陽溪	2560	蘭陽大橋	H006	820.69	327262.20 2734754.00	宜蘭縣羅東鎮復興村	經濟部水利署	1983~2010
									1949~2010
淡水河	基隆河	1140	五堵	H058	204.41	319419.40 2774923.70	基隆市七堵區五堵北街	經濟部水利署	1983~2010
									1970~2010
淡水河	新店溪	1140	秀朗	H066	750.76	302580.10 2764915.00	新北市中和區秀朗橋	經濟部水利署	1983~2010
									1970~2010
淡水河	三峽河	1140	橫溪	H049	52.88	289452.40 2758619.30	新北市三峽區溪北里	經濟部水利署	1983~2010
									1958~2010
頭前溪	頭前溪	1300	經國橋	H017	499.18	251139.20 2744703.00	新竹縣竹北市東方里	經濟部水利署	1990~2010
									1990~2010

2. 中部地區

流域名稱	河流名稱	編號	測站名稱	站號	流域面積 (平方公里)	縱坐標 E 橫坐標 N	站址	經辦機關	水位紀錄年份
									流量紀錄年份
後龍溪	後龍溪	1350	北勢大橋左岸	H012	472.20	231500.10 2721124.00	苗栗縣後龍鎮豐富里	經濟部水利署	1991~2010
									1991~2001, 2003~2010
大安溪	大安溪	1400	義里	H009	633.18	222572.50 2693171.00	台中市后里區三豐路	經濟部水利署	1966~2010
									1966~2002, 2004~2010
大安溪	大安河	1400	象鼻(3)	H015	437.58	245829.90 2697008.00	苗栗縣泰安鄉象鼻村	經濟部水利署	1991~2010
									1991~2010
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									—
烏溪	烏溪	1430	大肚橋	H025	1980.65	206698.60 2667026.00	台中市烏日區中山路三段	經濟部水利署	1964~2010
									1964~2006, 2010
濁水溪	濁水溪	1510	溪州大橋	H071	2974.73	194978.40 2634095.00	彰化縣溪州鄉水尾村	經濟部水利署	2000~2010
									2000~2010

北港溪	北港溪	1540	北港(2)	H009	597.46	177833.80 2606983.00	雲林縣北港鎮南安里 (北港大橋)	經濟部水利署	1941~1943, 1947~1947, 1949~2010 1941~1943, 1947, 1949~2010
北港溪	北港溪	1540	土庫大橋	H029	253.22	189892.40 2620065.00	雲林縣虎尾鎮延平里 (土庫大橋)	經濟部水利署	1984~2010 1984~2010

### 3. 南部地區

流域名稱	河流名稱	編號	測站名稱	站號	流域面積 (平方公里)	縱坐標 E 橫坐標 N	站址	經辦機關	水位紀錄年份
									流量紀錄年份
朴子溪	朴子溪	1550	灣內橋	H012	282.89	178017.60 25599795.00	嘉義縣六腳鄉蒜頭村 (灣內大橋)	經濟部水利署	1993~2010
									1993~2010
八掌溪	八掌溪	1580	義竹(厚生橋)	H005	441.02	172747.40 2581060.00	嘉義縣義竹鄉厚生橋	經濟部水利署	1941~1943, 1947~2009
									1943, 1947~1948, 1950~2009
急水溪	急水溪	1590	新營	H012	226.66	178898.90 2577420.00	台南市新營區 (舊急水溪橋)	經濟部水利署	1958~2010
									1958~2010
曾文溪	曾文溪	1630	新中	H019	987.74	181375.00 2561875.00	台南市官田區渡仔頭村	經濟部水利署	2000~2008
									2000~2008
曾文溪	曾文溪	1630	二溪大橋	H018	825.05	186917.00 2557195.00	臺南市大內區內郭里	經濟部水利署	2000~2001, 2005~2010
									2000~2001, 2006~2010
鹽水溪	鹽水溪	1650	新市	H006	146.46	175074.30 2551130.00	臺南市永康區三民里 (豐化橋)	經濟部水利署	1973~2010
									1973~2010
二仁溪	二仁溪	1660	南雄橋 (阿蓮(2))	H009	175.10	181310.70 2532409.00	高雄市阿蓮區阿蓮里	經濟部水利署	1971~1981, 1990~2010
									1971~1981, 1990~2010
高屏溪	高屏溪	1730	里嶺大橋	H043	2894.79	193049.30 2519190.00	高雄市大樹區鐘鈴村	經濟部水利署	1991~2010
									1991~2004, 2007~2010
東港溪	東港溪	1740	潮州	H002	175.30	201836.80 2496373.00	屏東縣潮州鎮潮州橋	經濟部水利署	1983~2010
									1965~2010
林邊溪	林邊溪	1760	新埤	H004	309.86	202878.90 2484988.00	屏東縣新埤鄉新埤大橋	經濟部水利署	1983~2010
									1942~2007, 2009

#### 4. 東部地區

流域名稱	河流名稱	編號	測站名稱	站號	流域面積 (平方公里)	縱坐標 E 橫坐標 N	站址	經辦機關	水位紀錄年份
									流量紀錄年份
卑南溪	卑南溪	2200	台東大橋	H011	1584.29	263620.70 2521408.00	台東縣卑南鄉富源村	經濟部水利署	1941~1944, 1948~2010
									1941~1944, 1947~2003, 2005~2010
秀姑巒溪	秀姑巒溪	2370	瑞穗大橋	H017	1538.81	290507.50 2598252.00	花蓮縣玉里鎮德武里	經濟部水利署	1969~2010
									1969~2010
花蓮溪	花蓮溪	2420	花蓮大橋	H024	1506.00	310211.30 2646800.00	花蓮縣壽豐鄉鹽寮村	經濟部水利署	1969~2010
									1969~2010

表 3-15 懸移質輸沙量與流量之迴歸關係式

河川名稱	2008 年			2009 年			2010 年		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R 平方值	<i>a</i>	<i>b</i>	R 平方值	<i>a</i>	<i>b</i>	R 平方值
蘭陽溪	0.2437	2.3194	0.79	3.8814	1.5488	0.78	0.2588	1.9213	0.78
淡水河-五堵	2.0808	1.2460	0.95	2.2132	1.1172	0.66	3.4009	1.1319	0.86
淡水河-秀朗	0.5612	1.6553	0.95	0.6738	1.6532	0.93	1.6569	1.3713	0.89
淡水河-橫溪	1.4837	1.5057	0.93	1.6607	1.2647	0.93	2.0954	1.0676	0.75
頭前溪	—	—	—	3.7691	0.9132	0.92	3.2451	0.9211	0.77
後龍溪	—	—	—	3.0787	1.7373	0.92	2.5015	1.2235	0.79
大安溪	22.815	1.0666	0.80	17.779	1.023	0.43	—	—	—
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	—	—	—	—	—	—	16.544	1.0202	0.88
濁水溪	2.8555	1.8598	0.98	4.7828	1.8237	0.94	6.4204	1.7693	0.95
北港溪	0.5973	2.3978	0.88	4.5586	1.5449	0.90	1.4948	1.9250	0.74
朴子溪	2.6874	1.7109	0.93	2.3935	1.8484	0.90	4.0295	1.4629	0.80
八掌溪-義竹	0.6263	2.0436	0.94	1.3836	2.1061	0.86	—	—	—
急水溪	1.9842	1.9237	0.96	2.5395	1.5575	0.77	4.0133	1.6376	0.89
曾文溪	15.612	1.3254	0.95	3.9044	1.6343	0.86	7.2707	1.1167	0.71
鹽水溪	10.619	1.5043	0.94	3.0141	1.4993	0.82	3.1025	1.3720	0.67
二仁溪	13.515	1.6930	0.94	11.837	1.7382	0.86	6.7543	1.2100	0.46
高屏溪	0.4246	1.8755	0.97	0.7656	1.9771	0.89	23.539	1.4313	0.86
東港溪	5.0723	1.4657	0.84	10.747	1.4452	0.92	35.700	1.5095	0.82
林邊溪	8.6332	1.2423	0.90	12.874	1.5421	0.92	57.560	1.3895	0.90
卑南溪	0.5792	2.0457	0.95	17.238	1.2303	0.90	13.264	1.8041	0.88
秀姑巒溪	6.1083	1.4474	0.66	0.7551	2.0511	0.71	5.2466	1.3854	0.35
花蓮溪	—	—	—	1.2851	1.8177	0.71	1.3550	1.7298	0.37

表 3-16 2008 年台灣主要河川月平均流量統計表(CMS)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均流量
蘭陽溪	19.38	38.31	26.17	24.84	20.02	31.59	127.33	48.61	304.56	135.10	74.23	23.32	72.79
淡水河-五堵	37.74	57.47	6.57	14.77	14.78	12.21	10.44	1.44	64.07	34.39	35.39	15.04	25.36
淡水河-秀朗	19.27	56.18	11.63	14.74	26.84	37.37	—	—	358.03	73.56	22.02	0.99	62.06
淡水河-橫溪	1.75	6.95	2.26	4.40	4.62	8.12	6.43	2.47	16.41	2.46	3.18	1.86	5.08
頭前溪	—	7.35	5.96	19.87	18.00	27.14	33.01	12.56	128.50	21.73	5.18	2.52	25.62
後龍溪	3.20	5.50	3.38	5.55	11.74	18.60	67.55	15.66	212.83	20.73	3.27	1.47	30.79
大安溪	0.37	8.42	12.99	14.17	15.71	16.94	17.17	—	—	—	—	183.37	33.64
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
濁水溪	17.17	23.36	7.71	15.88	31.54	304.74	635.10	163.10	1,022.87	276.33	68.63	53.97	218.37
北港溪	8.94	7.25	6.29	6.46	7.51	17.42	46.52	20.21	36.70	16.36	16.69	15.04	17.12
朴子溪	3.32	3.21	3.60	5.18	7.80	18.86	91.00	25.60	76.49	17.22	5.25	3.58	21.76
八掌溪-義竹	7.73	13.07	9.88	9.22	12.44	36.60	150.00	45.83	135.14	30.97	6.57	3.86	38.44
急水溪	3.24	4.43	3.60	3.50	4.12	19.31	73.31	22.94	58.00	7.82	1.58	1.31	16.93
曾文溪	0.04	0.03	0.03	0.03	0.10	35.79	433.92	65.52	392.03	21.31	2.92	1.40	79.43
鹽水溪	1.92	2.53	2.07	1.54	1.56	31.26	31.08	6.43	23.20	4.29	2.97	1.91	9.23
二仁溪	2.62	1.91	1.00	2.49	2.18	40.93	51.69	4.59	26.43	7.10	1.93	0.98	11.99
高屏溪	21.95	26.78	24.15	26.54	43.34	913.28	958.95	684.09	1,259.14	340.50	68.32	30.01	366.42
東港溪	2.66	2.07	1.28	1.36	2.15	40.64	64.18	28.92	37.40	19.00	7.70	4.28	17.64
林邊溪	3.12	2.28	1.57	1.13	2.96	35.37	84.08	66.38	83.36	33.79	9.75	5.25	27.42
卑南溪	20.33	14.27	8.79	18.30	2.63	44.23	60.19	86.82	276.91	114.73	30.97	20.58	58.23
秀姑巒溪	26.25	46.22	47.43	48.25	33.49	75.92	177.83	155.01	290.97	100.99	90.17	51.83	95.36
花蓮溪	54.56	90.29	65.91	70.35	48.05	71.59	294.02	92.85	409.67	190.93	124.33	50.20	130.23

表 3-17 2009 年台灣主要河川月平均流量統計表(CMS)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均流量
蘭陽溪	19.16	23.49	26.14	20.08	16.67	23.59	22.28	110.53	99.03	188.39	25.02	17.74	49.34
淡水河-五堵	40.50	19.67	26.75	16.47	4.12	19.48	4.01	18.00	17.98	65.05	47.88	21.47	25.12
淡水河-秀朗	14.67	7.12	12.55	8.26	5.74	15.91	6.69	52.49	9.52	106.12	—	7.80	22.44
淡水河-橫溪	2.98	1.46	3.70	2.93	0.88	5.85	1.20	6.43	0.50	5.96	2.61	1.79	3.02
頭前溪	1.23	0.95	5.23	11.84	3.69	16.54	5.22	75.62	3.30	2.14	1.33	1.20	10.69
後龍溪	3.89	1.85	3.70	39.40	12.48	27.32	7.11	96.91	3.64	2.25	2.80	2.65	17.00
大安溪	16.59	21.64	58.35	58.74	13.57	20.59	7.60	116.99	16.44	12.36	10.08	9.28	30.19
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
濁水溪	12.31	8.33	12.10	26.33	11.44	51.61	23.97	1,018.03	42.67	38.36	12.98	13.94	106.01
北港溪	13.51	14.08	15.56	17.75	18.95	24.74	27.83	96.71	35.97	30.12	22.62	18.88	28.06
朴子溪	2.28	3.21	3.75	5.13	5.09	13.42	12.98	105.51	20.36	12.23	6.37	4.79	16.26
八掌溪-義竹	3.89	5.15	5.77	5.49	5.80	21.84	8.87	173.32	21.52	—	—	—	27.96
急水溪	1.57	2.92	3.03	2.44	3.18	13.07	5.71	66.19	8.32	6.57	2.41	1.31	9.73
曾文溪	5.09	3.13	2.59	1.34	0.18	15.06	3.18	524.88	11.76	28.14	27.50	28.33	54.27
鹽水溪	1.83	2.19	1.98	2.23	0.81	4.34	4.72	50.64	10.69	7.27	6.30	4.59	8.13
二仁溪	0.21	—	—	0.32	1.48	8.05	7.28	47.92	4.39	4.12	0.89	1.42	7.61
高屏溪	22.84	17.29	18.59	50.73	26.54	298.08	125.25	1,327.44	96.64	99.29	35.42	31.99	179.18
東港溪	2.50	1.65	1.30	1.12	0.96	7.74	11.53	66.80	16.06	14.17	3.86	1.99	10.81
林邊溪	3.21	2.16	0.33	0.44	1.15	57.51	14.56	188.25	30.78	82.77	27.83	10.95	35.00
卑南溪	—	—	30.11	17.88	1.46	72.71	181.54	475.06	71.87	292.77	28.77	17.94	119.01
秀姑巒溪	37.03	34.20	24.92	19.96	17.84	90.98	227.98	233.03	40.75	521.06	103.65	67.99	118.28
花蓮溪	44.36	40.47	56.78	54.04	39.47	75.70	146.85	263.58	98.98	461.46	94.35	59.77	119.65

表 3-18 2010 年台灣主要河川月平均流量統計表(CMS)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均流量
蘭陽溪	44.34	45.61	26.14	18.64	12.89	32.76	38.46	34.25	52.08	353.02	78.87	35.79	64.40
淡水河-五堵	29.38	32.71	6.77	16.63	6.31	29.72	2.00	5.86	23.84	64.04	26.78	16.21	21.69
淡水河-秀朗	16.21	31.35	7.49	2.59	2.56	—	11.10	16.58	22.44	89.40	42.35	19.93	23.82
淡水河-橫溪	2.35	7.60	—	1.54	2.02	10.22	2.21	2.30	3.53	9.68	2.50	1.53	4.13
頭前溪	3.62	16.08	4.34	6.60	10.49	32.95	17.49	15.28	26.11	7.90	1.49	1.18	11.96
後龍溪	4.16	11.26	8.52	11.85	37.86	131.08	45.96	24.19	31.24	3.88	2.89	4.12	26.42
大安溪	—	6.04	3.30	3.83	7.26	86.83	49.35	17.76	23.47	4.21	1.94	1.49	18.68
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	45.79	80.86	56.38	80.78	98.42	334.66	241.18	202.62	149.54	65.95	59.73	56.25	122.68
濁水溪	32.03	14.00	13.15	16.19	47.49	156.48	136.55	72.05	207.72	81.72	7.28	9.76	66.20
北港溪	16.15	18.26	18.52	19.77	22.37	30.45	51.04	36.46	36.14	29.56	26.94	22.00	27.31
朴子溪	3.57	4.87	4.78	5.28	7.76	14.25	38.55	29.32	30.49	9.56	6.59	4.71	13.31
八掌溪-義竹	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
急水溪	1.74	1.60	1.56	1.59	2.61	9.49	29.07	28.26	31.72	2.18	1.24	2.21	9.44
曾文溪	2.06	0.16	0.16	0.20	10.97	34.57	57.83	82.35	162.13	15.65	3.32	0.59	30.83
鹽水溪	—	0.42	0.69	0.41	1.16	5.78	17.87	7.46	24.12	2.87	2.71	1.08	5.87
二仁溪	1.60	2.42	1.03	0.09	2.51	8.28	19.43	7.62	36.61	9.31	1.52	1.12	7.63
高屏溪	56.69	56.10	57.16	44.31	97.42	347.54	274.53	379.30	476.55	171.42	74.67	34.92	172.55
東港溪	1.33	0.95	0.76	0.70	3.81	15.47	33.62	38.68	84.48	40.15	26.60	23.26	22.48
林邊溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
卑南溪	15.16	18.69	6.27	4.98	34.10	34.53	15.70	19.20	431.83	152.78	43.58	26.47	66.94
秀姑巒溪	45.34	40.08	29.26	25.01	28.86	31.13	26.63	28.37	178.62	186.20	100.75	58.41	64.89
花蓮溪	56.84	105.69	43.11	34.26	37.56	50.89	64.49	35.28	284.19	260.94	143.85	80.34	99.79

表 3-19 台灣主要河川之月平均流量統計表(2008~2010)(CMS)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均流量
蘭陽溪	27.63	35.8	26.15	21.19	16.53	29.31	62.69	64.46	151.89	225.5	59.37	25.62	62.18
淡水河	54.95	73.51	26.9	27.45	22.62	55.17	17.66	46.7	172.11	150.21	71.63	28.87	62.32
頭前溪	2.43	8.13	5.18	12.77	10.73	25.54	18.57	34.49	52.64	10.59	2.67	1.63	15.45
後龍溪	3.75	6.2	5.2	18.93	20.69	59	40.21	45.59	82.57	8.95	2.99	2.75	24.74
大安溪	8.48	12.03	24.88	25.58	12.18	41.45	24.71	67.38	19.96	8.29	6.01	64.71	26.31
烏溪	45.79	80.86	56.38	80.78	98.42	334.66	241.18	202.62	149.54	65.95	59.73	56.25	122.68
濁水溪	20.5	15.23	10.99	19.47	30.16	170.94	265.21	417.73	424.42	132.14	29.63	25.89	130.19
北港溪	12.87	13.2	13.46	14.66	16.28	24.2	41.8	51.13	36.27	25.35	22.08	18.64	24.16
朴子溪	3.06	3.76	4.04	5.2	6.88	15.51	47.51	53.48	42.45	13	6.07	4.36	17.11
八掌溪	5.81	9.11	7.83	7.36	9.12	29.22	79.44	109.58	78.33	30.97	6.57	3.86	31.43
急水溪	2.18	2.98	2.73	2.51	3.3	13.96	36.03	39.13	32.68	5.52	1.74	1.61	12.03
曾文溪	2.4	1.11	0.93	0.52	3.75	28.47	164.98	224.25	188.64	21.7	11.25	10.11	54.84
鹽水溪	1.88	1.71	1.58	1.39	1.18	13.79	17.89	21.51	19.34	4.81	3.99	2.53	7.63
二仁溪	1.48	2.17	1.02	0.97	2.06	19.09	26.13	20.04	22.48	6.84	1.45	1.17	8.74
高屏溪	33.83	33.39	33.3	40.53	55.77	519.63	452.91	796.94	610.78	203.74	59.47	32.31	239.38
東港溪	2.16	1.56	1.11	1.06	2.31	21.28	36.44	44.8	45.98	24.44	12.72	9.84	16.98
林邊溪	3.17	2.22	0.95	0.79	2.06	46.44	49.32	127.32	57.07	58.28	18.79	8.1	31.21
卑南溪	17.75	16.48	15.06	13.72	12.73	50.49	85.81	193.69	260.2	186.76	34.44	21.66	75.73
秀姑巒溪	36.21	40.17	33.87	31.07	26.73	66.01	144.15	138.8	170.11	269.42	98.19	59.41	92.85
花蓮溪	51.92	78.82	55.27	52.88	41.69	66.06	168.45	130.57	264.28	304.44	120.84	63.44	116.56

表 3-20 2008 年台灣主要河川月平均河川懸移質輸沙量(公噸/日)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
蘭陽溪	235.91	1146.01	473.49	419.54	254.37	732.67	18579.41	1990.89	140438.56	21315.6	5314.69	362.38
淡水河-五堵	191.83	323.96	21.72	59.6	59.65	47.02	38.68	3.28	370.96	170.85	177.07	60.97
淡水河-秀朗	75.16	441.77	32.58	48.23	130.07	224.97	—	—	9475.9	690.19	93.73	0.55
淡水河-橫溪	3.45	27.49	5.06	13.81	14.86	34.74	24.45	5.79	100.22	5.75	8.47	3.78
頭前溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
後龍溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
大安溪	7.9	221.39	351.56	385.72	430.59	466.64	473.4	—	—	—	—	5919.52
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
濁水溪	565.08	1001.77	127.48	488.68	1750.92	118930.76	466023.62	37188.1	1130696.95	99140.25	7434.14	4754.88
北港溪	114.11	69.04	49.11	52.36	75.13	564.91	5954.69	806.64	3372.48	485.96	509.8	397.19
朴子溪	20.94	19.77	24.05	44.82	90.29	408.94	6040.27	689.75	4487.37	349.99	45.86	23.82
八掌溪-義竹	40.91	119.67	67.56	58.66	108.18	981.55	17532.45	1554.2	14166.17	697.7	29.35	9.9
急水溪	18.99	34.64	23.25	22.03	30.13	586.2	7607.71	816.19	4850.46	103.22	4.78	3.33
曾文溪	0.22	0.15	0.15	0.15	0.74	1789.84	48874.39	3989.15	42721.25	900.25	64.61	24.39
鹽水溪	28.33	42.9	31.72	20.33	20.73	1883.63	1867.34	174.53	1202.78	94.95	54.61	28.11
二仁溪	69.02	40.42	13.52	63.33	50.56	7244.41	10755.07	178.35	3454.83	373.25	41.14	13.06
高屏溪	139.26	202.23	166.59	198.84	498.84	151562.83	166088.02	88152.55	276801.74	23821.31	1171.32	250.38
東港溪	21.28	14.73	7.28	7.96	15.58	1157.31	2261.05	702.88	1024.62	379.73	101.05	42.73
林邊溪	35.49	24.03	15.12	10.05	33.24	724.5	2124.31	1583.76	2101.73	684.52	146.15	67.74
卑南溪	274.72	133.18	49.42	221.53	4.19	1347.32	2530.47	5353.81	57427.61	9469.12	649.9	281.67
秀姑巒溪	691.78	1568.9	1628.69	1669.61	984.2	3217.72	11030.05	9041.64	22495.43	4863.1	4127.41	1851.85
花蓮溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3-21 2009 年台灣主要河川月平均河川懸移質輸沙量(公噸/日)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
蘭陽溪	375.98	515.48	608.29	404.30	303.06	518.88	474.94	5674.54	4786.65	12959.79	568.40	333.71
淡水河-五堵	138.32	61.72	87.02	50.62	10.76	61.06	10.44	55.90	55.83	234.84	166.76	68.07
淡水河-秀朗	57.13	17.29	44.14	22.10	12.11	65.33	15.60	470.07	27.95	1505.15	0.00	20.11
淡水河-橫溪	6.61	2.68	8.69	6.47	1.41	15.51	2.09	17.48	0.69	15.88	5.59	3.47
頭前溪	4.55	3.60	17.08	36.01	12.42	48.87	17.05	195.80	11.21	7.55	4.89	4.45
後龍溪	32.61	8.96	29.89	1820.64	247.07	963.75	92.97	8695.32	29.05	12.60	18.42	16.74
大安溪	314.64	412.93	1139.11	1146.90	256.17	392.44	141.57	2320.72	311.73	232.83	188.99	173.66
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
濁水溪	465.57	228.38	451.19	1862.77	407.32	6356.16	1569.58	1461958.97	4493.00	3700.00	512.82	584.08
北港溪	254.44	271.21	316.50	387.90	429.15	647.88	777.07	5323.36	1155.06	878.04	564.14	426.70
朴子溪	10.98	20.67	27.55	49.16	48.45	290.78	273.41	13148.90	628.32	244.92	73.35	43.31
八掌溪-義竹	24.18	43.67	55.48	49.96	56.09	915.40	137.22	71820.72	887.38	—	—	—
急水溪	5.13	13.48	14.28	10.19	15.39	139.11	38.30	1740.33	68.84	47.65	9.99	3.87
曾文溪	55.79	25.20	18.49	6.30	0.24	328.45	25.86	108880.07	219.24	912.40	878.73	922.49
鹽水溪	7.46	9.76	8.39	10.03	2.20	27.22	30.87	1083.19	105.17	59.00	47.60	29.61
二仁溪	0.79	—	—	1.63	23.40	444.32	373.08	9869.97	154.87	138.69	9.67	21.77
高屏溪	371.77	214.41	247.45	1800.86	500.26	59704.27	10752.72	1144233.57	6439.55	6793.35	885.16	723.71
東港溪	40.40	22.16	15.70	12.66	10.13	206.87	368.00	4660.73	594.06	495.73	75.69	29.05
林邊溪	77.77	42.22	2.33	3.63	15.97	6659.07	800.62	41455.52	2539.64	11675.23	2174.19	515.93
卑南溪	—	—	1136.96	598.79	27.46	3363.61	10368.13	33860.28	3315.87	18666.14	1075.03	601.26
秀姑巒溪	1245.27	1057.90	552.67	350.56	278.45	7870.43	51794.84	54175.49	1515.43	282236.32	10283.45	4330.44
花蓮溪	1266.70	1072.07	1983.98	1813.40	1024.40	3346.34	11159.99	32316.88	5448.08	89440.33	4993.73	2177.96

表 3-22 2010 年台灣主要河川月平均河川懸移質輸沙量(公噸/日)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
蘭陽溪	377.53	398.58	136.78	71.43	35.16	211.05	287.24	229.88	514.29	20325.96	1141.57	250.15
淡水河-五堵	156.06	176.22	29.63	81.94	27.36	158.1	7.45	25.16	123.19	376.98	140.52	79.61
淡水河-秀朗	75.56	186.68	26.21	6.11	6.01	—	44.95	77.93	118.02	785.53	281.97	100.3
淡水河-橫溪	5.22	18.27	—	3.32	4.44	25.06	4.89	5.1	8.06	23.65	5.57	3.3
頭前溪	10.61	41.91	12.54	18.45	28.28	81.16	45.29	39.99	65.5	21.78	4.69	3.78
後龍溪	14.31	48.39	34.4	51.51	213.36	975	270.47	123.33	168.65	13.14	9.16	14.14
大安溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
烏溪-大肚橋	818.39	1461.88	1011.9	1460.4	1786.42	6226.46	4457.64	3731.8	2737.34	1187.42	1073.28	1009.52
濁水溪	2960.36	684.55	612.74	885.28	5942.57	49002.49	38506.47	12424.36	80886.58	15525.47	215.24	361.57
北港溪	316.46	400.84	411.9	467.09	592.5	1072.73	2899.42	1517.33	1491.8	1013.19	847.42	573.78
朴子溪	25.93	40.84	39.74	45.96	80.73	196.41	842.26	564.37	597.62	109.54	63.56	38.89
八掌溪-義竹	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
急水溪	9.94	8.66	8.31	8.58	19.31	159.91	1000.09	954.86	1153.68	14.38	5.71	14.71
曾文溪	16.3	0.94	0.94	1.21	105.48	380.05	675.11	1001.84	2134.67	156.85	27.77	4.03
鹽水溪	—	0.94	1.86	0.91	3.8	34.44	162.04	48.88	244.53	13.18	12.18	3.45
二仁溪	11.93	19.68	7	0.37	20.57	87.18	244.7	78.84	526.67	100.46	11.21	7.75
高屏溪	7613.46	7500.3	7703.96	5350.89	16524.95	102030.07	72801.71	115634.16	160311.5	37102.25	11293.33	3805.31
東港溪	54.91	33.04	23.59	20.84	268.89	2229.48	7195.61	8891.58	28913.67	9406.58	5052.74	4126.35
林邊溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
卑南溪	1789.67	2610.87	363.94	240.19	7725.32	7901.96	1906.33	2740.81	753429.04	115597.62	12025.76	4891.76
秀姑巒溪	1034.59	872.12	563.97	453.76	553.32	614.51	494.98	540.34	6913.56	7323.32	3127.33	1469.5
花蓮溪	1469.4	4296.48	910.82	612.09	717.63	1213.59	1828.1	643.95	23778.9	20514.99	7323.05	2673.56

表 3-23 蘭陽溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	7313.21	33234.29	14678.19	12586.20	7885.47	21980.10	575961.70	61717.59	4213157.00	660783.60	159440.70	11233.78
推移質總量	公噸	s*0.25	1828.30	8308.57	3669.55	3146.55	1971.37	5495.03	143990.43	15429.40	1053289.25	165195.90	39860.18	2808.45
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	9141.51	41542.86	18347.74	15732.75	9856.84	27475.13	719952.13	77146.99	5266446.25	825979.50	199300.88	14042.23
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	11655.38	14433.44	18856.99	12129.00	9394.86	15566.40	14723.14	175910.70	143599.50	401753.50	17052.00	10345.01
推移質總量	公噸	s*0.25	2913.85	3608.36	4714.25	3032.25	2348.72	3891.60	3680.79	43977.68	35899.88	100438.38	4263.00	2586.25
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	14569.23	18041.80	23571.24	15161.25	11743.58	19458.00	18403.93	219888.38	179499.38	502191.88	21315.00	12931.26
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	11703.43	11160.24	4240.18	2142.90	1089.96	6331.50	8904.44	7126.28	15428.70	630104.76	34247.10	7754.65
推移質總量	公噸	s*0.25	2925.86	2790.06	1060.05	535.73	272.49	1582.88	2226.11	1781.57	3857.18	157526.19	8561.78	1938.66
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	14629.29	13950.30	5300.23	2678.63	1362.45	7914.38	11130.55	8907.85	19285.88	787630.95	42808.88	9693.31
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		12780.01	24511.65	15739.73	11190.88	7654.29	18282.50	249828.87	101981.07	1821743.83	705267.44	87808.25	12222.27

表 3-24 淡水河-五堵之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	5946.73	9394.84	673.32	1788	1849.15	1410.6	1199.08	101.68	11128.8	5296.35	5312.1	1890.07
推移質總量	公噸	s*0.25	1486.68	2348.71	168.33	447.00	462.29	352.65	299.77	25.42	2782.20	1324.09	1328.03	472.52
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	7433.41	11743.55	841.65	2235.00	2311.44	1763.25	1498.85	127.10	13911.00	6620.44	6640.13	2362.59
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	4287.92	1728.16	2697.62	1518.6	333.56	1831.8	323.64	1732.9	1674.9	7280.04	5002.8	2110.17
推移質總量	公噸	s*0.25	1071.98	432.04	674.41	379.65	83.39	457.95	80.91	433.23	418.73	1820.01	1250.70	527.54
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	5359.90	2160.20	3372.03	1898.25	416.95	2289.75	404.55	2166.13	2093.63	9100.05	6253.50	2637.71
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	4837.86	4934.16	918.53	2458.2	848.16	4743	230.95	779.96	3695.7	11686.38	4215.6	2467.91
推移質總量	公噸	s*0.25	1209.47	1233.54	229.63	614.55	212.04	1185.75	57.74	194.99	923.93	2921.60	1053.90	616.98
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	6047.33	6167.70	1148.16	3072.75	1060.20	5928.75	288.69	974.95	4619.63	14607.98	5269.50	3084.89
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		6280.21	6690.48	1787.28	2402.00	1262.86	3327.25	730.70	1089.39	6874.75	10109.49	6054.38	2695.06

表 3-25 淡水河-秀朗之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	2329.96	12811.33	1009.98	1446.9	4032.17	6749.1	—	—	284277	21395.89	2811.9	17.05
推移質總量	公噸	s*0.25	582.49	3202.83	252.50	361.73	1008.04	1687.28	—	—	71069.25	5348.97	702.98	4.26
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	2912.45	16014.16	1262.48	1808.63	5040.21	8436.38	—	—	355346.25	26744.86	3514.88	21.31
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1771.03	484.12	1368.34	663	375.41	1959.9	483.6	14572.17	838.5	46659.65	—	623.41
推移質總量	公噸	s*0.25	442.76	121.03	342.09	165.75	93.85	489.98	120.90	3643.04	209.63	11664.91	—	155.85
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	2213.79	605.15	1710.43	828.75	469.26	2449.88	604.50	18215.21	1048.13	58324.56	—	779.26
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	2342.36	5227.04	812.51	183.3	186.31	—	1393.45	2415.83	3540.6	24351.43	8459.1	3109.3
推移質總量	公噸	s*0.25	585.59	1306.76	203.13	45.83	46.58	—	348.36	603.96	885.15	6087.86	2114.78	777.33
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	2927.95	6533.80	1015.64	229.13	232.89	—	1741.81	3019.79	4425.75	30439.29	10573.88	3886.63
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		2684.73	7717.70	1329.51	955.50	1914.12	5443.13	1173.16	10617.50	120273.38	38502.90	7044.38	1562.40

表 3-26 淡水河-橫溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	106.95	797.21	156.86	414.3	460.66	1042.2	757.95	179.49	3006.6	178.25	254.1	117.18
推移質總量	公噸	s*0.25	26.74	199.30	39.22	103.58	115.17	260.55	189.49	44.87	751.65	44.56	63.53	29.30
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	133.69	996.51	196.08	517.88	575.83	1302.75	947.44	224.36	3758.25	222.81	317.63	146.48
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	204.91	75.04	269.39	194.1	43.71	465.3	64.79	541.88	20.7	492.28	167.7	107.57
推移質總量	公噸	s*0.25	51.23	18.76	67.35	48.53	10.93	116.33	16.20	135.47	5.18	123.07	41.93	26.89
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	256.14	93.80	336.74	242.63	54.64	581.63	80.99	677.35	25.88	615.35	209.63	134.46
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	161.82	511.56	—	99.6	137.64	751.8	151.59	158.1	241.8	733.15	167.1	102.3
推移質總量	公噸	s*0.25	40.46	127.89	—	24.90	34.41	187.95	37.90	39.53	60.45	183.29	41.78	25.58
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	202.28	639.45	—	124.50	172.05	939.75	189.49	197.63	302.25	916.44	208.88	127.88
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		197.37	576.59	266.41	295.00	267.50	941.38	405.97	366.45	1362.13	584.87	245.38	136.27

表 3-27 頭前溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	141.05	100.8	529.48	1080.3	385.02	1466.1	528.55	6069.8	336.3	234.05	146.7	137.95
推移質總量	公噸	s*0.25	35.26	25.20	132.37	270.08	96.26	366.53	132.14	1517.45	84.08	58.51	36.68	34.49
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	176.31	126.00	661.85	1350.38	481.28	1832.63	660.69	7587.25	420.38	292.56	183.38	172.44
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	328.91	1173.48	388.74	553.5	876.68	2434.8	1403.99	1239.69	1965	675.18	140.7	117.18
推移質總量	公噸	s*0.25	82.23	293.37	97.19	138.38	219.17	608.70	351.00	309.92	491.25	168.80	35.18	29.30
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	411.14	1466.85	485.93	691.88	1095.85	3043.50	1754.99	1549.61	2456.25	843.98	175.88	146.48
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		293.73	796.43	573.89	1021.13	788.56	2438.06	1207.84	4568.43	1438.31	568.27	179.63	159.46

表 3-28 後龍溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1010.91	250.88	926.59	54619.2	7659.17	28912.5	2882.07	269554.9	871.5	390.6	552.6	518.94
推移質總量	公噸	s*0.25	252.73	62.72	231.65	13654.80	1914.79	7228.13	720.52	67388.73	217.88	97.65	138.15	129.74
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	1263.64	313.60	1158.24	68274.00	9573.96	36140.63	3602.59	336943.63	1089.38	488.25	690.75	648.68
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	443.61	1354.92	1066.4	1545.3	6614.16	29250	8384.57	3823.23	5059.5	407.34	274.8	438.34
推移質總量	公噸	s*0.25	110.90	338.73	266.60	386.33	1653.54	7312.50	2096.14	955.81	1264.88	101.84	68.70	109.59
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	554.51	1693.65	1333.00	1931.63	8267.70	36562.50	10480.71	4779.04	6324.38	509.18	343.50	547.93
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		909.08	1003.63	1245.62	35102.81	8920.83	36351.56	7041.65	170861.33	3706.88	498.71	517.13	598.30

表 3-29 大安溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	244.9	6420.31	10898.36	11571.6	13348.29	13999.2	14675.4	—	—	—	—	183505.12
推移質總量	公噸	s*0.25	61.23	1605.08	2724.59	2892.90	3337.07	3499.80	3668.85	—	—	—	—	45876.28
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	306.13	8025.39	13622.95	14464.50	16685.36	17499.00	18344.25	—	—	—	—	229381.40
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	9753.84	11562.04	35312.41	34407	7941.27	11773.2	4388.67	71942.32	9351.9	7217.73	5669.7	5383.46
推移質總量	公噸	s*0.25	2438.46	2890.51	8828.10	8601.75	1985.32	2943.30	1097.17	17985.58	2337.98	1804.43	1417.43	1345.87
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	12192.30	14452.55	44140.51	43008.75	9926.59	14716.50	5485.84	89927.90	11689.88	9022.16	7087.13	6729.33
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		6249.21	11238.97	28881.73	28736.63	13305.98	16107.75	11915.04	89927.90	11689.88	9022.16	7087.13	118055.36

表 3-30 烏溪-大肚橋之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	25370.09	40932.64	31368.9	43812	55379.02	186793.8	138186.84	115685.8	82120.2	36810.02	32198.4	31295.12
推移質總量	公噸	s*0.25	6342.52	10233.16	7842.23	10953.00	13844.76	46698.45	34546.71	28921.45	20530.05	9202.51	8049.60	7823.78
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	31712.61	51165.80	39211.13	54765.00	69223.78	233492.25	172733.55	144607.25	102650.25	46012.53	40248.00	39118.90
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		31712.61	51165.80	39211.13	54765.00	69223.78	233492.25	172733.55	144607.25	102650.25	46012.53	40248.00	39118.90

表 3-31 濁水溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	17517.48	29051.33	3951.88	14660.4	54278.52	3567923	14446732	1152831	33920909	3073348	223024.2	147401.3
推移質總量	公噸	s*0.25	4379.37	7262.83	987.97	3665.10	13569.63	891980.75	3611683.00	288207.75	8480227.25	768337.00	55756.05	36850.33
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	21896.85	36314.16	4939.85	18325.50	67848.15	4459903.75	18058415.00	1441038.75	42401136.25	3841685.00	278780.25	184251.63
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	14432.67	6394.64	13986.89	55883.1	12626.92	190684.8	48656.98	45320728	134790	114700	15384.6	18106.48
推移質總量	公噸	s*0.25	3608.17	1598.66	3496.72	13970.78	3156.73	47671.20	12164.25	11330182.00	33697.50	28675.00	3846.15	4526.62
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	18040.84	7993.30	17483.61	69853.88	15783.65	238356.00	60821.23	56650910.00	168487.50	143375.00	19230.75	22633.10
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	91771.16	19167.4	18994.94	26558.4	184219.67	1470074.7	1193700.57	385155.16	2426597.4	481289.57	6457.2	11208.67
推移質總量	公噸	s*0.25	22942.79	4791.85	4748.74	6639.60	46054.92	367518.68	298425.14	96288.79	606649.35	120322.39	1614.30	2802.17
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	114713.95	23959.25	23743.68	33198.00	230274.59	1837593.38	1492125.71	481443.95	3033246.75	601611.96	8071.50	14010.84
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		51550.55	22755.57	15389.05	40459.13	104635.46	2178617.71	6537120.65	19524464.23	15200956.83	1528890.65	102027.50	73631.85

表 3-32 北港溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	3537.41	2002.16	1522.41	1570.8	2329.03	16947.3	184595.4	25005.84	101174.4	15064.76	15294	12312.89
推移質總量	公噸	s*0.25	884.35	500.54	380.60	392.70	582.26	4236.83	46148.85	6251.46	25293.60	3766.19	3823.50	3078.22
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	4421.76	2502.70	1903.01	1963.50	2911.29	21184.13	230744.25	31257.30	126468.00	18830.95	19117.50	15391.11
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	7887.64	7593.88	9811.5	11637	13303.65	19436.4	24089.17	165024.2	34651.8	27219.24	16924.2	13227.7
推移質總量	公噸	s*0.25	1971.91	1898.47	2452.88	2909.25	3325.91	4859.10	6022.29	41256.05	8662.95	6804.81	4231.05	3306.93
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	9859.55	9492.35	12264.38	14546.25	16629.56	24295.50	30111.46	206280.25	43314.75	34024.05	21155.25	16534.63
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	9810.26	11223.52	12768.9	14012.7	18367.5	32181.9	89882.02	47037.23	44754	31408.89	25422.6	17787.18
推移質總量	公噸	s*0.25	2452.57	2805.88	3192.23	3503.18	4591.88	8045.48	22470.51	11759.31	11188.50	7852.22	6355.65	4446.80
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	12262.83	14029.40	15961.13	17515.88	22959.38	40227.38	112352.53	58796.54	55942.50	39261.11	31778.25	22233.98
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		8848.05	8674.82	10042.84	11341.88	14166.74	28569.00	124402.75	98778.03	75241.75	30705.37	24017.00	18053.24

表 3-33 朴子溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	649.14	573.33	745.55	1344.6	2798.99	12268.2	187248.4	21382.25	134621.1	10849.69	1375.8	738.42
推移質總量	公噸	s*0.25	162.29	143.33	186.39	336.15	699.75	3067.05	46812.10	5345.56	33655.28	2712.42	343.95	184.61
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	811.43	716.66	931.94	1680.75	3498.74	15335.25	234060.50	26727.81	168276.38	13562.11	1719.75	923.03
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	340.38	578.76	854.05	1474.8	1501.95	8723.4	8475.71	407615.9	18849.6	7592.52	2200.5	1342.61
推移質總量	公噸	s*0.25	85.10	144.69	213.51	368.70	375.49	2180.85	2118.93	101903.98	4712.40	1898.13	550.13	335.65
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	425.48	723.45	1067.56	1843.50	1877.44	10904.25	10594.64	509519.88	23562.00	9490.65	2750.63	1678.26
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	803.83	1143.52	1231.94	1378.8	2502.63	5892.3	26110.06	17495.47	17928.6	3395.74	1906.8	1205.59
推移質總量	公噸	s*0.25	200.96	285.88	307.99	344.70	625.66	1473.08	6527.52	4373.87	4482.15	848.94	476.70	301.40
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	1004.79	1429.40	1539.93	1723.50	3128.29	7365.38	32637.58	21869.34	22410.75	4244.68	2383.50	1506.99
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		747.23	956.50	1179.81	1749.25	2834.82	11201.63	92430.90	186039.01	71416.38	9099.15	2284.63	1369.43

表 3-34 八掌溪-義竹之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1268.21	3470.43	2094.36	1759.8	3353.58	29446.5	543506	48180.2	424985.1	21628.7	880.5	306.9
推移質總量	公噸	s*0.25	317.0525	867.6075	523.59	439.95	838.395	7361.625	135876.5	12045.05	106246.275	5407.175	220.125	76.725
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	1585.2625	4338.0375	2617.95	2199.75	4191.975	36808.125	679382.5	60225.25	531231.375	27035.875	1100.625	383.625
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	749.58	1222.76	1719.88	1498.8	1738.79	27462	4253.82	2226442	26621.4	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	187.395	305.69	429.97	374.7	434.6975	6865.5	1063.455	556610.5	6655.35	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	936.975	1528.45	2149.85	1873.5	2173.4875	34327.5	5317.275	2783052.5	33276.75	—	—	—
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		1261.11875	2933.24375	2383.9	2036.625	3182.73125	35567.8125	342349.8875	1421638.875	282254.0625	27035.875	1100.625	383.625

表 3-35 急水溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	588.69	1004.56	720.75	660.9	934.03	17586	235839	25301.89	145513.8	3199.82	143.4	103.23
推移質總量	公噸	s*0.25	147.17	251.14	180.19	165.23	233.51	4396.50	58959.75	6325.47	36378.45	799.96	35.85	25.81
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	735.86	1255.70	900.94	826.13	1167.54	21982.50	294798.75	31627.36	181892.25	3999.78	179.25	129.04
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	159.03	377.44	442.68	305.7	477.09	4173.3	1187.3	53950.23	2065.2	1477.15	299.7	119.97
推移質總量	公噸	s*0.25	39.76	94.36	110.67	76.43	119.27	1043.33	296.83	13487.56	516.30	369.29	74.93	29.99
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	198.79	471.80	553.35	382.13	596.36	5216.63	1484.13	67437.79	2581.50	1846.44	374.63	149.96
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	308.14	242.48	257.61	257.4	598.61	4797.3	31002.79	29600.66	34610.4	445.78	171.3	456.01
推移質總量	公噸	s*0.25	77.04	60.62	64.40	64.35	149.65	1199.33	7750.70	7400.17	8652.60	111.45	42.83	114.00
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	385.18	303.10	322.01	321.75	748.26	5996.63	38753.49	37000.83	43263.00	557.23	214.13	570.01
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		439.94	676.87	592.10	510.00	837.39	11065.25	111678.79	45355.33	75912.25	2134.48	256.00	283.00

表 3-36 曾文溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	6.82	4.35	4.65	4.5	22.94	53695.2	1515106	123663.7	1281638	27907.75	1938.3	756.09
推移質總量	公噸	s*0.25	1.71	1.09	1.16	1.13	5.74	13423.80	378776.50	30915.93	320409.50	6976.94	484.58	189.02
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	8.53	5.44	5.81	5.63	28.68	67119.00	1893882.50	154579.63	1602047.50	34884.69	2422.88	945.11
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1729.49	705.6	573.19	189	7.44	9853.5	801.66	3375282	6577.2	28284.4	26361.9	28597.19
推移質總量	公噸	s*0.25	432.37	176.40	143.30	47.25	1.86	2463.38	200.42	843820.50	1644.30	7071.10	6590.48	7149.30
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	2161.86	882.00	716.49	236.25	9.30	12316.88	1002.08	4219102.50	8221.50	35355.50	32952.38	35746.49
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	505.3	26.32	29.14	36.3	3269.88	11401.5	20928.41	31057.04	64040.1	4862.35	833.1	124.93
推移質總量	公噸	s*0.25	126.33	6.58	7.29	9.08	817.47	2850.38	5232.10	7764.26	16010.03	1215.59	208.28	31.23
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	631.63	32.90	36.43	45.38	4087.35	14251.88	26160.51	38821.30	80050.13	6077.94	1041.38	156.16
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		934.00	306.78	252.91	95.75	1375.11	31229.25	640348.36	1470834.48	563439.71	25439.38	12138.88	12282.59

表 3-37 鹽水溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	878.23	1244.1	983.32	609.9	642.63	56508.9	57887.54	5410.43	36083.4	2943.45	1638.3	871.41
推移質總量	公噸	s*0.25	219.56	311.03	245.83	152.48	160.66	14127.23	14471.89	1352.61	9020.85	735.86	409.58	217.85
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	1097.79	1555.13	1229.15	762.38	803.29	70636.13	72359.43	6763.04	45104.25	3679.31	2047.88	1089.26
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	231.26	273.28	260.09	300.9	68.2	816.6	956.97	33578.89	3155.1	1829	1428	917.91
推移質總量	公噸	s*0.25	57.82	68.32	65.02	75.23	17.05	204.15	239.24	8394.72	788.78	457.25	357.00	229.48
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	289.08	341.60	325.11	376.13	85.25	1020.75	1196.21	41973.61	3943.88	2286.25	1785.00	1147.39
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	26.32	57.66	27.3	117.8	1033.2	5023.24	1515.28	7335.9	408.58	365.4	106.95
推移質總量	公噸	s*0.25	—	6.58	14.42	6.83	29.45	258.30	1255.81	378.82	1833.98	102.15	91.35	26.74
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	32.90	72.08	34.13	147.25	1291.50	6279.05	1894.10	9169.88	510.73	456.75	133.69
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		693.43	643.21	542.11	390.88	345.26	24316.13	26611.56	16876.92	19406.00	2158.76	1429.88	790.11

表 3-38 二仁溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	2139.62	1172.18	419.12	1899.9	1567.36	217332.3	333407.2	5528.85	103644.9	11570.75	1234.2	404.86
推移質總量	公噸	s*0.25	534.905	293.045	104.78	474.975	391.84	54333.075	83351.8	1382.2125	25911.225	2892.6875	308.55	101.215
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	2674.525	1465.225	523.9	2374.875	1959.2	271665.375	416759	6911.0625	129556.125	14463.4375	1542.75	506.075
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	24.49	—	—	48.9	725.4	13329.6	11565.48	305969.1	4646.1	4299.39	290.1	674.87
推移質總量	公噸	s*0.25	6.1225	—	—	12.225	181.35	3332.4	2891.37	76492.275	1161.525	1074.8475	72.525	168.7175
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	30.6125	—	—	61.125	906.75	16662	14456.85	382461.375	5807.625	5374.2375	362.625	843.5875
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	369.83	551.04	217	11.1	637.67	2615.4	7585.7	2444.04	15800.1	3114.26	336.3	240.25
推移質總量	公噸	s*0.25	92.4575	137.76	54.25	2.775	159.4175	653.85	1896.425	611.01	3950.025	778.565	84.075	60.0625
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	462.2875	688.8	271.25	13.875	797.0875	3269.25	9482.125	3055.05	19750.125	3892.825	420.375	300.3125
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		1055.81	1077.01	397.58	816.63	1221.01	97198.88	146899.33	130809.16	51704.63	7910.17	775.25	549.99

表 3-39 高屏溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	4317.06	5864.67	5164.29	5965.2	15464.04	4546885	5148729	2732729	8304052	738460.6	35139.6	7761.78
推移質總量	公噸	s*0.25	1079.27	1466.17	1291.07	1491.30	3866.01	1136721.25	1287182.25	683182.25	2076013.00	184615.15	8784.90	1940.45
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	5396.33	7330.84	6455.36	7456.50	19330.05	5683606.25	6435911.25	3415911.25	10380065.00	923075.75	43924.50	9702.23
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	11524.87	6003.48	7670.95	54025.8	15508.06	1791128	333334.3	35471241	193186.5	210593.9	26554.8	22435.01
推移質總量	公噸	s*0.25	2881.22	1500.87	1917.74	13506.45	3877.02	447782.00	83333.58	8867810.25	48296.63	52648.48	6638.70	5608.75
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	14406.09	7504.35	9588.69	67532.25	19385.08	2238910.00	416667.88	44339051.25	241483.13	263242.38	33193.50	28043.76
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	236017.26	210008.4	238822.76	160526.7	512273.45	3060902.1	2256853.01	3584658.96	4809345	1150169.75	338799.9	117964.61
推移質總量	公噸	s*0.25	59004.32	52502.10	59705.69	40131.68	128068.36	765225.53	564213.25	896164.74	1202336.25	287542.44	84699.98	29491.15
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	295021.58	262510.50	298528.45	200658.38	640341.81	3826127.63	2821066.26	4480823.70	6011681.25	1437712.19	423499.88	147455.76
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		104941.33	92448.56	104857.50	91882.38	226352.31	3916214.63	3224548.46	17411928.73	5544409.79	874676.77	166872.63	61733.92

表 3-40 東港溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	659.68	427.17	225.68	238.8	482.98	34719.3	70092.55	21789.28	30738.6	11771.63	3031.5	1324.63
推移質總量	公噸	s*0.25	164.92	106.79	56.42	59.70	120.75	8679.83	17523.14	5447.32	7684.65	2942.91	757.88	331.16
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	824.60	533.96	282.10	298.50	603.73	43399.13	87615.69	27236.60	38423.25	14714.54	3789.38	1655.79
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1252.4	620.48	486.7	379.8	314.03	6206.1	11408	144482.6	17821.8	15367.63	2270.7	900.55
推移質總量	公噸	s*0.25	313.10	155.12	121.68	94.95	78.51	1551.53	2852.00	36120.65	4455.45	3841.91	567.68	225.14
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	1565.50	775.60	608.38	474.75	392.54	7757.63	14260.00	180603.25	22277.25	19209.54	2838.38	1125.69
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1702.21	925.12	731.29	625.2	8335.59	66884.4	223063.91	275638.98	867410.1	291603.98	151582.2	127916.85
推移質總量	公噸	s*0.25	425.55	231.28	182.82	156.30	2083.90	16721.10	55765.98	68909.75	216852.53	72901.00	37895.55	31979.21
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	2127.76	1156.40	914.11	781.50	10419.49	83605.50	278829.89	344548.73	1084262.63	364504.98	189477.75	159896.06
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		1505.95	821.99	601.53	518.25	3805.25	44920.75	126901.86	184129.53	381654.38	132809.68	65368.50	54225.85

表 3-41 林邊溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	1100.19	696.87	468.72	301.5	1030.44	21735	65853.61	49096.56	63051.9	21220.12	4384.5	2099.94
推移質總量	公噸	s*0.25	275.05	174.22	117.18	75.38	257.61	5433.75	16463.40	12274.14	15762.98	5305.03	1096.13	524.99
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	1375.24	871.09	585.90	376.88	1288.05	27168.75	82317.01	61370.70	78814.88	26525.15	5480.63	2624.93
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	2410.87	1182.16	72.23	108.9	495.07	199772.1	24819.22	1285121	76189.2	361932.1	65225.7	15993.83
推移質總量	公噸	s*0.25	602.72	295.54	18.06	27.23	123.77	49943.03	6204.81	321280.25	19047.30	90483.03	16306.43	3998.46
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	3013.59	1477.70	90.29	136.13	618.84	249715.13	31024.03	1606401.25	95236.50	452415.13	81532.13	19992.29
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		2194.41	1174.39	338.09	256.50	953.44	138441.94	56670.52	833885.98	87025.69	239470.14	43506.38	11308.61

表 3-42 卑南溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	8516.32	3862.22	1532.02	6645.9	129.89	40419.6	78444.57	165968.1	1722828	293542.7	19497	8731.77
推移質總量	公噸	s*0.25	2129.08	965.56	383.01	1661.48	32.47	10104.90	19611.14	41492.03	430707.00	73385.68	4874.25	2182.94
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	10645.40	4827.78	1915.03	8307.38	162.36	50524.50	98055.71	207460.13	2153535.00	366928.38	24371.25	10914.71
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	35245.76	17963.70	851.26	100908.30	321412.00	1049669.00	99476.10	578650.30	32250.90	18639.06
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	8811.44	4490.93	212.82	25227.08	80353.00	262417.25	24869.03	144662.58	8062.73	4659.77
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	44057.20	22454.63	1064.08	126135.38	401765.00	1312086.25	124345.13	723312.88	40313.63	23298.83
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	55479.77	73104.36	11282.14	7205.70	239484.92	237058.80	59096.23	84965.11	22602871.20	3583526.22	360772.80	151644.56
推移質總量	公噸	s*0.25	13869.94	18276.09	2820.54	1801.43	59871.23	59264.70	14774.06	21241.28	5650717.80	895881.56	90193.20	37911.14
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	69349.71	91380.45	14102.68	9007.13	299356.15	296323.50	73870.29	106206.39	28253589.00	4479407.78	450966.00	189555.70
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		39997.56	48104.11	20024.97	13256.38	100194.20	157661.13	191230.33	541917.59	10177156.38	1856549.68	171883.63	74589.75

表 3-43 秀姑巒溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總量
懸移質總量	公噸	s	21445.18	45498.1	50489.39	50088.3	30510.2	96531.6	341931.6	280290.8	674862.9	150756.1	123822.3	57407.35	1923633.81
推移質總量	公噸	s*0.25	5361.30	11374.53	12622.35	12522.08	7627.55	24132.90	85482.90	70072.70	168715.73	37689.03	30955.58	14351.84	480908.45
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	26806.48	56872.63	63111.74	62610.38	38137.75	120664.50	427414.50	350363.50	843578.63	188445.13	154777.88	71759.19	2404542.26
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總量
懸移質總量	公噸	s	38603.37	29621.2	17132.77	10516.8	8631.95	236112.9	1605640	1679440	45462.9	8749326	308503.5	134243.6	12863235.18
推移質總量	公噸	s*0.25	9650.84	7405.30	4283.19	2629.20	2157.99	59028.23	401410	419860	11365.73	2187331.50	77125.88	33560.90	3215808.80
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	48254.21	37026.50	21415.96	13146.00	10789.94	295141.13	2007050	2099300	56828.63	10936657.50	385629.38	167804.50	16079043.98
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總量
懸移質總量	公噸	s	32072.29	24419.36	17483.07	13612.8	17152.92	18435.3	15344.38	16750.54	207406.8	227022.92	93819.9	45554.5	729074.78
推移質總量	公噸	s*0.25	8018.07	6104.84	4370.77	3403.20	4288.23	4608.83	3836.10	4187.64	51851.70	56755.73	23454.98	11388.63	182268.70
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	40090.36	30524.20	21853.84	17016.00	21441.15	23044.13	19180.48	20938.18	259258.50	283778.65	117274.88	56943.13	911343.48
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總量
平均輸沙總量	公噸		38383.68	41474.44	35460.51	30924.13	23456.28	146283.25	817881.66	823533.89	386555.25	3802960.43	219227.38	98835.60	6464976.57

表 3-44 花蓮溪之河川總輸沙量(2008~2010)

2008 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
推移質總量	公噸	s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2009 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	39267.7	30017.96	61503.38	54402	31756.4	100390.2	345959.7	1001823	163442.4	2772650	149811.9	67516.76
推移質總量	公噸	s*0.25	9816.93	7504.49	15375.85	13600.50	7939.10	25097.55	86489.93	250455.75	40860.60	693162.50	37452.98	16879.19
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	49084.63	37522.45	76879.23	68002.50	39695.50	125487.75	432449.63	1252278.75	204303.00	3465812.50	187264.88	84395.95
2010 年			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
懸移質總量	公噸	s	45551.4	120301.44	28235.42	18362.7	22246.53	36407.7	56671.1	19962.45	713367	635964.69	219691.5	82880.36
推移質總量	公噸	s*0.25	11387.85	30075.36	7058.86	4590.68	5561.63	9101.93	14167.78	4990.61	178341.75	158991.17	54922.88	20720.09
輸沙總量	公噸	s+s*0.25	56939.25	150376.80	35294.28	22953.38	27808.16	45509.63	70838.88	24953.06	891708.75	794955.86	274614.38	103600.45
平均輸沙總量(2008~2010 年)			一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均輸沙總量	公噸		53011.94	93949.63	56086.75	45477.94	33751.83	85498.69	251644.25	638615.91	548005.88	2130384.18	230939.63	93998.20

表 3-45 台灣主要河川月平均河川輸沙量(2008~2010)(公噸)

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	月平均	年總量 (公噸)
蘭陽溪	12780.01	24511.65	15739.73	11190.88	7654.29	18282.50	249828.87	101981.07	1821743.83	705267.44	87808.25	12222.27	255751	3069011
淡水河	9162.31	14984.77	3383.2	3652.5	3444.48	9711.76	2309.83	12073.34	128510.3	49197.26	13344.14	4393.73	21181	254168
頭前溪	293.73	796.43	573.89	1021.13	788.56	2438.06	1207.84	4568.43	1438.31	568.27	179.63	159.46	1169	14034
後龍溪	909.08	1003.63	1245.62	35102.81	8920.83	36351.56	7041.65	170861.33	3706.88	498.71	517.13	598.30	22230	266758
大安溪	6249.21	11238.97	28881.73	28736.63	13305.98	16107.75	11915.04	89927.90	11689.88	9022.16	7087.13	118055.36	29351	352218
大甲溪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
烏溪-大肚橋	31712.61	51165.80	39211.13	54765.00	69223.78	233492.25	172733.55	144607.25	102650.25	46012.53	40248.00	39118.90	85412	1024941
濁水溪	51550.55	22755.57	15389.05	40459.13	104635.46	2178617.71	6537120.65	19524464.23	15200956.83	1528890.65	102027.50	73631.85	3781708	45380499
北港溪	8848.05	8674.82	10042.84	11341.88	14166.74	28569.00	124402.75	98778.03	75241.75	30705.37	24017.00	18053.24	37737	452841
朴子溪	747.23	956.50	1179.81	1749.25	2834.82	11201.63	92430.90	186039.01	71416.38	9099.15	2284.63	1369.43	31776	381309
八掌溪-義竹	1261.11875	2933.24375	2383.9	2036.625	3182.73125	35567.8125	342349.8875	1421638.875	282254.0625	27035.875	1100.625	383.625	176844	2122128
急水溪	439.94	676.87	592.10	510.00	837.39	11065.25	111678.79	45355.33	75912.25	2134.48	256.00	283.00	20812	249741
曾文溪	934.00	306.78	252.91	95.75	1375.11	31229.25	640348.36	1470834.48	563439.71	25439.38	12138.88	12282.59	229890	2758677
鹽水溪	693.43	643.21	542.11	390.88	345.26	24316.13	26611.56	16876.92	19406.00	2158.76	1429.88	790.11	7850	94204
二仁溪	1055.81	1077.01	397.58	816.63	1221.01	97198.88	146899.33	130809.16	51704.63	7910.17	775.25	549.99	36701	440415
高屏溪	104941.33	92448.56	104857.50	91882.38	226352.31	3916214.63	3224548.46	17411928.73	5544409.79	874676.77	166872.63	61733.92	2651739	31820867
東港溪	1505.95	821.99	601.53	518.25	3805.25	44920.75	126901.86	184129.53	381654.38	132809.68	65368.50	54225.85	83105	997264
林邊溪	2194.41	1174.39	338.09	256.50	953.44	138441.94	56670.52	833885.98	87025.69	239470.14	43506.38	11308.61	117936	1415226
卑南溪	39997.56	48104.11	20024.97	13256.38	100194.20	157661.13	191230.33	541917.59	10177156.38	1856549.68	171883.63	74589.75	1116047	13392566
秀姑巒溪	38383.68	41474.44	35460.51	30924.13	23456.28	146283.25	817881.66	823533.89	386555.25	3802960.43	219227.38	98835.60	538748	6464977
花蓮溪	53011.94	93949.63	56086.75	45477.94	33751.83	85498.69	251644.25	638615.91	548005.88	2130384.18	230939.63	93998.20	355114	4261365

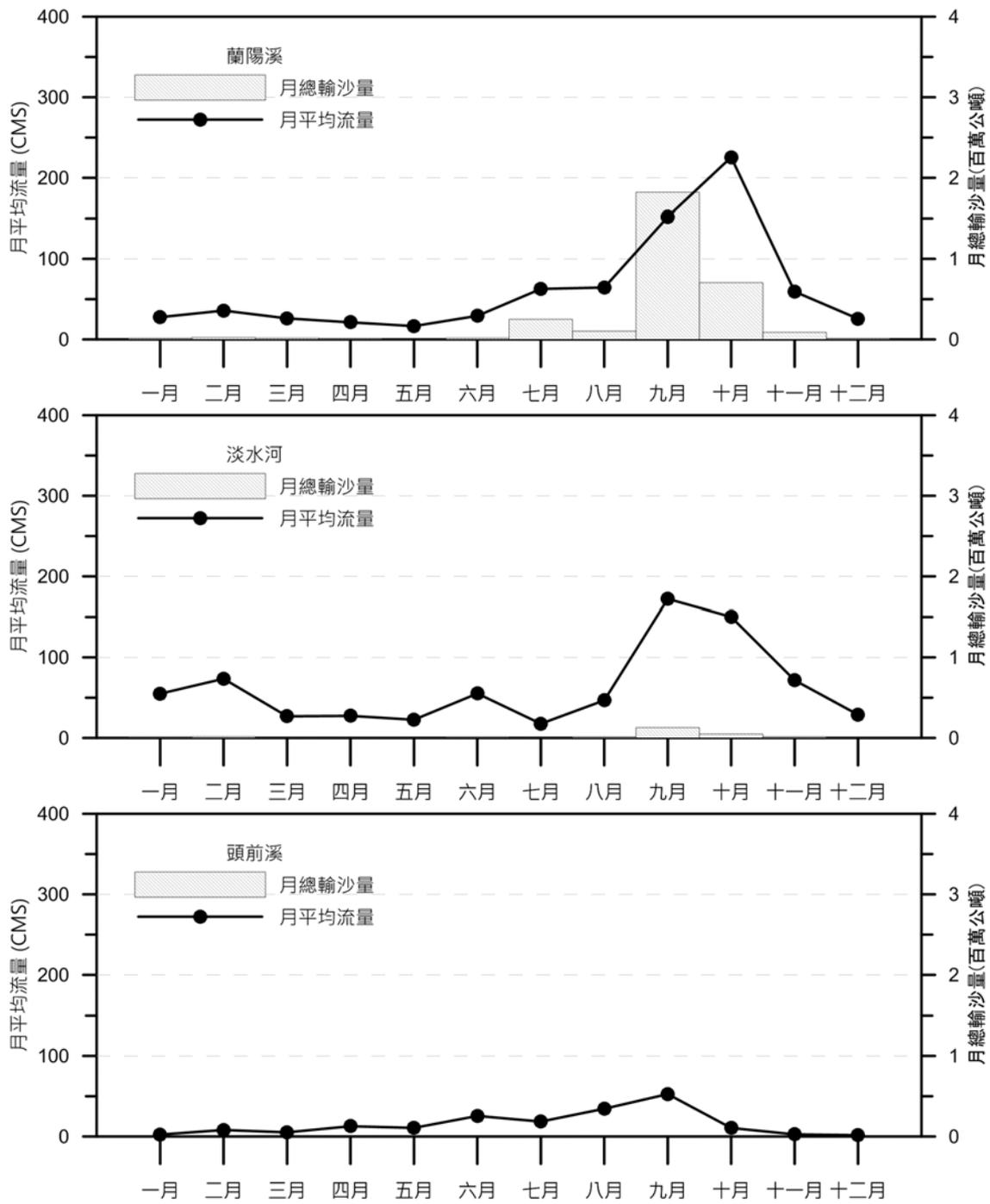


圖 3-21 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

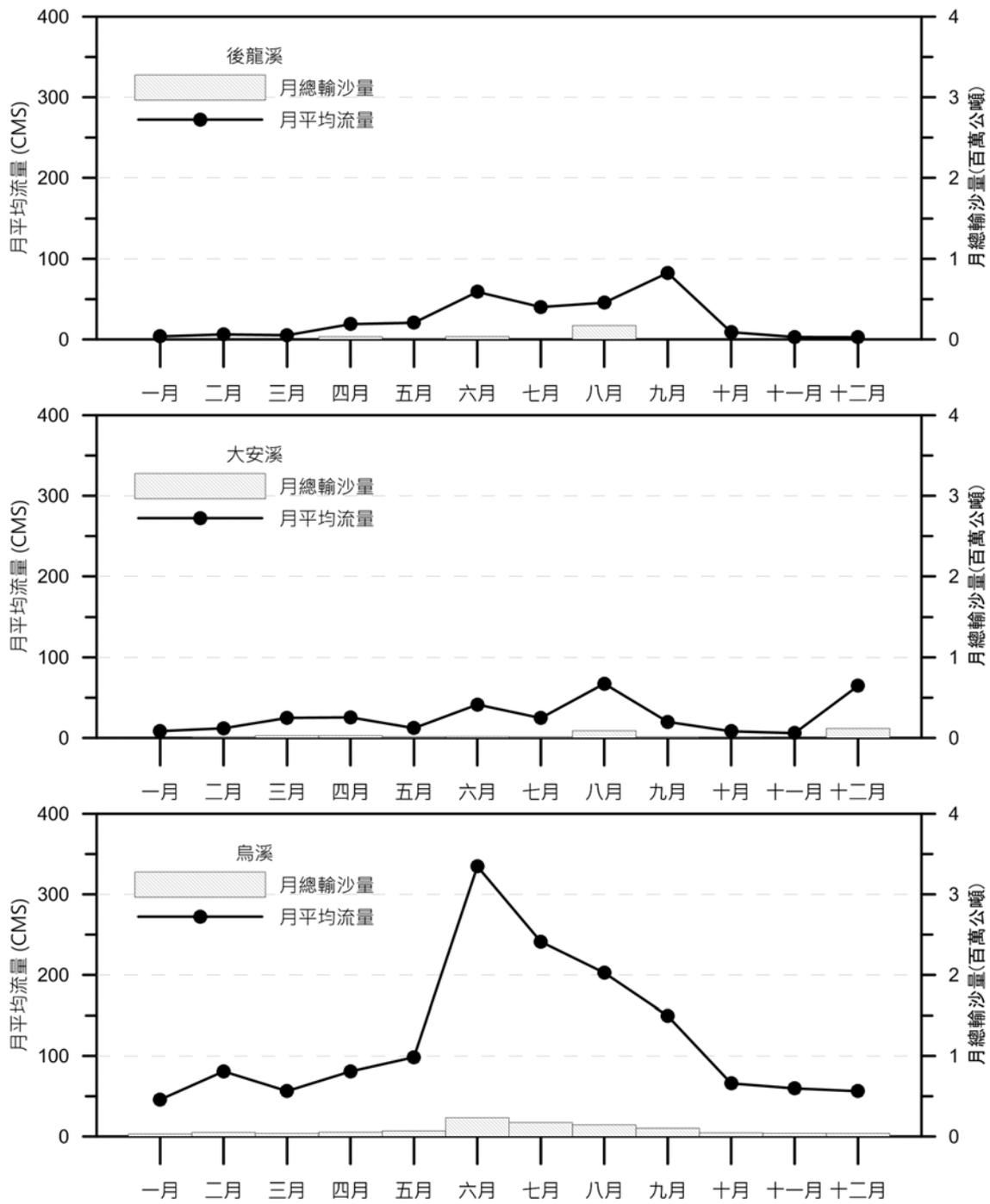


圖 3-21(續) 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

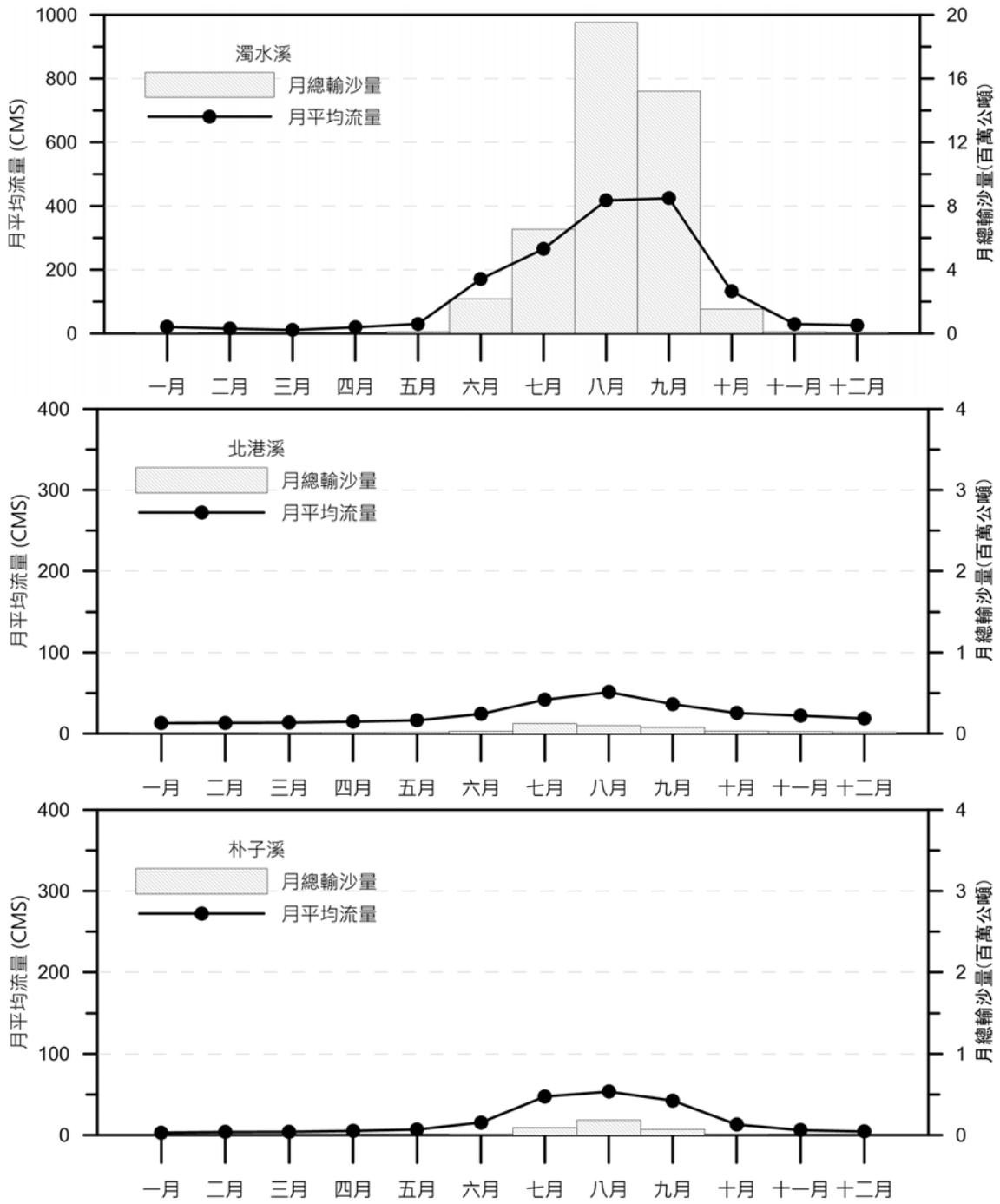


圖 3-21(續) 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

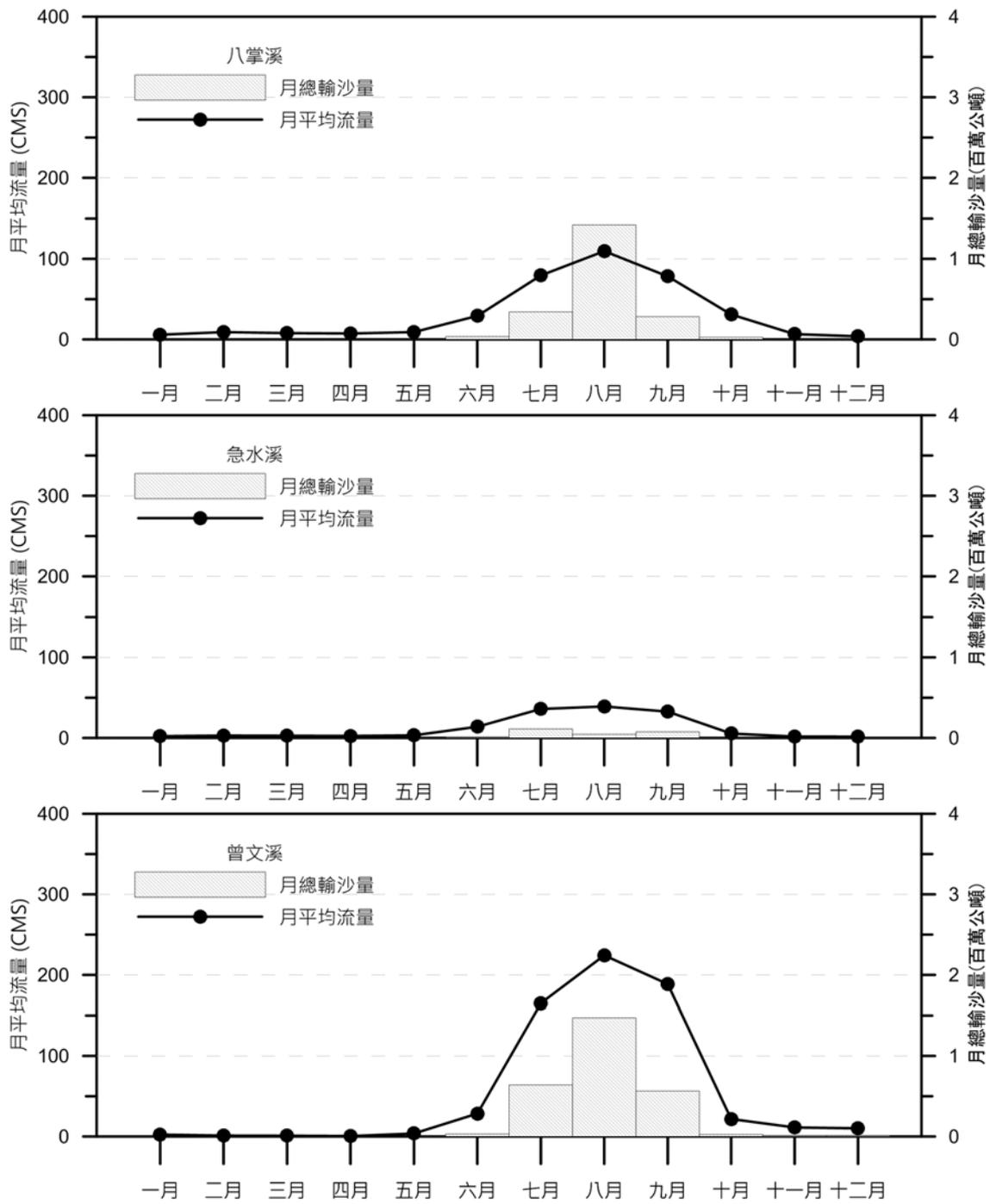


圖 3-21(續) 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

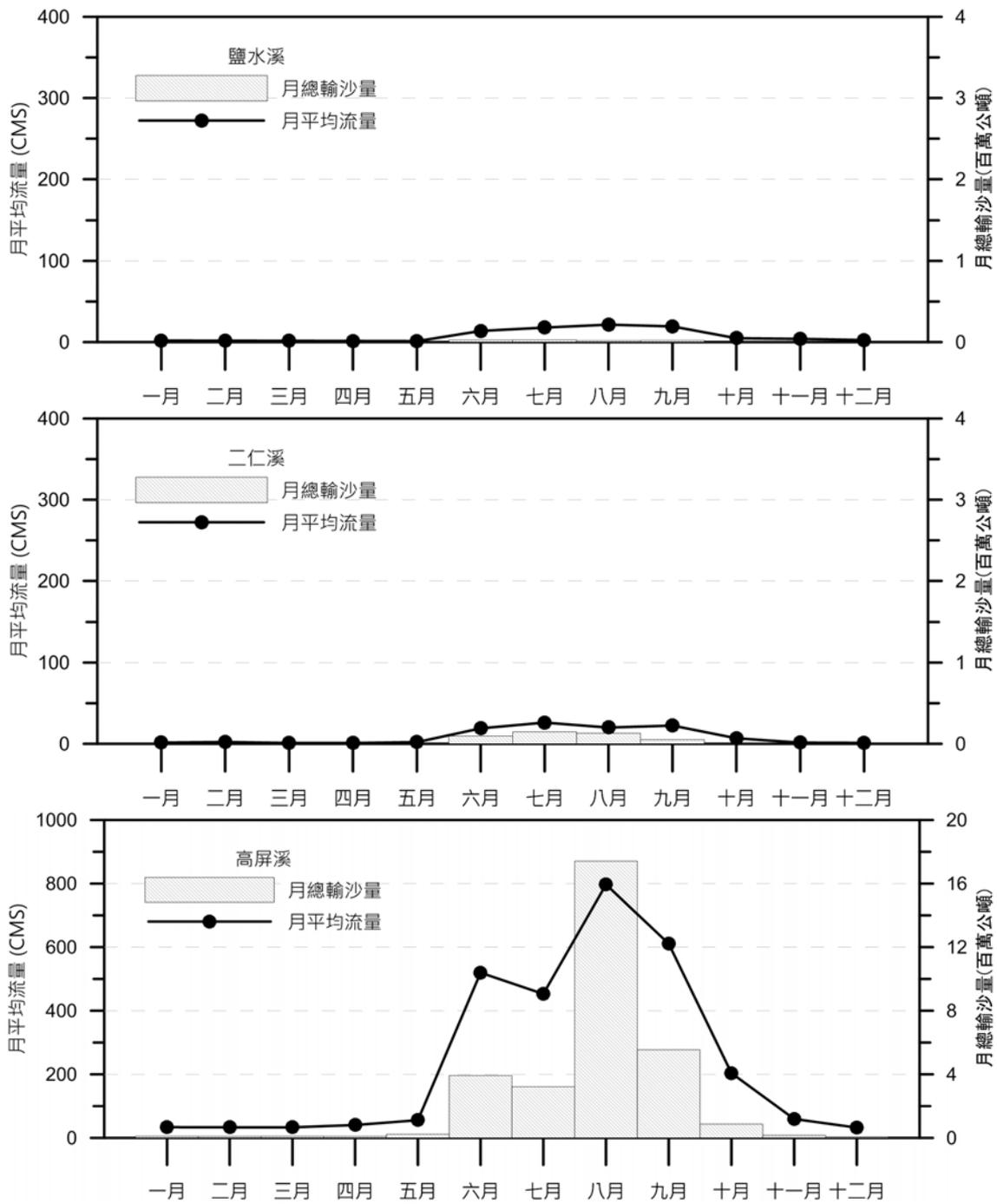


圖 3-21(續) 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

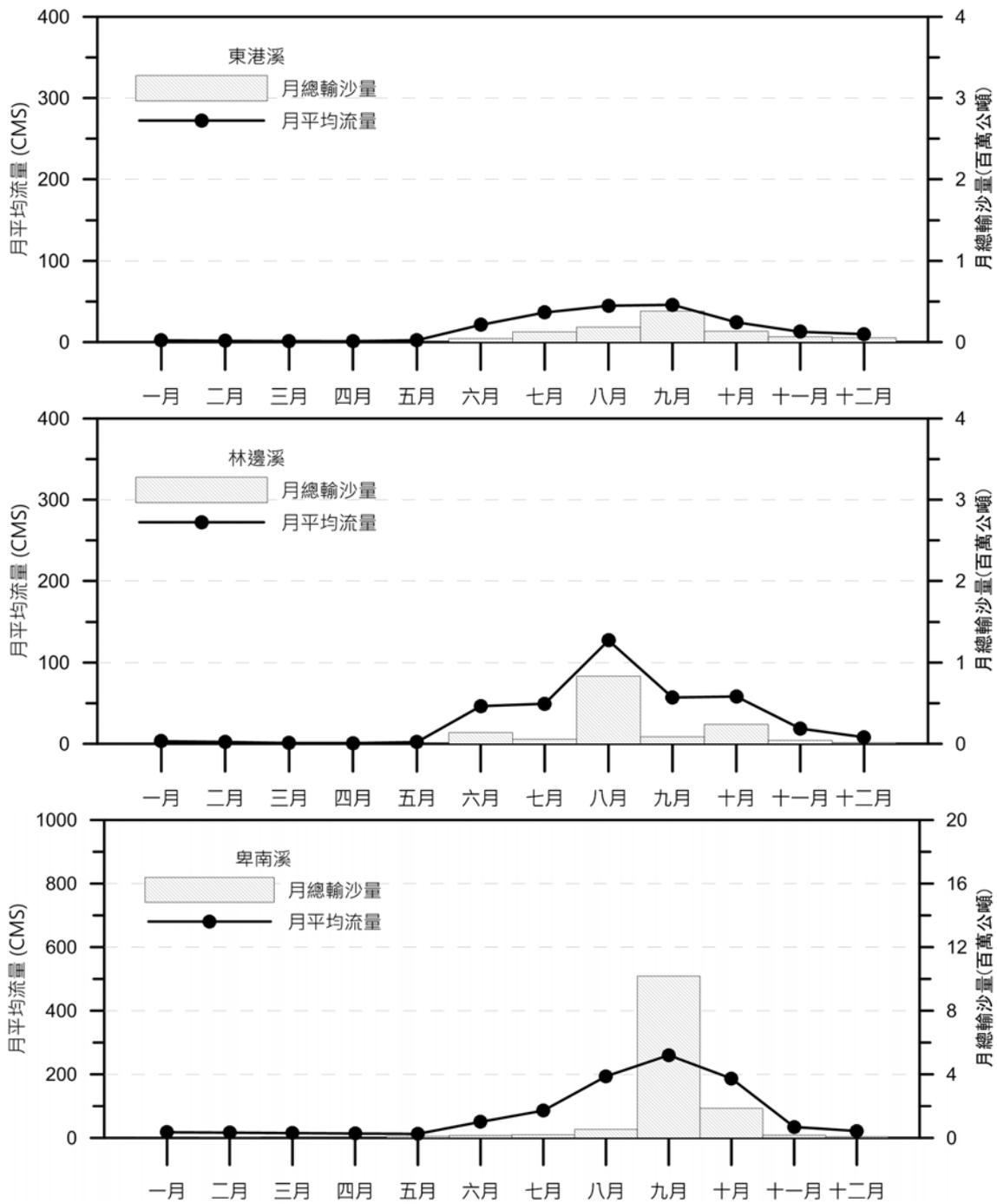


圖 3-21(續) 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

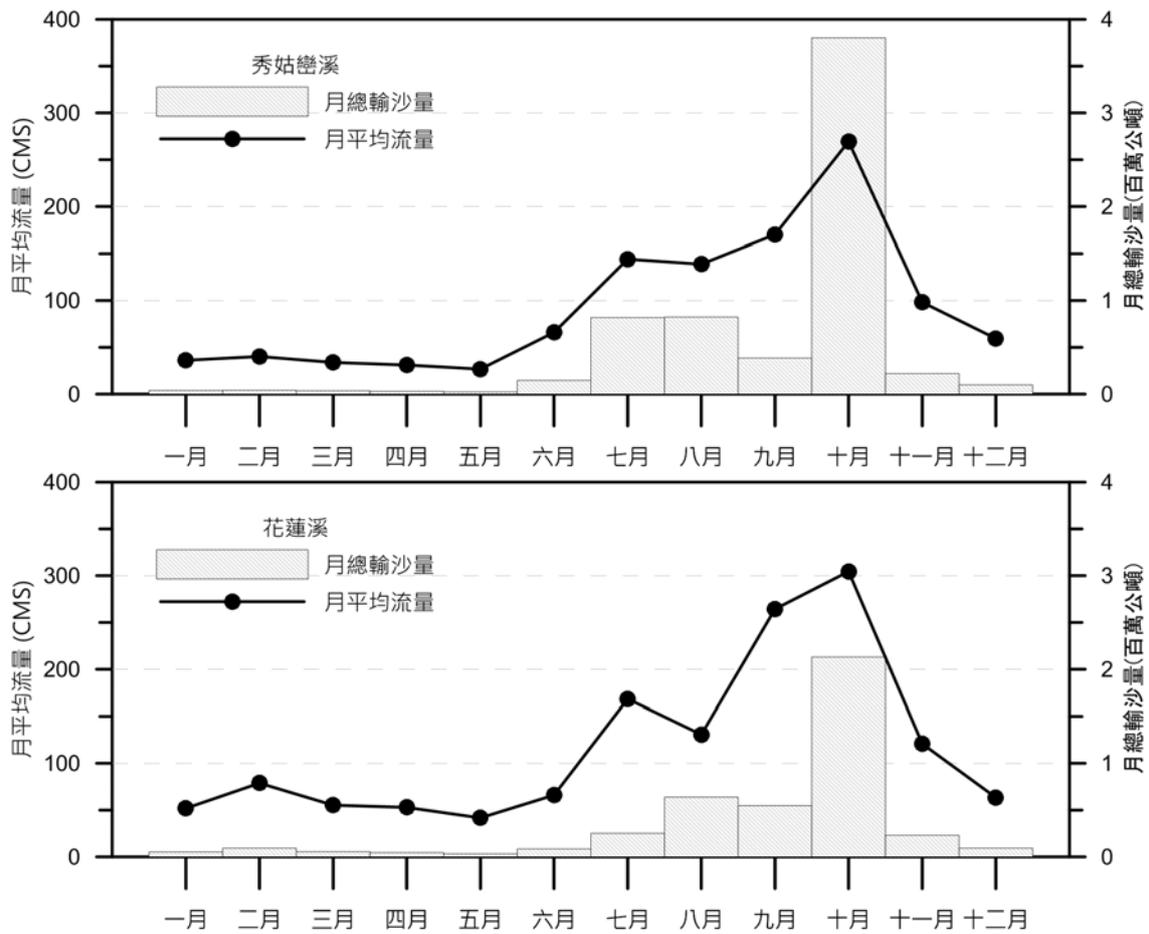


圖 3-21(續) 台灣主要河川月平均流量與月輸沙總量圖

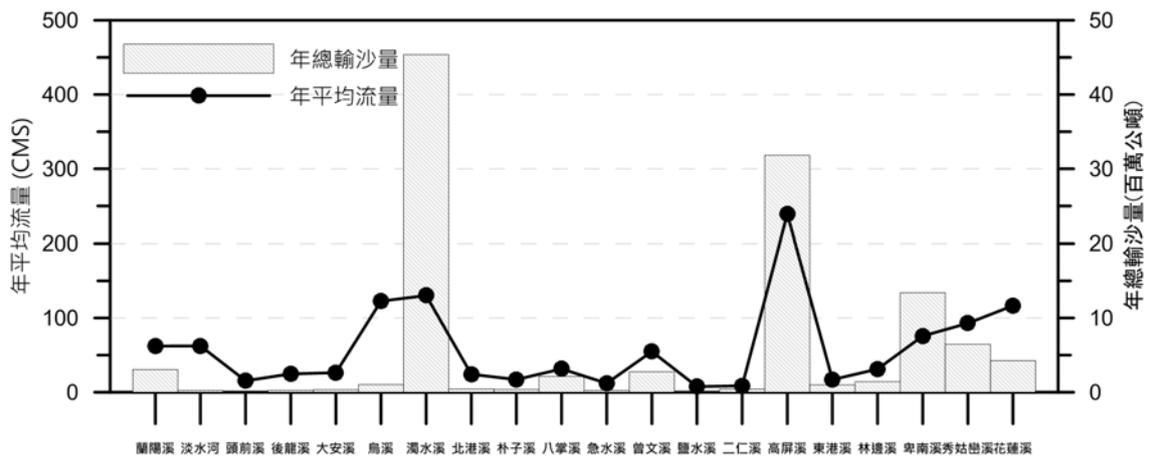


圖 3-22 台灣主要河川年平均流量與年輸沙總量圖

## 第四章 台灣海域海流模式建置與驗證

延續前三年計畫「POM 海洋數值模式應用於臺灣海域之洋流模擬」、「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」及「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」，利用計畫所建置的台灣海域 POM 模式洋流模擬系統，其中包括 POM 海洋數值計算模式、資料輸出入處理及成果展示系統。根據已經選定計算領域大小，透過全球、西太平洋之順序，以巢狀格網方式的模擬洋流，作為洋流效應來源之依據，其利用 NCEP/NCAR 再分析之海面氣象資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)計算海洋模式之海面熱通量條件，而鹽度與溫度起始資料以 WOA09 海洋資料庫的月平均氣候值，進行洋流模式的模擬，模式起始時間為 1990 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2010 年 12 月 31 日。再利用巢狀格網方式建立台灣海域模式，利用西北太平洋模式所輸出之洋流邊界，配合 Matsumoto 等人(2000)所提出的 NAO99 模式輸入天文潮位邊界，以 NAO99 的輸出結果做為驅動天文潮推算所需的動力邊界條件，模擬計算台灣海域綜合洋流與潮流效應之海流變化。

由過往三年計畫結果可知，在巢狀格網解析度相同條件下，格網範圍不同卻會形成不同特性之洋流流動，尤其是隨著洋流流動兩者間之差異會越來越大，如洋流流向與中尺度渦流的特性明顯不同。此外，格網解析度不同可產生的洋流特性之可分辨性亦不同，利用高解析度格網來描述洋流特性是必須的，高解析度海洋模式須搭配高解析度海氣象資料庫，兩者解析度的同時提升有助於改善模擬結果。本年度計畫利用海面熱通量邊界條件，改善利用海面溫度作為邊界條件，產生海面溫度受資料庫解析度之限制，重新模擬洋流模式，改善洋流邊界條件準確度，再利用高解析度格網，模擬台灣海域潮流與洋流綜合效應之海流變化，並檢討與改善去年度台中港附近海域潮位驗證不佳之缺點，之後結合海流模擬與漂沙傳輸擴散模組，探討台灣海域漂沙傳輸潛勢特性。

## 4.1 台灣海域洋流特性

洋流亦可稱海流，是具有相對穩定的流速和流向的大規模的海水運動。按照洋流的分類大致上可分為混合層甚或斜溫層以上，由風應力所引起風吹流，與海洋深層環流的溫鹽環流。由於大氣環流在低緯度地區於赤道與南北緯 30 度形成一信風帶，北半球是東北風、南半球為東南風，此二風於赤道輻合，並於赤道形成一無風帶。信風帶作用下的赤道暖流向西流動，遇大陸後一部分海水因信風切應力南北向速度分量不均和補償作用而折回，便形成了自西向東的赤道逆流和赤道潛流。而另一部分信風漂流向高緯的南北分流，在北太平洋形成黑潮、南太平洋形成東澳洲洋流、南大西洋形成巴西洋流、北大西洋形成北大西洋灣流、南印度洋形成莫三比克洋流。全球主要洋流的分佈如圖 4-1 所示。

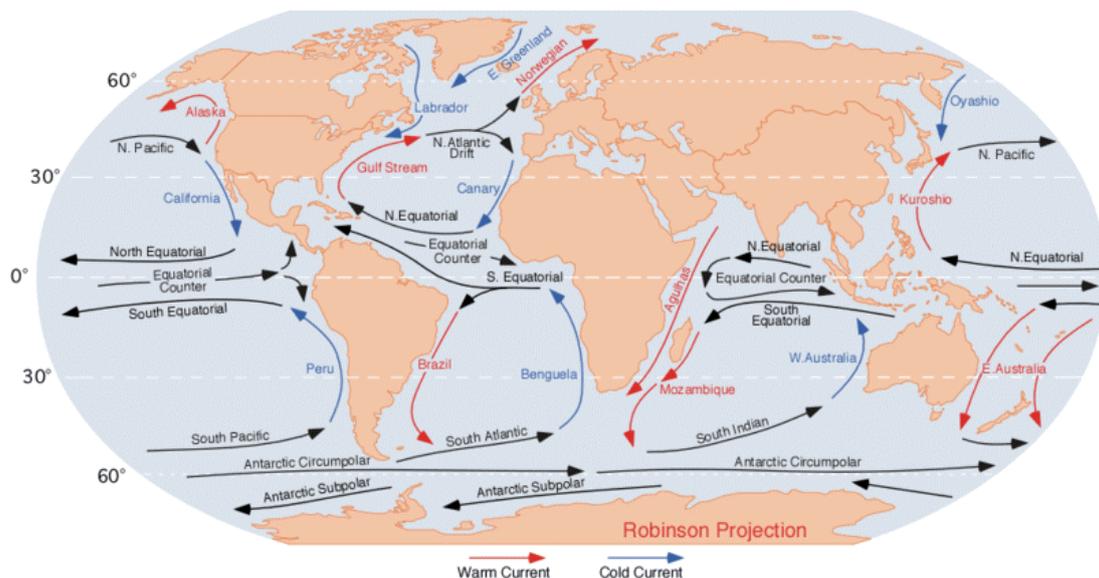


圖 4-1 全球主要洋流分佈圖 (資料來源：<http://en.wikipedia.org>)

於緯度 30 至 60 間西風盛行，西風帶作用下的西風漂流向東流動遇大陸後，向兩側的高緯低緯分流形成補償流。向低緯流的洋流有：北太平洋的加利福尼亞洋流、南太平洋的秘魯洋流、北大西洋的加那利洋流、南大西洋的本吉拉洋流、南印度洋的西澳洲洋流。而西風漂流遇到陸地後向北分支形成的補償流、極地東風帶形成的中高緯大洋

西岸的洋流組成北半球中高緯海區的氣旋型大洋環流。該環流在北太平洋上有、北太平洋暖流、阿拉斯加洋流、千島寒流。在北大西洋上有、北大西洋暖流、挪威海流、東格陵蘭寒流。而北印度洋陸地較多，風場與其他二洋亦有所不同，太平洋與大西洋於北半球的副熱帶環流不見於此處。北印度洋受南亞季風的影響，冬季盛行東北季風，形成東北季風漂流，夏季盛行西南季風，形成西南季風漂流。

台灣為一海島，東臨太平洋，西隔台灣海峽與大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，海岸線全長約 1,200 公里(含澎湖群島總長約 1,520 公里)。島上山嶽高聳，東部海岸因海岸山脈面海矗立，岸邊多懸崖峭壁，海底坡降陡峻，距岸不遠處即為深海。西部海岸則山脈離海較遠，加以早年各主要河川均西向流入台灣海峽，順流而下之大量泥沙堆積於近海地區，遂助長海灘向外伸展，沿海平原坡度平緩，海灘承其餘勢坡度亦緩。受地形影響，台灣之洋流與潮汐在南北部與東西部均有不同之變化。洋流與潮汐為影響台灣沿海環境之重要自然因素。洋流主要影響氣候及漁場分佈；潮汐影響河川與港灣的自淨能力以及沿海汙染物質的擴散。資就台灣附近之洋流與潮汐狀況分別描述如下：

在台灣海峽的洋流情形因受季風之影響，一般可分為兩種形態：春末至秋初，由於西南季風盛行，位於台灣南方之南海洋流與黑潮支流等兩股暖流流經台灣海峽；在冬季時，因東北季風盛行，由東北風吹起的冷流流入台灣海峽北部，而南部海峽的海水主要來自黑潮支流，這兩種水溫不同的水團相遇於澎湖群島附近，然後一起流入中國南海。台灣附近的洋流有四個：

黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名台灣海流，向北流至台灣南端附近時，分成兩股。主流沿台灣東北而上，在蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後彎曲朝東北向流去，流速達 1 m/sec，有時高達 2 m/sec，一般而言夏季流速較快。黑潮主流之寬度約為 110~150 公里，主流中軸線距台灣約 50~150 公里，最大流速範圍為 0.6~1.0 m/sec，但隨區域與季節而有所不同，最強之流速出現在接近台灣海岸處，流速向東緩慢降低，在

主流右側常有一反向向南之洋流或渦流存在。黑潮主流由海面向下可延伸至 600 公尺深，在此深度之流速仍達 0.1~0.2 m/sec，在台灣東部近岸流速超過 0.3 m/sec 之黑潮潮流亦可延展至 200 公尺深。黑潮為來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30°C，冬季水溫不低於 20°C。黑潮流經台灣附近，由於受到海底地形的影響，在台灣東南沿海及東北外海海域引起湧昇流現象。湧昇流會把二、三百公尺深的中層海水帶到表層來，中層海水含較豐富的營養鹽，這些高養分的海水使浮游生物繁殖旺盛，引來魚群，因而形成良好的漁場，為台灣近海漁業帶來大洋暖水性魚種，例如鮪魚、鰹魚、旗魚、鬼頭刀等等。台灣北部的彭佳嶼就是湧昇流區，是台灣重要的漁場之一，南方澳一帶的漁船經常在此海域作業，對台灣漁業發展有重大之影響。

黑潮支流，黑潮支流沿台灣西岸而上，夏季時因有西南風吹送，可一直流經整個台灣海峽；冬季時海峽北部海面因東北季風盛行，黑潮支流流經澎湖群島附近時，與北方來的親潮會合後，折向西流入南海。而親潮又名中國沿岸流，起源於渤海與黃海北部之冷流，冬季因東北季風之吹拂沿大陸海岸南下，流入台灣海峽後與黑潮支流相會於澎湖群島附近，會合後流入南海。魚類隨這道洋流南下集中於澎湖群島西側，同時澎湖在冷暖洋流的交匯下，產生了大量的浮游生物，因此也使得大量的魚類得以在此生存，使澎湖群島成為台灣西部海域重要之漁場。夏季時因西南季風影響，使黑潮支流強勁，無法流向台灣海峽。南海洋流，冬季時此一洋流無法流入台灣海峽；夏季由於西南季風之吹送北上與黑潮支流一起流入台灣海峽，因此又稱為西南季風吹送流。

## 4.2 台灣海域海流模擬系統之建置

風力、溫鹽通常是洋流之原始趨動水動力，鑒此，欲模擬計算洋流之大規模流動特性，用以模擬計算之海域範圍一般甚為寬廣。雖然本研究目的在於模擬台灣鄰近海域之海流，但為了取得正確的模式邊

界條件，故首先必須進行大範圍海域之洋流模擬，然後再利用巢狀格網計算方式，逐步縮小計算範圍，藉以提高台灣鄰近海域洋流模擬的解析度。而前三年計畫所建立的巢狀格網模式，其利用國科會海洋資料庫之海流與水文資料來驗證模式年季流場與溫鹽場之合理性，並透過單點錨碇海流資料、浮標追蹤、岸基測流雷達資料的比較，台灣海域模式於洋流特性、溫鹽之年、季分布與特性均具有合理之一致性。據此利用 POM 模式配合巢狀格網方式，可重現台灣海域之海流、溫鹽度等物理特性，故計畫所建置之洋流模式應可作為本計畫台灣近岸海域洋流模擬研究之有效工具。

去年度計畫亦利用巢狀計算方式縮小計算範圍至台灣重要商港海域，並同時加入潮汐與洋流邊界條件進行海潮流模擬，利用近岸達 100 公尺之高解析度的格網，可以有效模擬台灣各重要商港海域之海流變化特性，其結果表示近岸格網可合理呈現各商港海域局部地形所產生的海流特性，而洋流與潮流綜合效應模擬可改善於台中、高雄之推算結果。但去年度由於計畫目的所需解析度關係，故將台灣近岸格網分為四個區域，雖可有效解析近岸海流特性，但在作業上會增加許多電腦硬體需求與模擬時間。本年度延展計畫成果，以去年度模擬方式為基礎，修改模式解析度，盡量提高台灣海域 POM 模式之解析度，取得作業化效率與模擬解析度之平衡。

以下則簡述全球、西北太平洋、台灣海域海流模式的建置過程，與利用巢狀格網計算方式縮小模擬範圍增加模式解析度。去年度完成利用 MPI 平行化方式提升計算效率，解決計算速度在高解析度格網非常耗時的問題，大幅提高模式在近岸海域應用的成效。在模式格網設定方面，第一層格網為全球 POM 洋流模式，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，計算領域為東經 99~149 度、北緯 2 度至北緯 41.2 度，格網可包含西北太平洋最重要洋流黑潮之發源至結束之範圍，格網解析度為  $1/25 = 0.04$  度約為 4.5 公里；第三層則為台灣海域，考量現可取得台灣海域解析度最高之海洋學門地形水深

資料庫範圍，故台灣海域模式格網範圍為東經 117~124.5 度、北緯 18~26.5 度，格網包含呂宋島北部，而格網間距為  $1/50 = 0.02$  度約為 2.2 公里。由於去年度於台中港潮位驗證時發現潮位無法準確推算的缺點，故今年度計畫增加一台灣海域格網(T3-1)，將其範圍向北擴展使其包含中國大陸東海海域，測試不同範圍格網是否會影響台灣海域潮位推算精度，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 4.5 公里。圖 4-2、圖 4-3 及圖 4-4 分別為全球(G1)、西北太平洋(N2)、台灣海域(T3)及台灣海域(T3-1)之計算領域地形水深圖，G1、N2 與 T3-1 模式之地形水深採用 ETOPO1 地形水深資料庫，其解析度為 1/60 度，而 T3 台灣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，而模式格網設定亦如表 4-1 中所示。

在邊界條件方面，本年度計畫增加模式表面熱通量邊界條件，改進前三年度計畫採用海面溫度作為模式表面溫度邊界條件，雖然使用海面溫度作為模式邊界條件可增加模式計算穩定性，但由於現在可收集到比較高解析度之海面溫度資料庫為 1 度(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)，故導致本計畫所建置之高解析度海流模式表面溫度會受限於海氣象資料庫解析度，造成台灣海域之海面溫度變化分布有不合理之處。故本年度收集 NCEP/NCAR Reanalysis 1 資料庫間隔 6 小時一筆之分析資料，其時間範圍為 1948 年至今，包含海面氣象資料有 10 米高海面風場(uwnd、vwnd)、海平面大氣壓力(slp)、2 米高氣溫(air)、2 米高比濕(shum)、表面長波輻射通量(nlwrs)、表面短波輻射通量(nswrs)、表面潛熱通量(lhtfl)、表面顯熱通量(shtfl)、降雨率(prate)等變數，利用 2.4 節之海面通量計算方式，進行海面風剪應力、溫度與鹽度通量等表面邊界條件之計算，而模式鹽度與溫度起始資料以 WOA09 海洋資料庫的月平均氣候值。關於模式設定，全球模式之起始時間為 1990 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2010 年 12 月 31 日，而西北太平洋與台灣海域模式之起始時間

亦為 1990 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。表 4-2 中說明各模式所採用的海氣象資料庫，而模式參數方面，則以表 4-3 所列之參數進行模擬。

由於本計畫目的為台灣海域海流模擬，其所建置之模式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台灣海域洋流與潮流同時存在之流況。其利用台灣海域洋流模式(T3 模式)為基礎，採用 Matsumoto 等人(2000)所提出的 NAO99 模式或 OTPS (OSU Tidal Prediction Software，<http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>)兩種方式來建立天文潮位邊界，在去年度計畫中利用 NAO99 與 OTPS 模式所提供之天文潮汐邊界，推算台灣海域潮位比較中差距並不大，故以 NAO99 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，提供台灣海域模式所需的水位與流速邊界條件進行模擬，其計算模擬流程如圖 4-5 中所示。

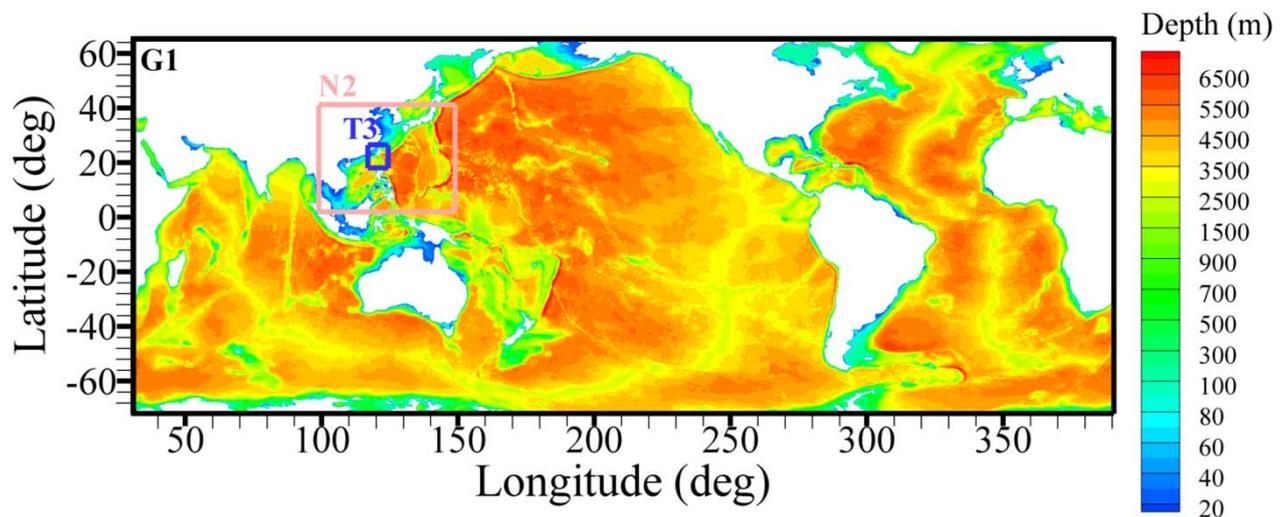


圖 4-2 全球洋流(G1)模式計算領域地形水深圖

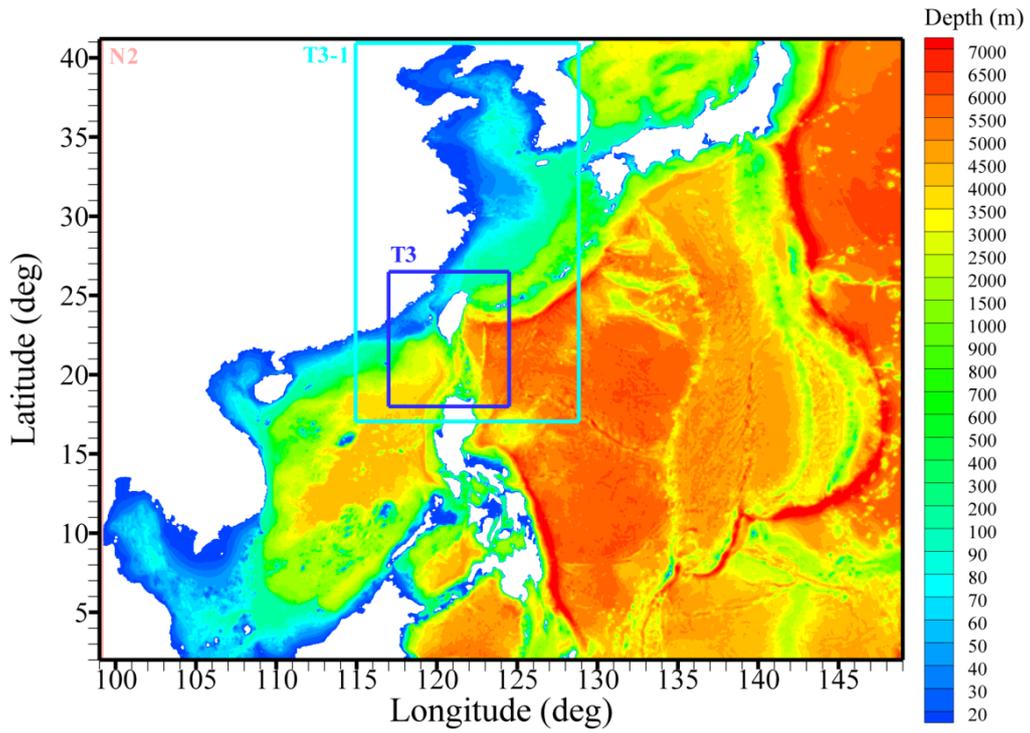


圖 4-3 西北太平洋(N2)模式格網範圍與地形水深圖

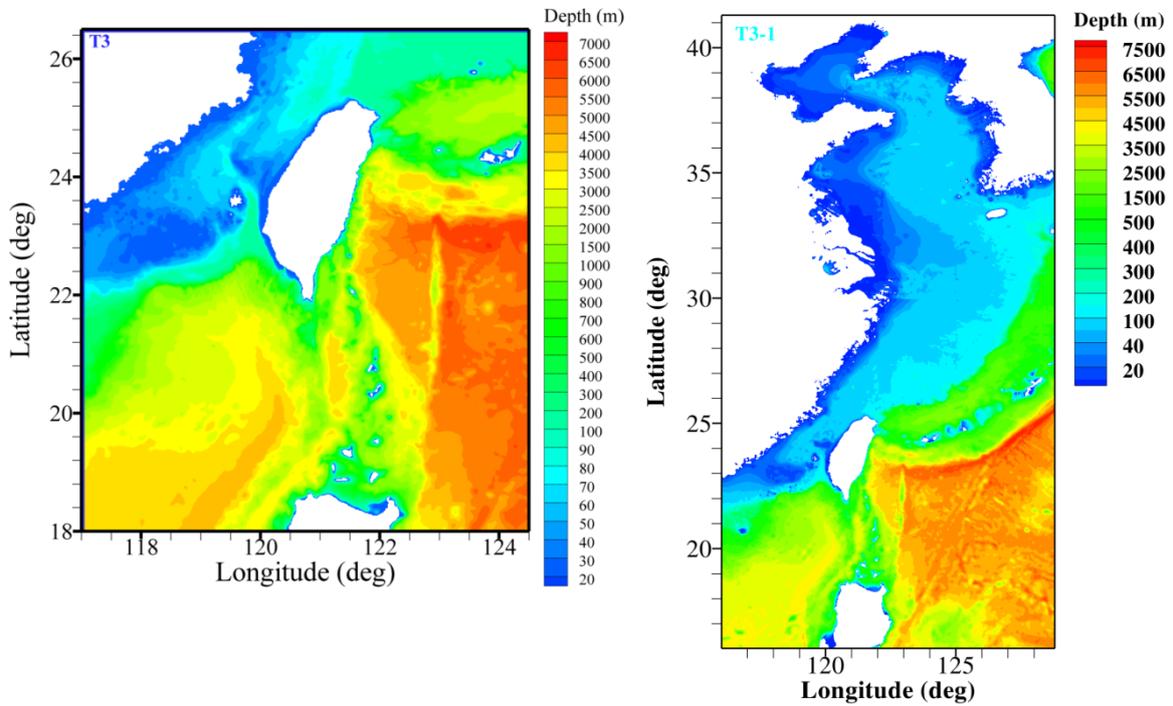


圖 4-4 台灣海域(T3、T3-1)模式格網範圍與地形水深圖

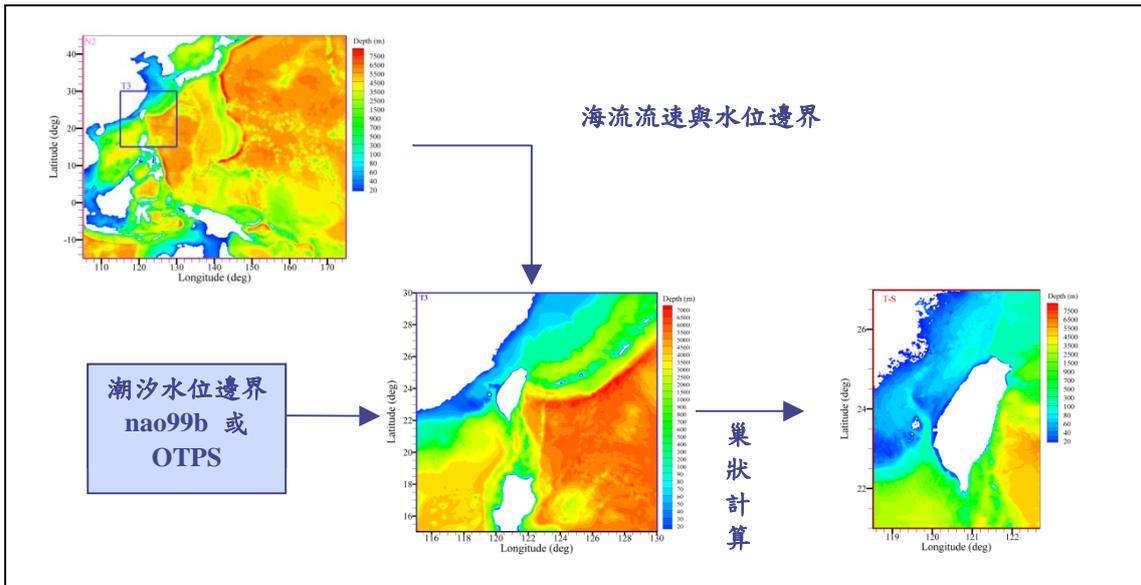


圖 4-5 綜合潮汐與洋流效應模式之模擬流程示意圖

表 4-1 巢狀格網之範圍與計算條件

模式	模式範圍	格網點數	解析度	計算時距(dte)	計算時距(dti)	緩衝區格點數
G1	180 <sup>0</sup> E~180 <sup>0</sup> W 70 <sup>0</sup> N~75 <sup>0</sup> S	1443x553x26	1/4 <sup>0</sup>	30 sec	1800 sec	0
N2	99 <sup>0</sup> E~149 <sup>0</sup> E 2 <sup>0</sup> N~41.2 <sup>0</sup> N	1251x981x21	1/25 <sup>0</sup>	3 sec	180 sec	10
T3	117 <sup>0</sup> E~124.5 <sup>0</sup> E 18 <sup>0</sup> N~26.5 <sup>0</sup> N	376x426x21	1/50 <sup>0</sup>	2 sec	40 sec	10
T3-1	116 <sup>0</sup> E~128 <sup>0</sup> E 16 <sup>0</sup> N~41.3 <sup>0</sup> N	410x810x21	1/32 <sup>0</sup>	3 sec	180 sec	10

表 4-2 模式計算背景資料與計算時間

模式	地形水深	海面通量邊界條件	計算時間	巢狀邊界更新時間	潮位邊界
G1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	1981/01/01~ 2010/12/31	無	無
N2	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	1981/01/01~ 2010/12/31	日平均	無
T3	海洋學門 500 公尺	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	1981/01/01~ 2010/12/31	日平均	NAO99
T3-1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	2008/01/01~ 2010/12/31	日平均	NAO99

表 4-3 模式重要參數表

參數	值	作用	參數	值	作用
nitera	3	改善水平對流項數 值技巧穩定度的選 項	tprni	0.2	Pradtl number 水平紊流 參數
sw	1	改善數值結果之平 滑參數	umol	2.e-5	背景黏滯係數
tbias	10	水體溫度基準值	ispadv	5	對流項更新時間間距， 單位為次數
sbias	35	水體鹽度基準值	smoth	0.1	平滑參數，其值為了改 善 leap-fog 數值技巧所 產生的不穩定性
kappa	0.4	von Karman 參數	alpha	0.225	權重參數，其值可改善 計算重力項的穩定性
z0b	0.01	底床粗糙度	ntp	2	水體形式，其與海面短 波輻射量有關
cbcmin	0.0025	最小底床摩擦係數	nbct	1	海面溫度邊界條件型式
cbcmax	1.0	最大底床摩擦係數	nbcs	1	海面鹽度邊界條件型式
horcon	0.2	水平擴散係數			

#### 4.2.1 台灣海域洋流模式驗證

對於台灣海域洋流模式之驗證，其採用國科會海洋學門海洋資料庫海流資料庫之量測結果做為模式驗證，其海流資料是海研一、二、三號的船碇式都卜勒流剖儀(Ship-Board Acoustic Doppler Current

Profiler, Sb-ADCP)所收集得來，資料範圍為 1991 年至 2009 年。圖 4-6 分別為水深 20、100、200 及 300 公尺處 N2 模式結果與海流資料庫實測值之比較圖，圖(a)為海流資料庫之實測值，其資料庫空間解析度為 0.25 度，圖(b)為 N2 模式結果，圖中箭頭表示流速流向，等值色階為流速大小分佈，圖(c)為兩者流速差距分布圖，圖中等值色階表示模式流速減去資料庫流速之差距，紅色階表示模式模擬值較大；反之，藍色階表示模擬值較小。對照本計畫的模擬結果與海流資料庫實測資料，於花蓮外海之表面流速皆介於每秒 1 公尺至 1.5 公尺之間，黑潮於台灣東部海岸出現流速最大值的位置相近，且流速與流向也具有合理的一致性，表示西北太平洋 N2 模式所模擬的台灣東部黑潮特性具有可信度，對照兩者流速差距圖，可知模式在台灣東岸黑潮流速模擬特性上，水深 20 公尺深處之流速模擬值較資料庫之值為小，而水深超過 100 公尺後，模擬值較資料庫之值為大，但流速差距皆在 $\pm 0.3$  公尺每秒之間，大致上而言，模式對於台灣東岸黑潮流特性能合理掌握。比較呂宋海峽處之洋流特性，由圖中可知，由模式模擬之黑潮經過菲律賓海域後一分為二，支流轉進入南海海域後，一部分沿著澎湖水道穿過台灣海峽，而部分海流於台灣西南海域形成一順時針環流，繞過台灣西南海岸於墾丁附近海域與主流會合後沿台灣東岸北上，此為黑潮套流(loop current)現象。對照圖中流速差距分布圖，在台灣南部巴士海峽海域，模式模擬值小於資料庫之值，而西南海域之模擬值則大於資料庫之值，表示模式所模擬之黑潮套流現象較資料庫轉彎幅度更大。

圖 4-7 至圖 4-10 分別為 1991 至 2009 年之春、夏、秋及冬季平均值於 20 公尺與 200 公尺深之流速流向分佈圖，圖(a)為海流資料庫之實測值，圖(b)為 N2 模式結果，圖(c)為兩者流速差距分布圖。如上述，對照圖中可知，模式所模擬出的黑潮套流現象的確於冬季節較為明顯，而台灣西南海域於冬季觀測值出現明顯向西流動現象，其與模式結果之黑潮套流位置相當。而春夏季節時，南海夏季由於西南季風盛行會產生西南吹送流，於台灣西南海域可發現由南海來之洋流到達台灣西南海域，與黑潮支流合而為一，部分沿著台灣海峽北上，部分匯

入黑潮支流流經高雄屏東海域繞過台灣南端沿著黑潮主流北上。而冬季西南吹送流較弱無法到達台灣海峽，台灣西南部海域由於黑潮入侵南海的影響，於台灣西南海域形成順時針大型環流。由模式模擬結果可知，於冬季時台灣西南海域深度 200 公尺處亦存在一順時針環流，其應為黑潮套流所產生的現象。觀察台灣海峽之洋流特性，比較各季平均之海流資料庫與模式模擬結果於澎湖水道之流速流向，兩者具有合理一致性，不論各種季節都可觀察出黑潮支流沿著澎湖水道北上，繞過雲彰隆起後在台中苗栗一帶海域再靠近台灣西部海岸，但台灣海峽中之黑潮支流於夏季達到最強。再論各圖中 200 公尺深處之流速流向分佈圖，比較觀測值與模式結果，不論台灣海峽或台灣東岸之海流趨勢大致上具有一致性，黑潮流速流向於台灣東部海域處具有一致性，但模式所模擬的流速略大於觀測值。對照圖中流速差距分布圖，春、秋兩季之差距分布與年平均值接近，大致上在台灣東岸黑潮模擬流速差距約在 $\pm 0.3$  公尺每秒之間，而夏季在水深 20 公尺處在宜蘭與台東海域模擬值略大於資料庫之值，而在花蓮海域模擬值則略小於資料庫之值，在 200 公尺深處則與春秋兩季有相同趨勢，模擬值略大於資料庫之值。而在冬季比較結果上，差距圖呈現較多空白處，其為資料庫資料缺乏所導致，由差距圖並無法看出模擬結果於冬季之模擬誤差分布。

圖 4-11 為 Hsin 等人(2008)利用 POM 模式執行  $1/8$  度之亞洲邊緣海域模式，圖中表示利用 1982 至 2005 年共 24 年之模擬結果平均所得各季 0 至 200 公尺深度平均水平流速，由圖中可看出台灣西南海域之黑潮套流現象與本計畫模擬之趨勢一致，而台灣東部之黑潮流向與大小也是具有合理之一致性。由海流資料庫亦約略可見黑潮套流現象，但其流速值小於模擬結果，其可能原因為：一般而言，黑潮套流常發生於東北季風盛行的冬天，而冬天海象惡劣較不易進行大洋觀測實驗，導致冬季時量測點數的分布不均，造成平均值下之黑潮套流現象較不明顯。

圖 4-12 分別為水深 20、100 及 300 公尺處，N2 模式結果與海洋水

文資料庫實測值之平面溫度鹽度深度比較圖，其模式為 1991 至 2009 年之年平均結果，圖中左側為海洋水文資料庫之實測值分析結果，右側為 N2 模式結果。對照圖中色階變化可知，溫度於不同深度處之分布具有一致性，在台灣東北部海域明顯可見由於黑潮暖流流經處之溫度高於兩側之明顯現象，在 100 公尺深處於台灣西南海域亦可見溫度較高現象，其與黑潮流經台灣西南海域之特性一致，應為黑潮套流現象所產生溫度產生較高之現象。比較鹽度分布上，在陸地邊界上出現明顯鹽度較高現象，此可能與未考慮河川入流之因素有關外，亦可能是模式解析度造成鹽度於地形變化較劇烈處有明顯誤差產生，但其誤差約在 0.5~0.2PSU。但除此之外，不論於各種深度，模式結果與資料庫在鹽度分布上亦具有一致性，觀察模式結果，大洋之鹽度較高，陸棚上鹽度較低之現象與資料庫之鹽度分布一致，而黑潮所流經處海域所產生之鹽度較高現象，模式結果亦能適切展現。

綜合以上，透過海洋學門海流資料庫、水文資料庫之年與季平均比較中，驗證本計畫所建置之台灣附近海域洋流模式可適切呈現台灣附近海域洋流流動特性，對溫鹽等海洋水文特性亦可合理掌握。

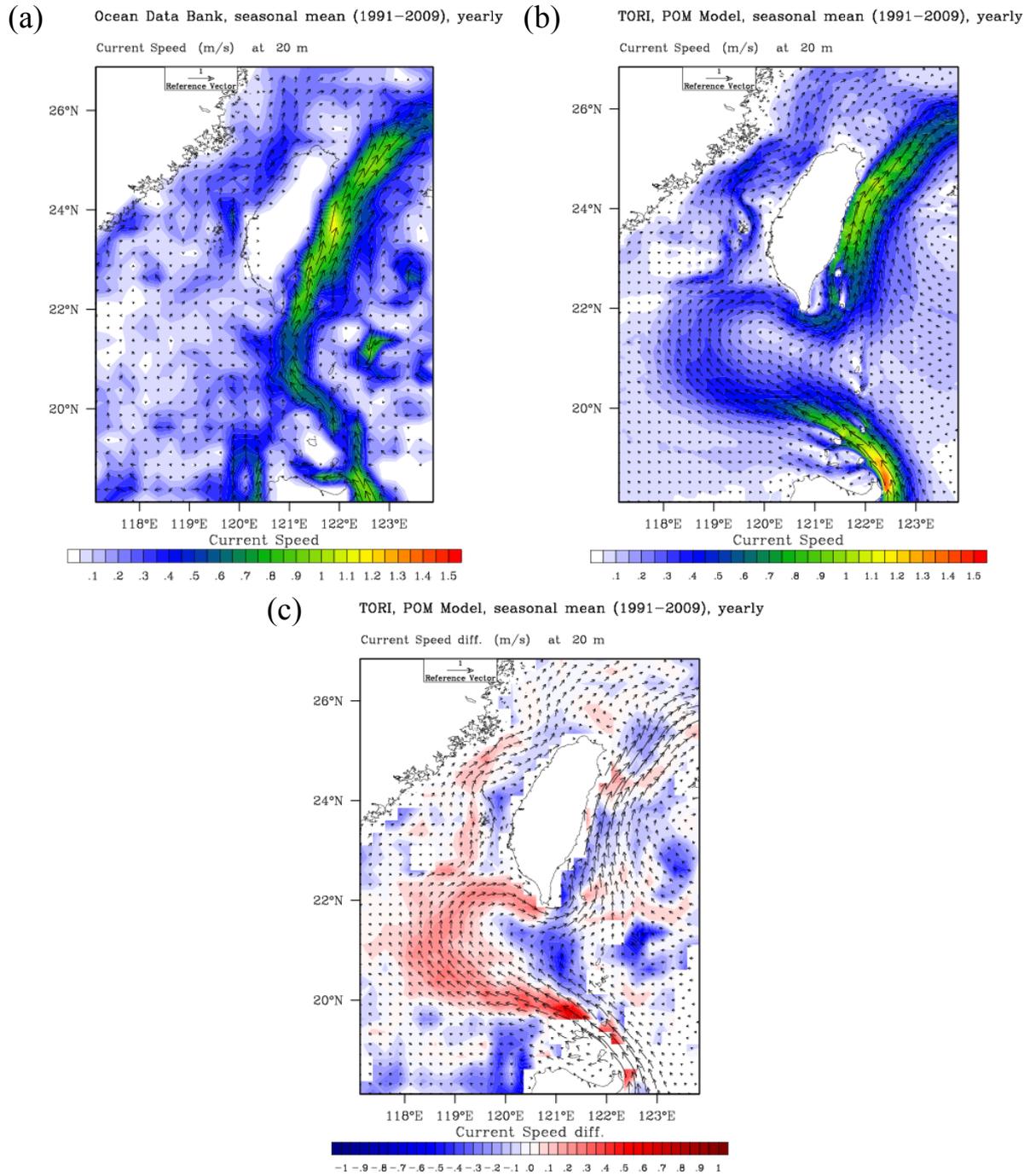


圖 4-6 台灣海域之年平均流速流向比較圖(水深 20 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

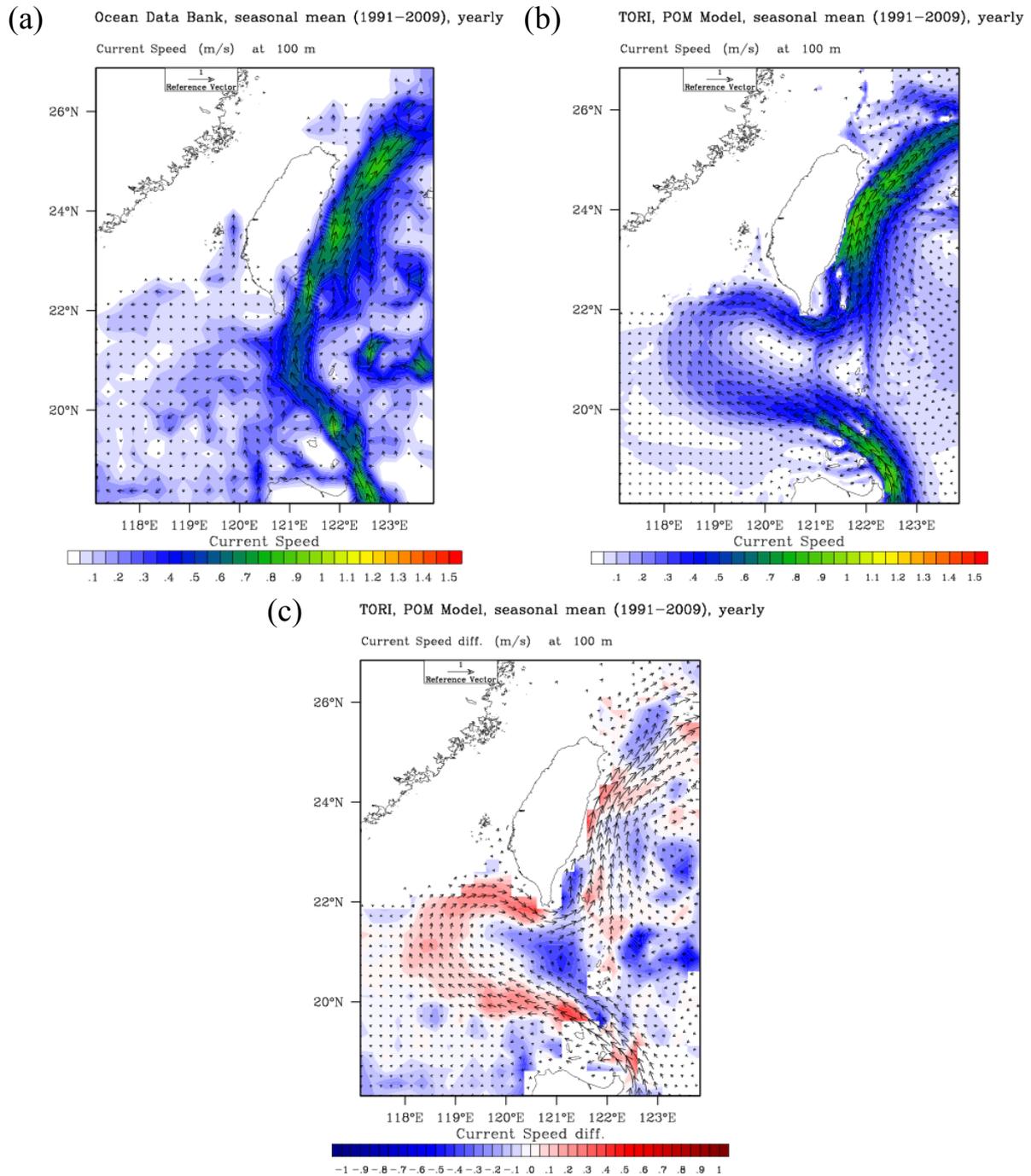


圖 4-6 (續) 台灣海域之年平均流速流向比較圖(水深 100 公尺);(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度), (b)台灣海域 N2 模式(0.04 度), (c)兩者流速差距(0.25 度)

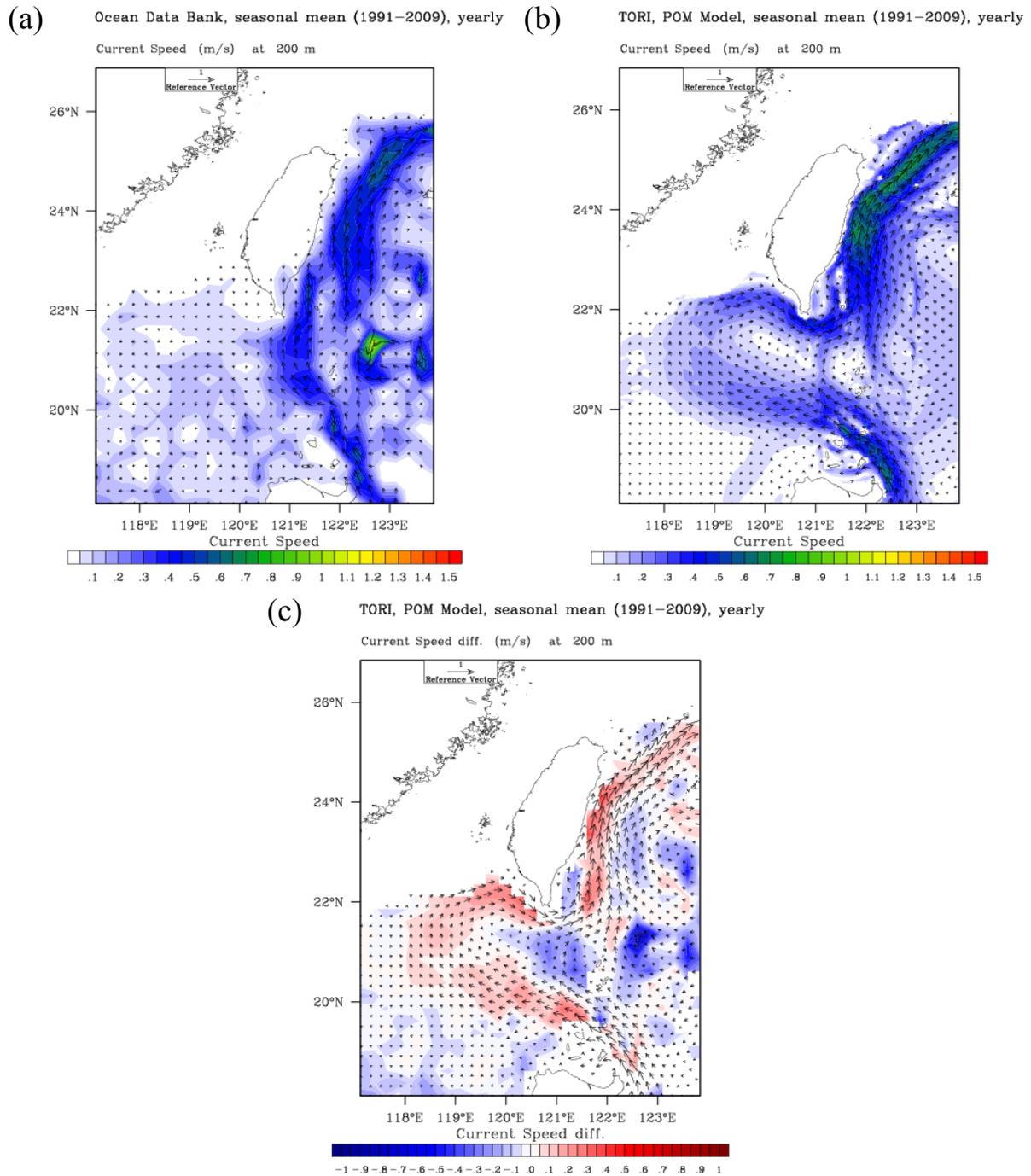


圖 4-6(續) 台灣海域之年平均流速流向比較圖(水深 200 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

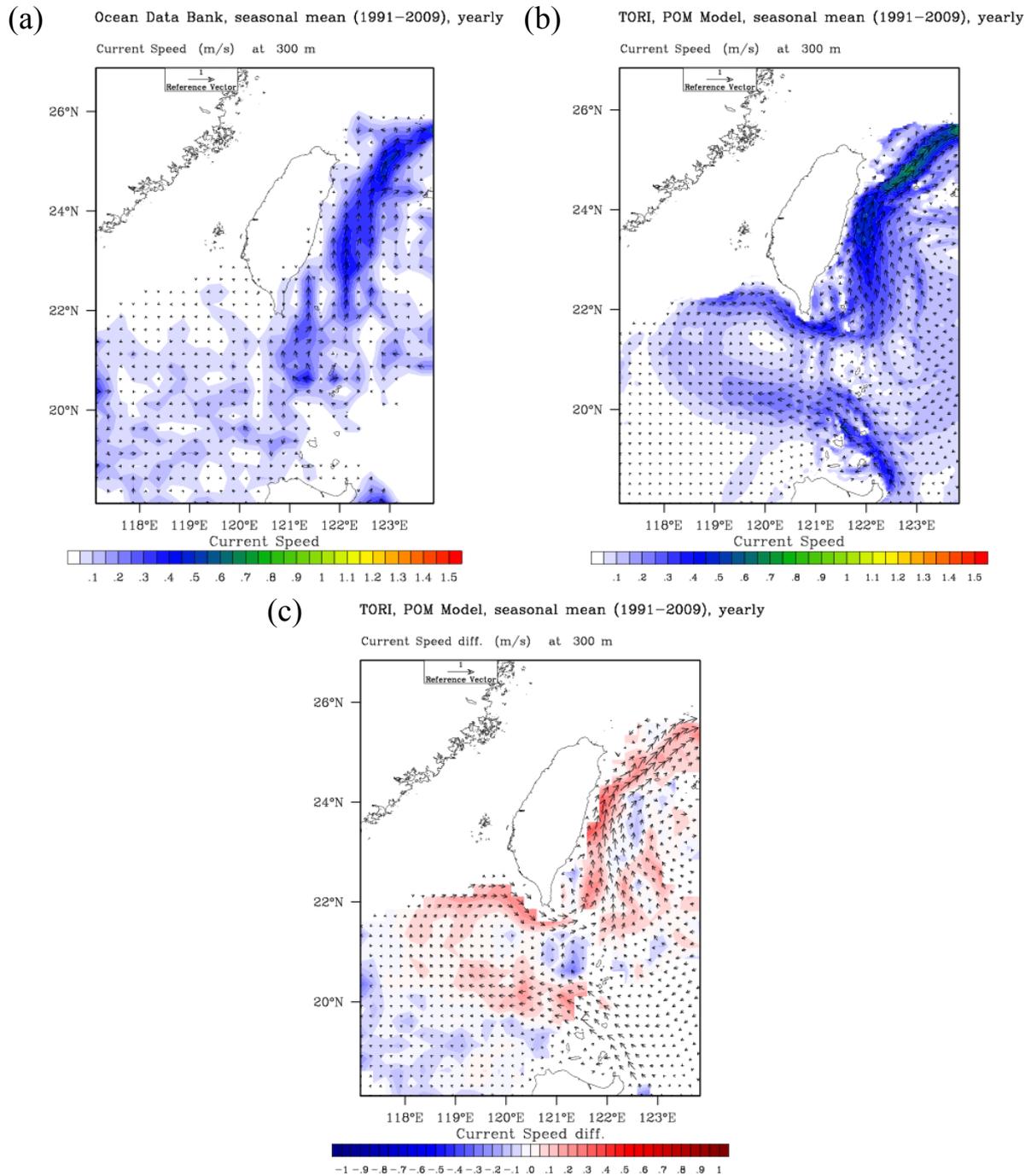


圖 4-6(續) 台灣海域之年平均流速流向比較圖(水深 300 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

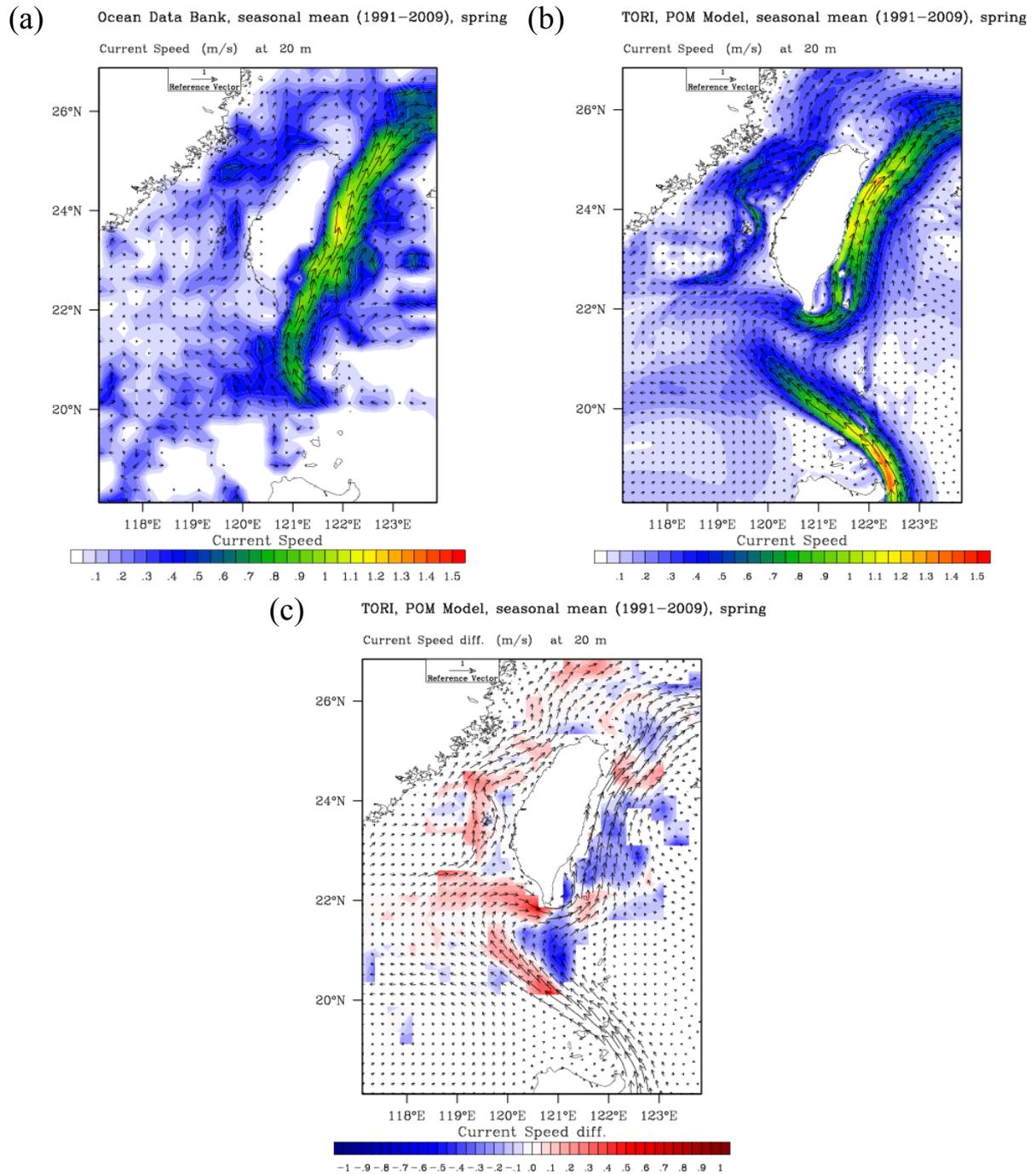


圖 4-7 台灣海域之春季平均流速流向比較圖(水深 20 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

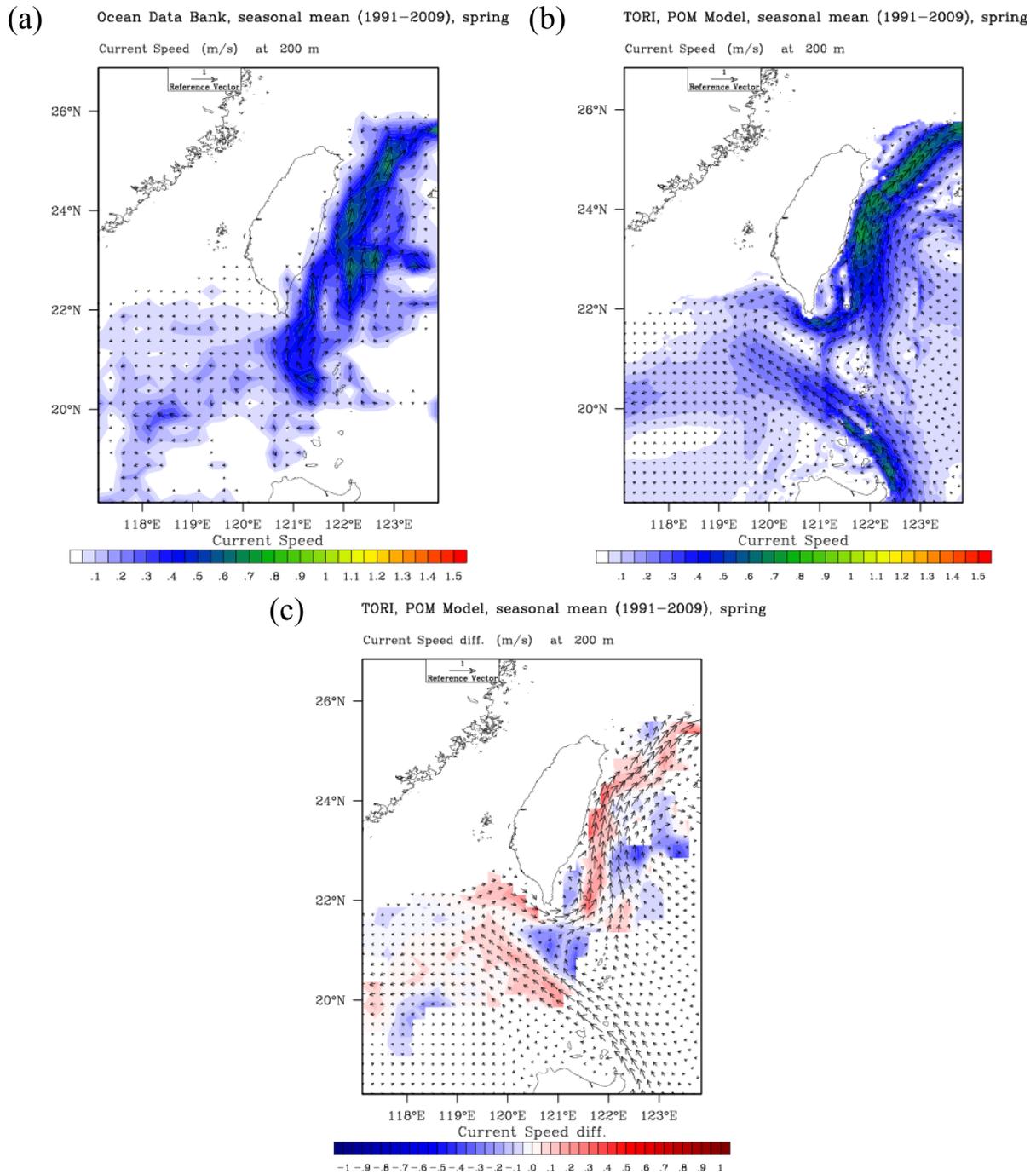


圖 4-7(續) 台灣海域之春季平均流速流向比較圖(水深 200 公尺)；(a) 國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

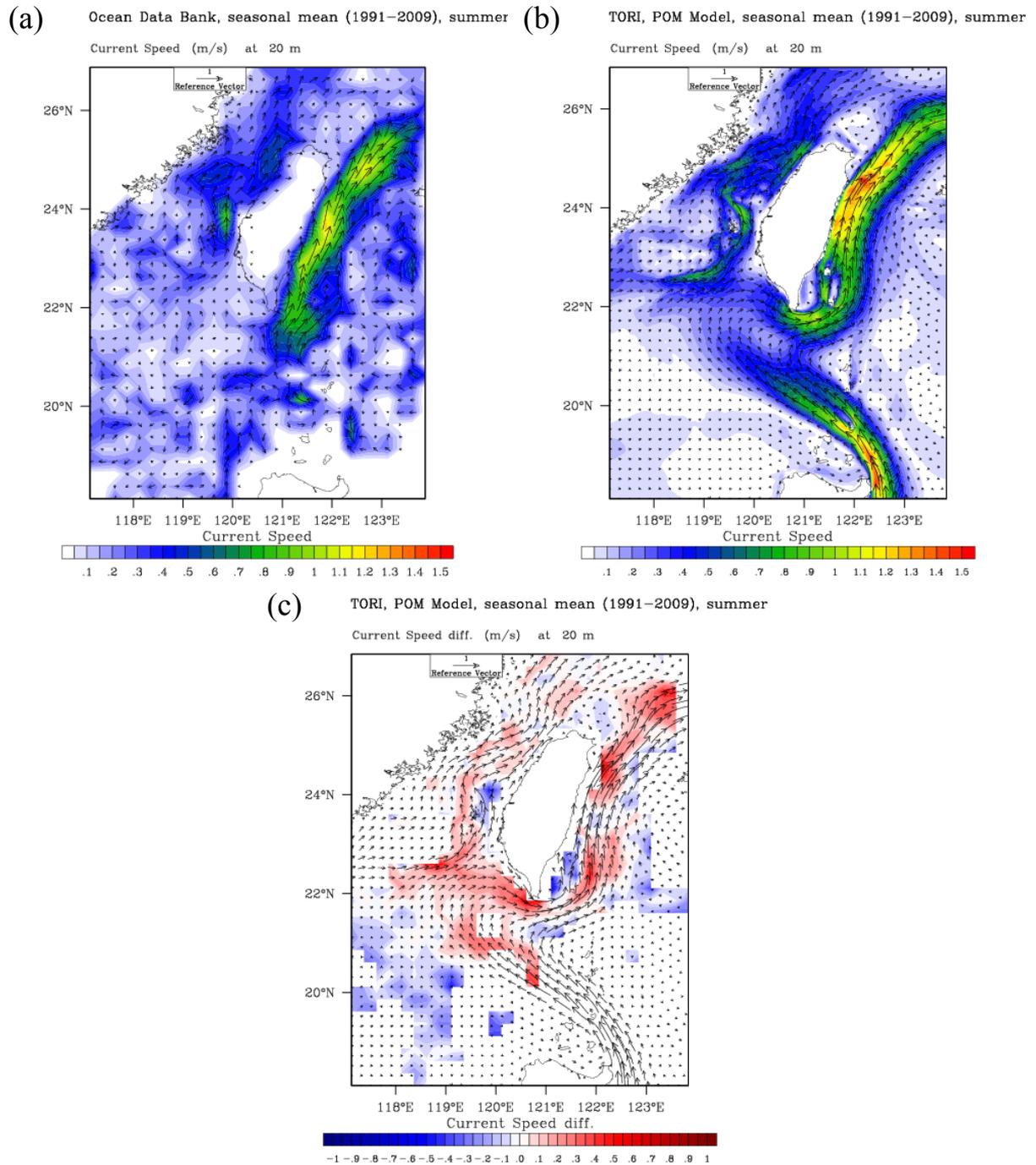


圖 4-8 台灣海域之夏季平均流速流向比較圖(水深 20 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

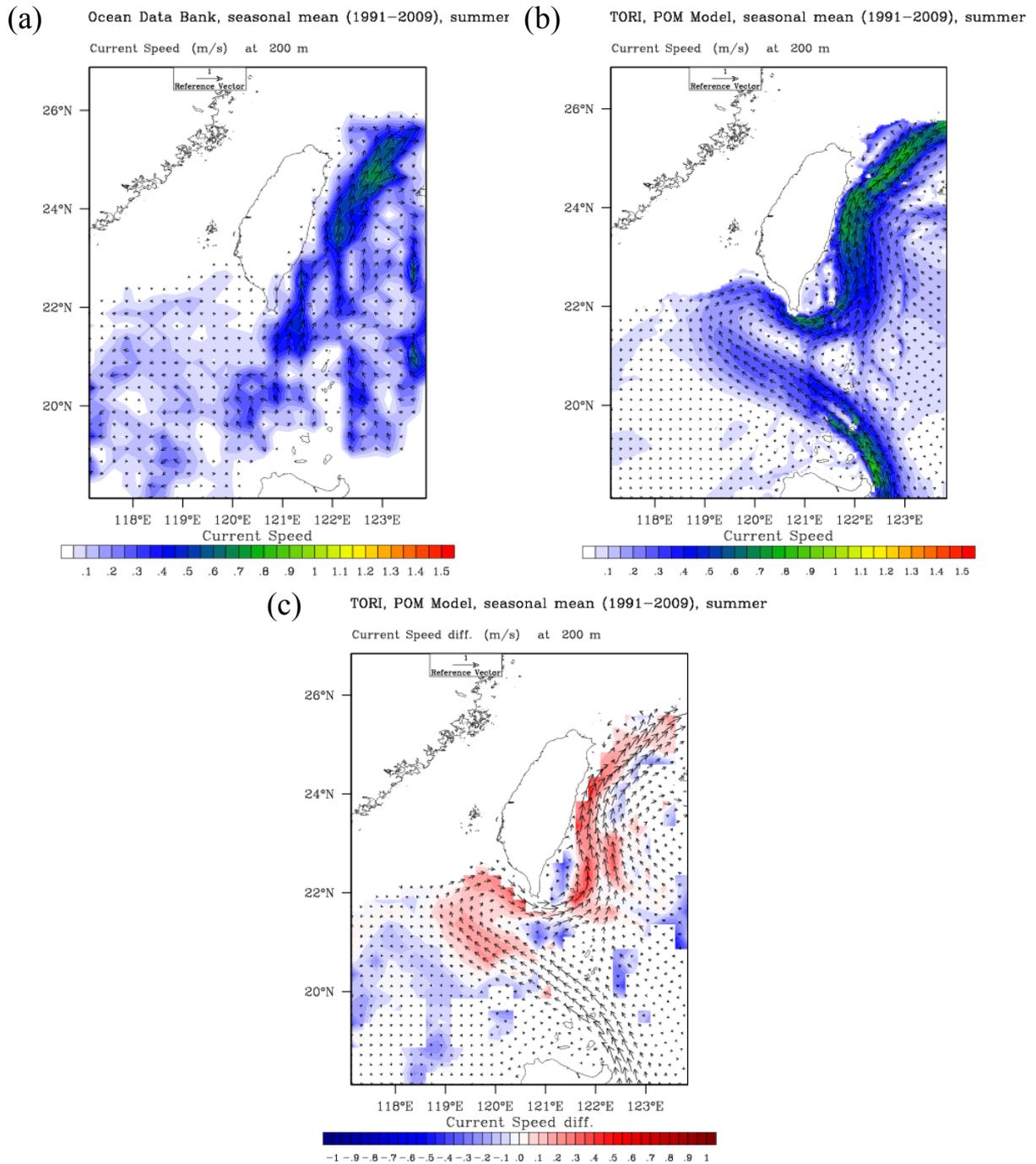


圖 4-8(續) 台灣海域之夏季平均流速流向比較圖(水深 200 公尺)；(a) 國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

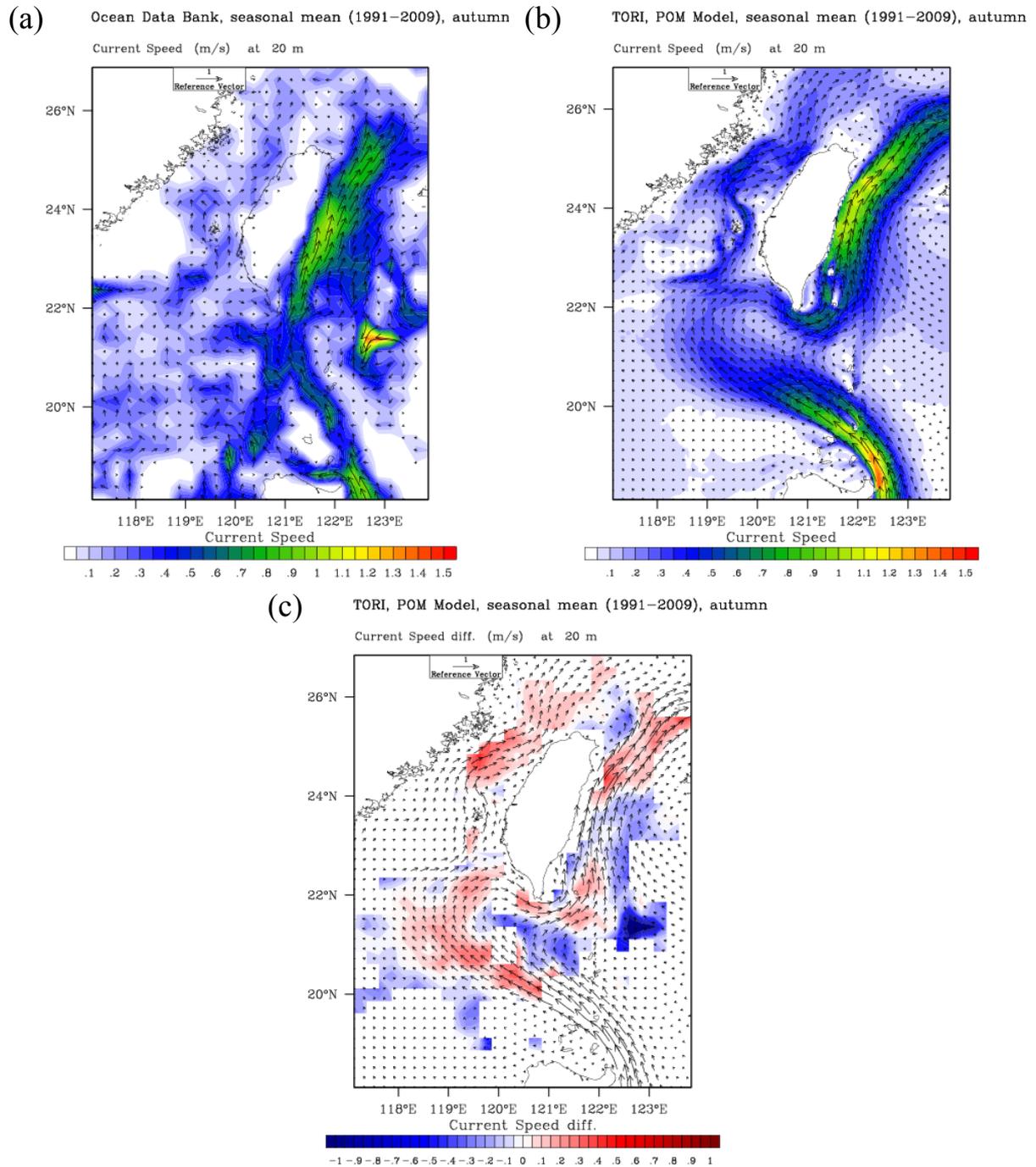


圖 4-9 台灣海域之秋季平均流速流向比較圖(水深 20 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

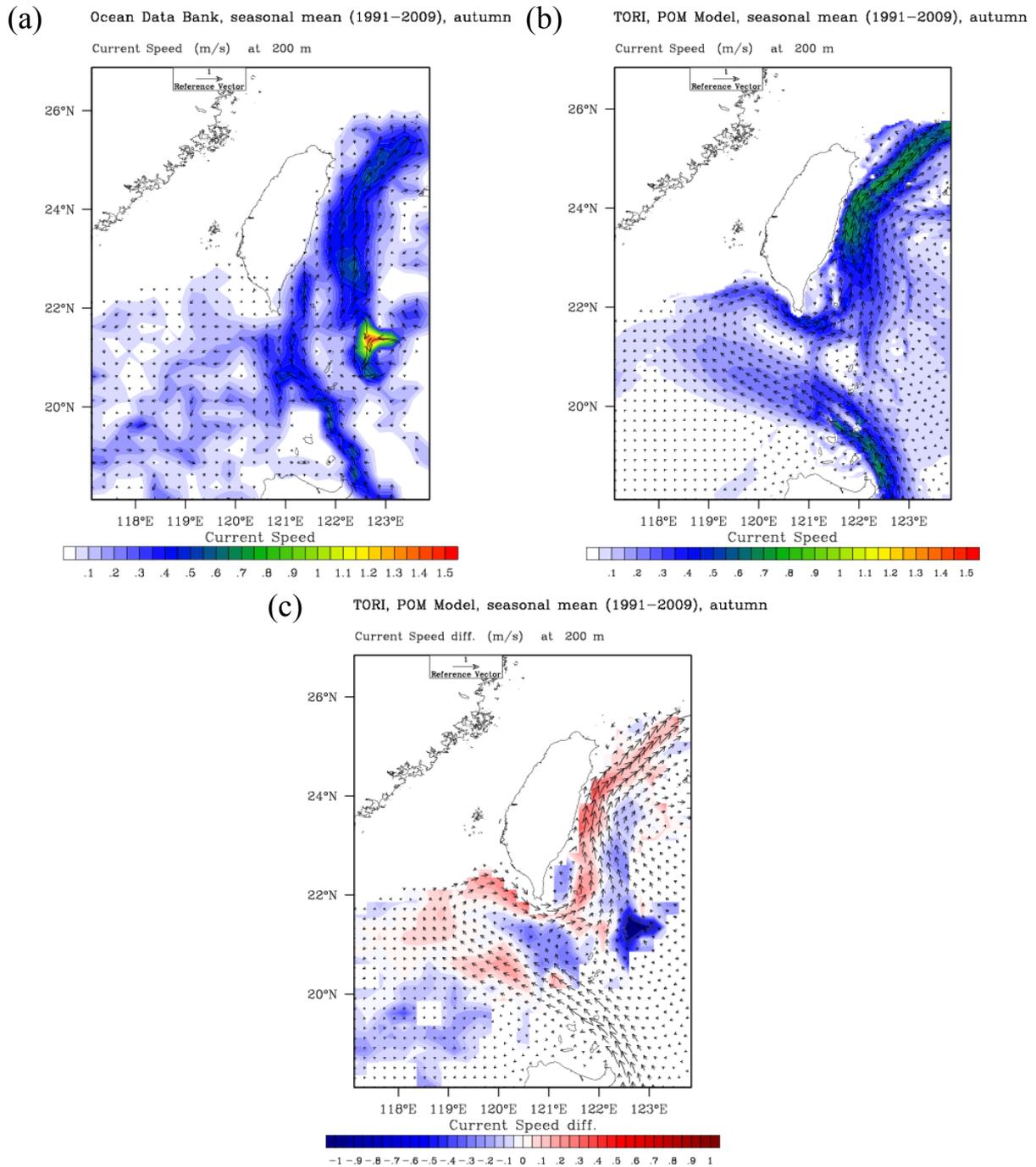


圖 4-9(續) 台灣海域之秋季平均流速流向比較圖(水深 200 公尺)；(a) 國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

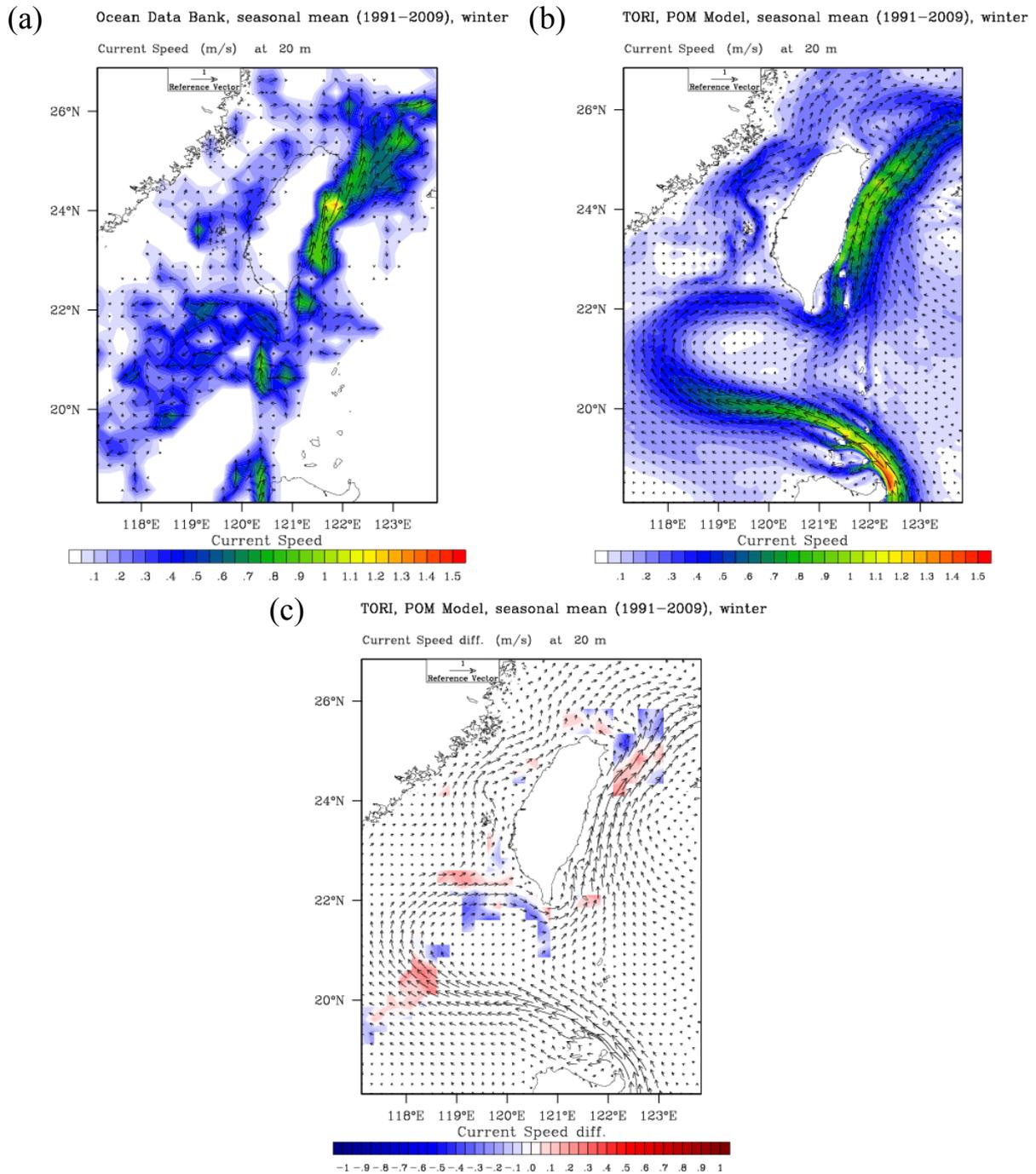


圖 4-10 台灣海域之冬季平均流速流向比較圖(水深 20 公尺)；(a)國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

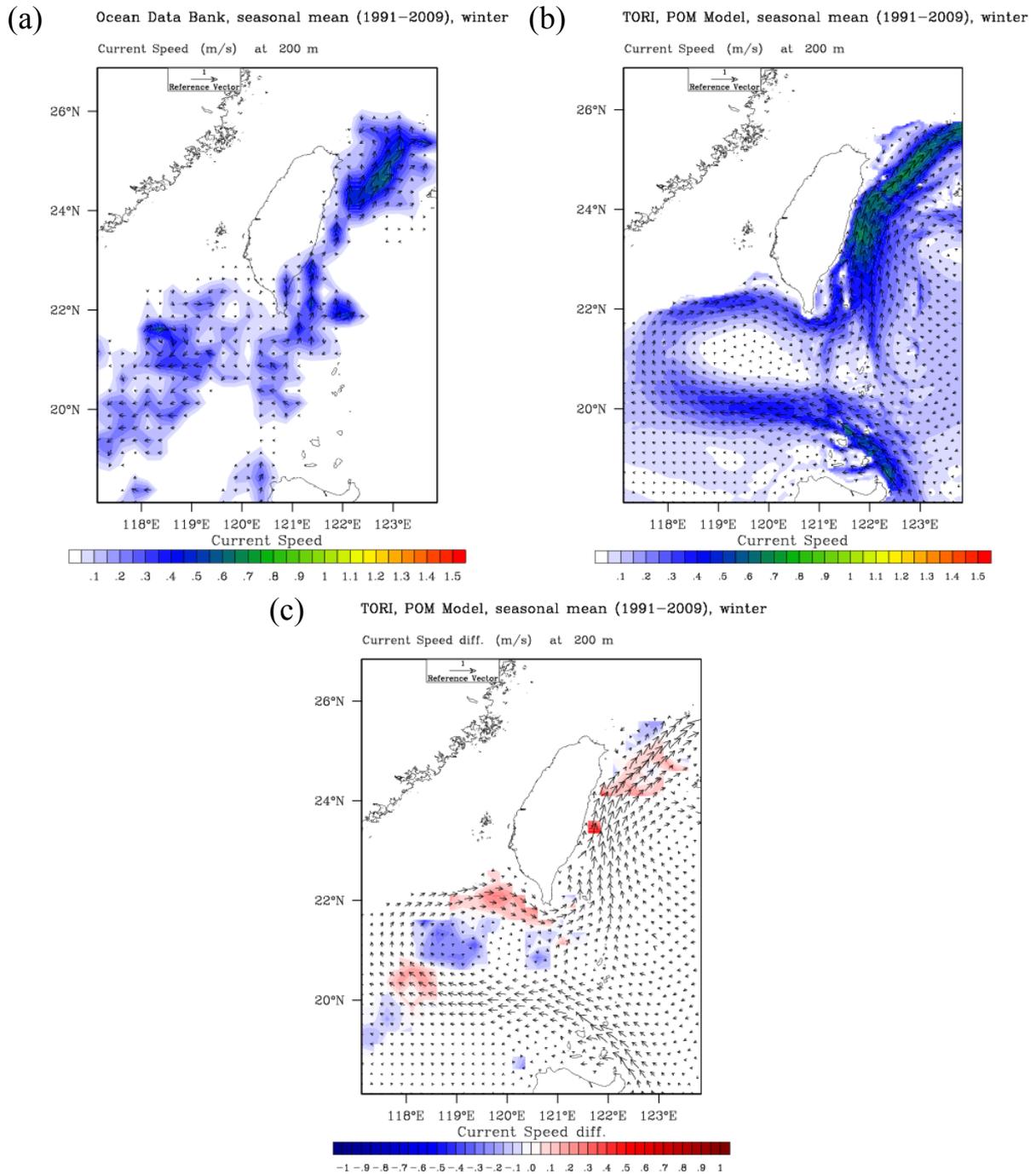


圖 4-10(續) 台灣海域之冬季平均流速流向比較圖(水深 200 公尺)；(a) 國科會海洋學門海流資料庫(0.25 度)，(b)台灣海域 N2 模式(0.04 度)，(c)兩者流速差距(0.25 度)

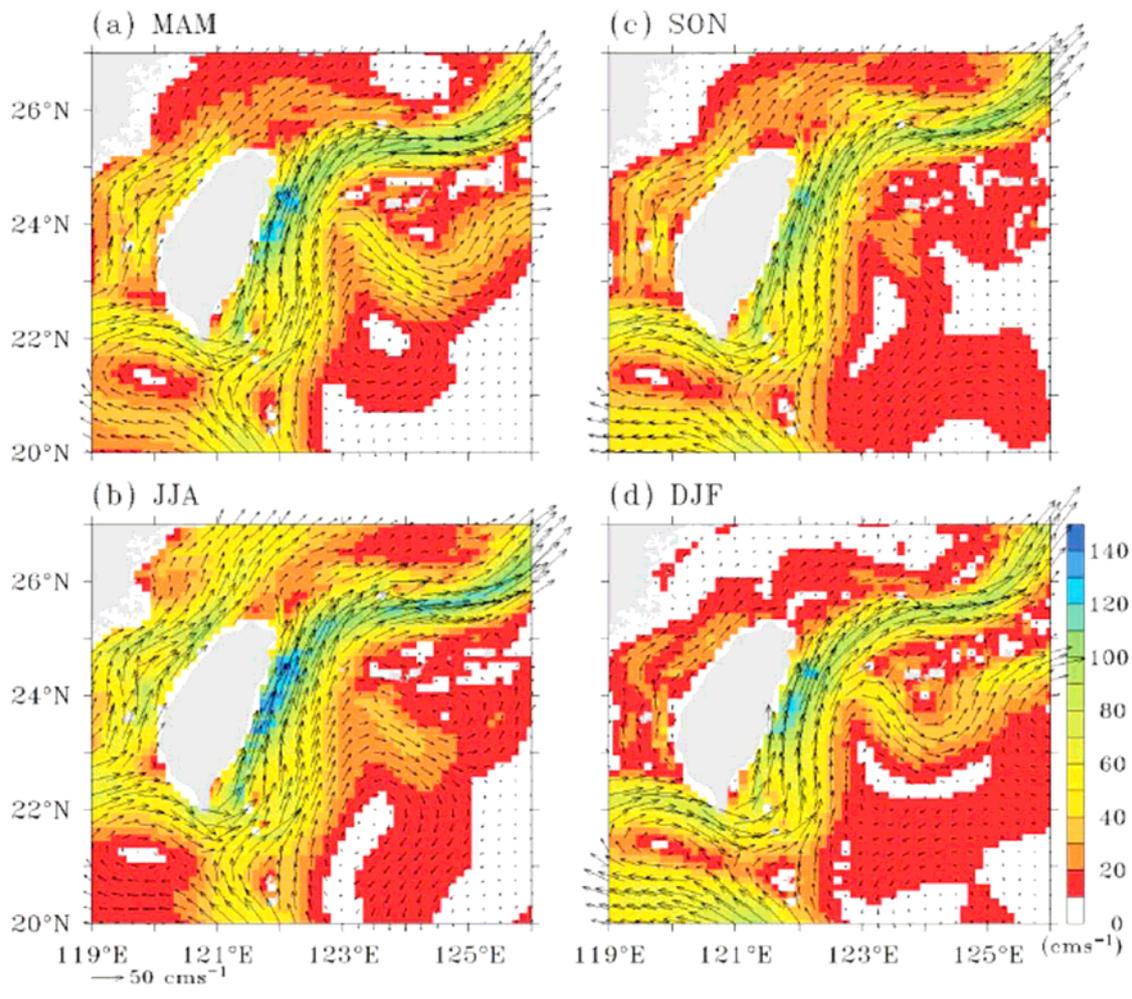


圖 4-11 台灣附近海域各季之水深 0 至 200 公尺平均流速分布圖(流矢單位為  $50 \text{ cm/s}$ ；Hsin 等人，2008；(a) March-April-May (MAM)，(b) June-July-August (JJA)，(c) September-October-November (SON)，(d) December-January-February(DJF))

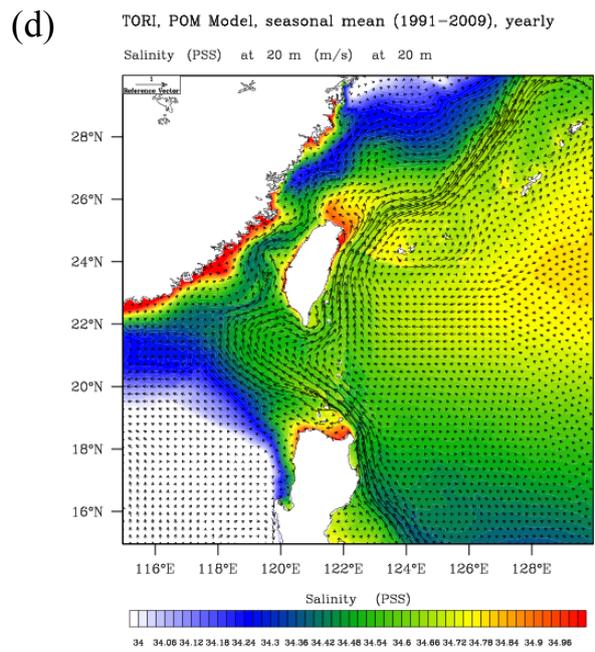
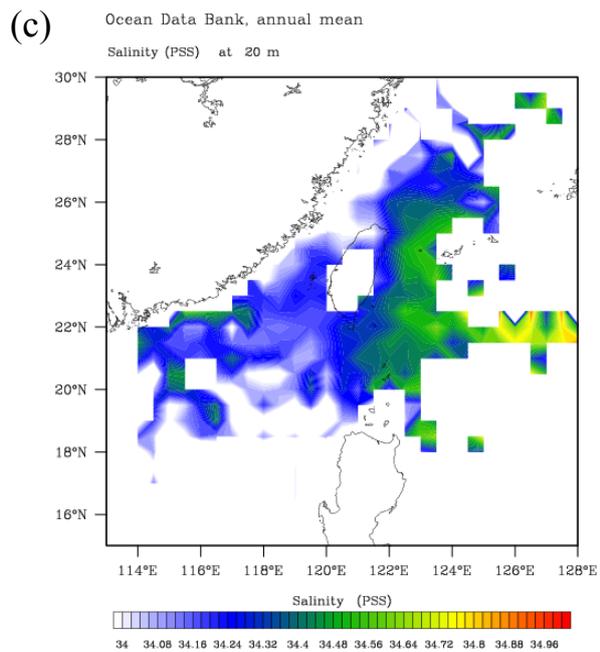
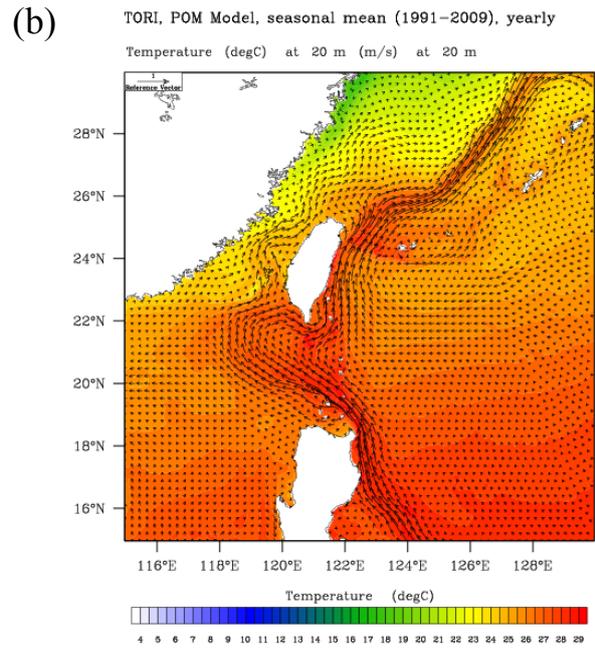
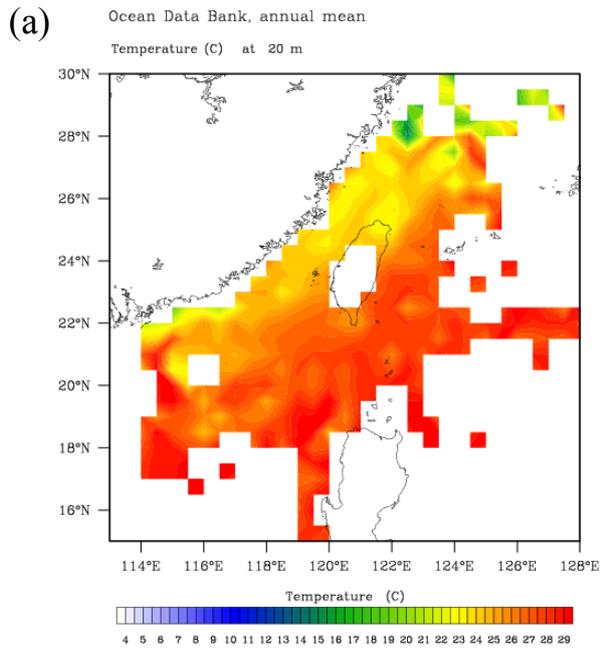


圖 4-12 台灣海域模式之年平均溫度、鹽度比較圖(水深 20 公尺)；(a) 海洋水文溫度資料庫，(b)台灣海域 N2 模式溫度結果，(c)海洋水文鹽度資料庫，(d)台灣海域 N2 模式鹽度結果

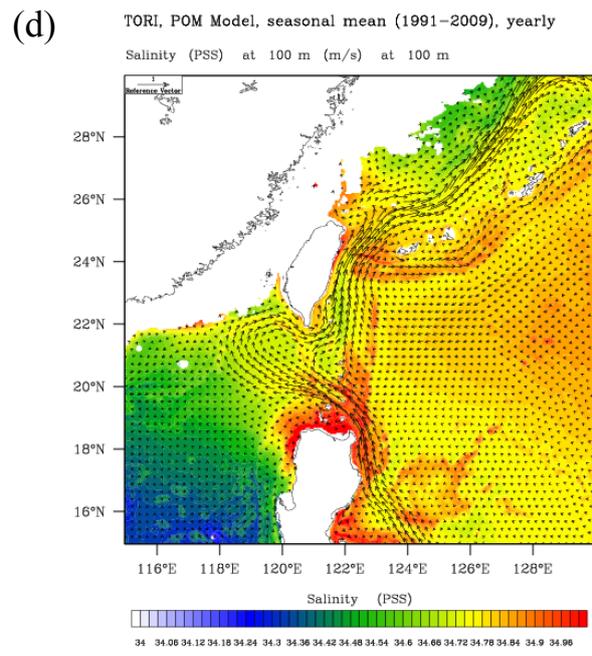
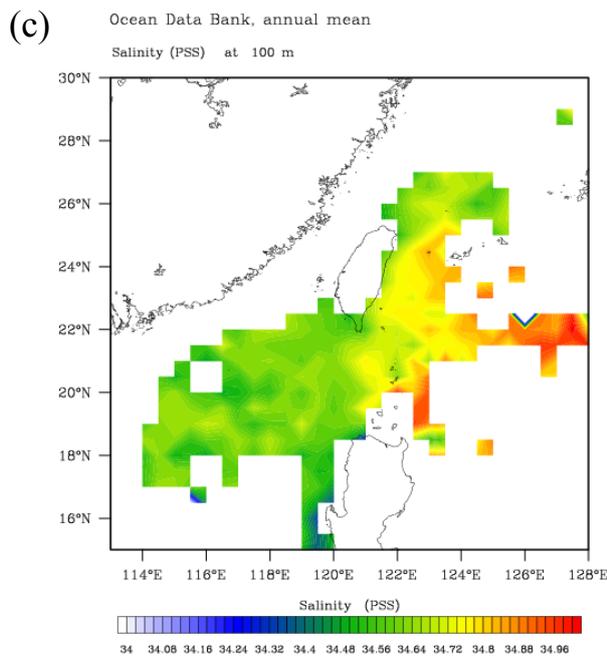
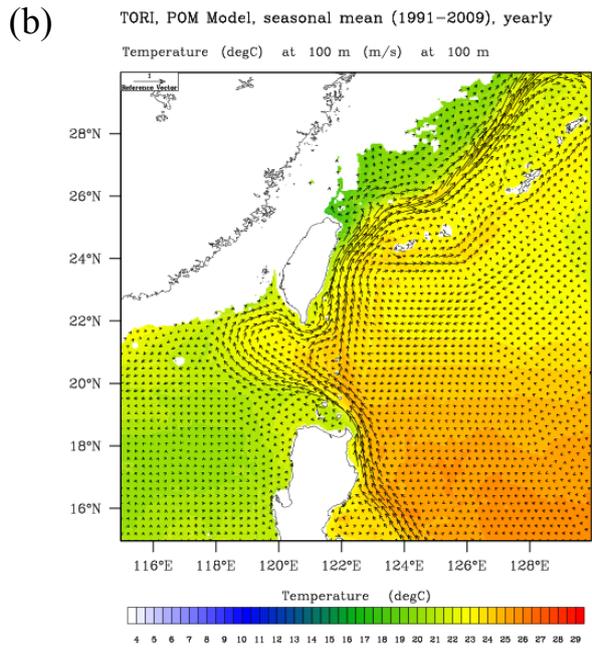
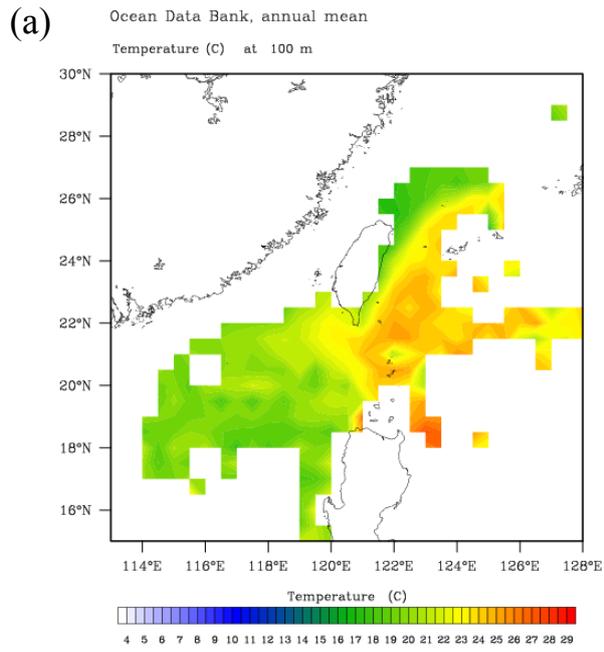


圖 4-12(續) 台灣海域模式之年平均溫度、鹽度比較圖(水深 100 公尺)；  
(a)海洋水文溫度資料庫，(b)台灣海域 N2 模式溫度結果，(c)海洋水文  
鹽度資料庫，(d)台灣海域 N2 模式鹽度結果

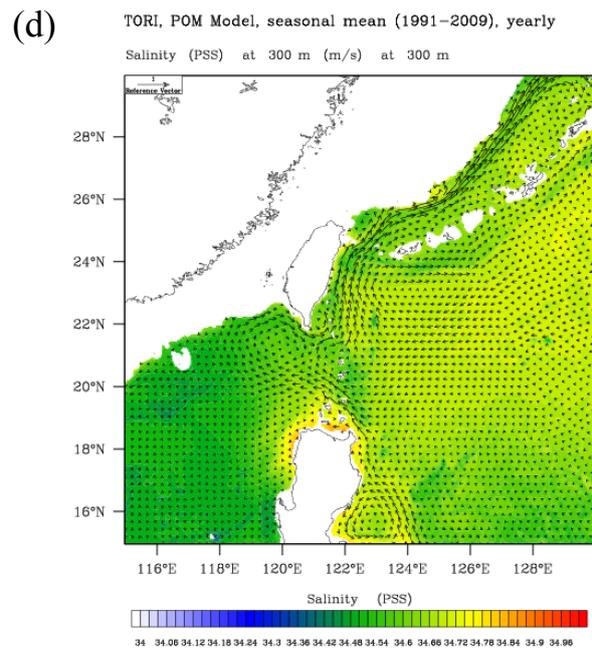
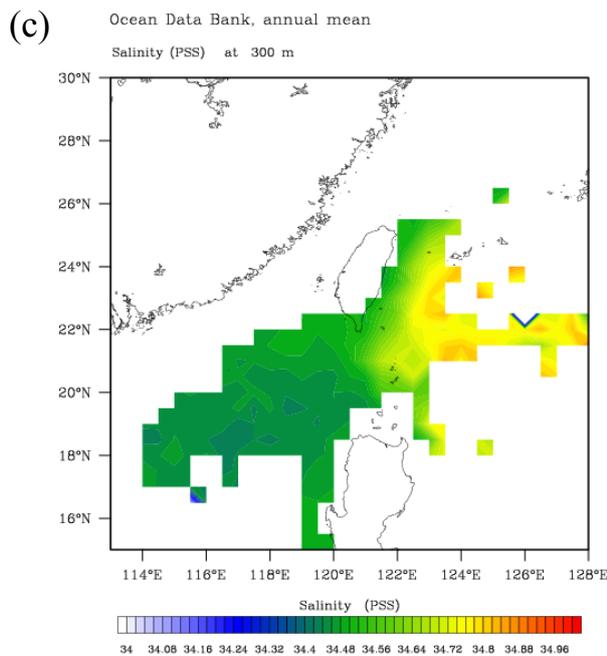
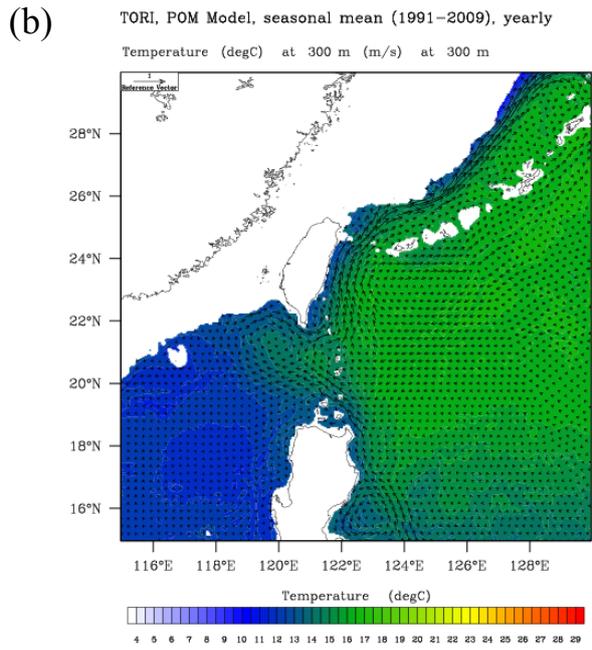
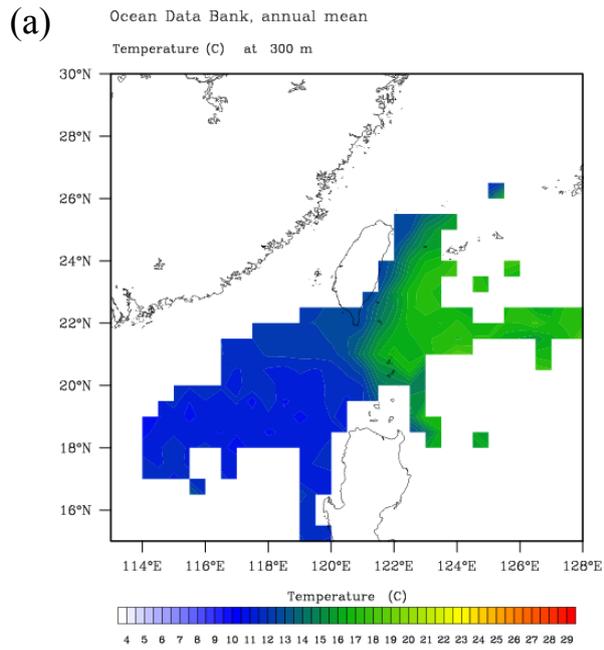


圖 4-12(續) 台灣海域模式之年平均溫度、鹽度比較圖(水深 300 公尺)；(a)海洋水文溫度資料庫，(b)台灣海域 N2 模式溫度結果，(c)海洋水文鹽度資料庫，(d)台灣海域 N2 模式鹽度結果

在 99 年度「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」(廖等人, 2011)計畫中, 曾利用浮標追蹤來驗證模式之合理性, 由於浮標追蹤是根據海流流速大小與產生之拖曳力成正比之關係來量測海流, 利用浮標上所裝載的無線電或衛星發報器, 回傳浮球上儀器所量測到的資訊, 常用於了解海流分佈。在 99 年度計畫成果中可知, 若要進行浮標追蹤模擬, 高時空解析度的模式結果是必須的, 若模式的對於海流現象的解析不適切, 則浮標軌跡誤差會隨著時間增加而持續累積, 造成模式所估計之軌跡與實測軌跡會相差甚遠。由於本計畫之海流模式持續經過多年建置, 嘗試許多計算方式與模式修正, 在臺灣海域與西北太平洋黑潮流動現象的描述已經具有相當之可信度, 故在本年度計畫修正海流模式計算條件與方式後, 利用 99 年度浮標追蹤驗證模式準確性之方式, 重新檢視本年度修改海流模式後之結果。

本計畫所採用的數據為美國邁阿密的大西洋海洋與氣象實驗室 (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, AOML) 於全球浮標計畫 (Global Drifter Program) 所建置的資料庫, 資料時間由 1979 至 2009 年, 該計畫前身為世界海洋環流實驗-表面速度計畫 (World Ocean Circulation Experiment-Surface Velocity Programme), 計畫數據時間包括 1979 至 2007 年之計畫資料。

圖 4-13 為 2006 年 5 月 19 日內一系列之浮標追蹤結果, 由上而下由左而右分別為編號 62300、62302、62303、62304、62305 及 62309 之浮標追蹤結果, 圖中黑色實心圓點為浮標實際軌跡位置, 綠色方塊點為模式所計算之軌跡位置, 而軌跡計算方式採用廖等人(2009)之計算方式, 配合模式每天所輸出的海面流速流向資料進行浮標軌跡的計算, 模式浮標追蹤時間間隔為 6 小時, 表示 6 小時內之模式浮標速度與方向保持一定。圖中左側為 99 年度計畫成果; 右側為本(101)年度之計算成果。由圖中結果可發現, 這一系列浮標起始位置從台灣東部約為黑潮流經海域開始施放至菲律賓呂宋島北部海域, 大部分的浮標沿台灣東部海域經琉球北部向北流至日本南方海域, 而沿黑潮流動之浮

標於 T3 模式範圍內皆可合理的預測。但編號 62305 浮標之實測值卻往西流進南海海域，編號 63200 浮標之模式結果先向南流動後再沿黑潮向北流動，由此兩編號浮標可知部分海域之流動特性可能存有誤差。而根據合理的浮標追蹤結果推斷，不論是黑潮流動方向與流速於 T3 模式範圍內亦可合理模擬黑潮流動定量特性。比較本年度與 99 年度計畫成果，本年度所模擬之浮標追蹤結果略有改進黑潮離開台灣之流向，如編號 62300 浮標之結果，與編號 62304 浮標之最終結束位置，但在編號 62305 浮標往西流動之現象仍是差距很大。

圖 4-14 為 2007 年之浮標追蹤結果，由上而下由左而右分別為編號 71337、71347、63088、71351、71338 及 63190 之浮標追蹤結果，此一系列浮標施放位置皆位於台灣海峽，而浮標流動方向亦向北移動，而透過模式模擬結果所推算之浮標位置亦可合理模擬，表示本計畫之模式亦可合理掌握台灣海峽內之海流特性。在此一系列浮標追蹤模擬中，本年度計畫結果則有較明顯之改進，如日本南方與東海海域之軌跡模擬，表示本年度計畫海流模式在台灣北部海域特性掌握上較為合理。

從以上模擬結果可知，浮標追蹤模擬來驗證海流模式合理性仍有改進之空間，由於浮標在海面上除了受到海流流動影響外，其仍受到風力與波浪所產生之漂流速度等外力之影響，故除了合理的高時空解析度海流模式結果為必須條件外，或許仍必須考慮其他外力對海面漂流物之影響。大體而言，對於本計畫透過不同位置所施放之浮標追蹤軌跡的模擬顯示，本計畫所建置的 POM 洋流模式仍具有定性定量上的可信度。

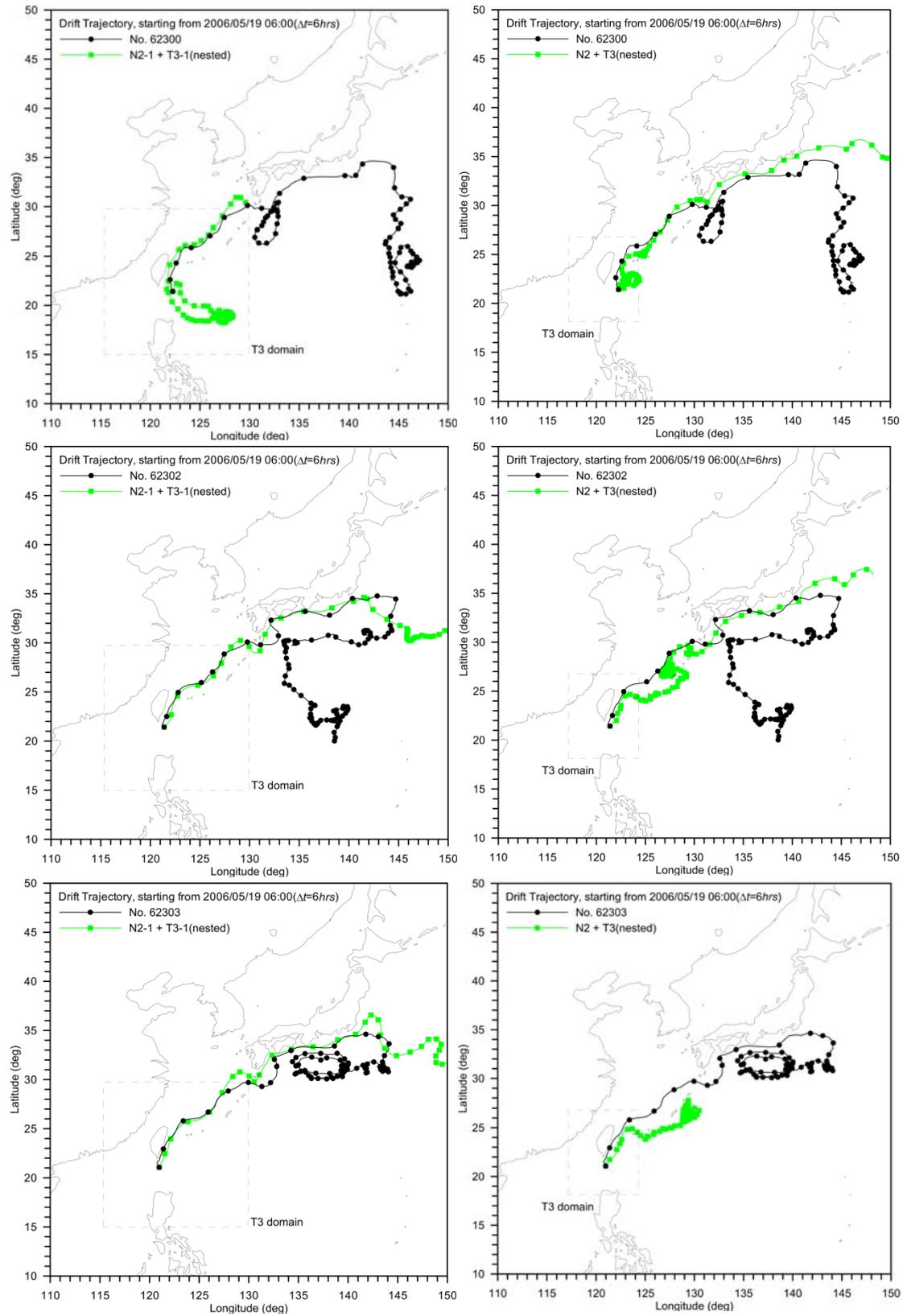


圖 4-13 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(左側：99 年；右側：101 年)

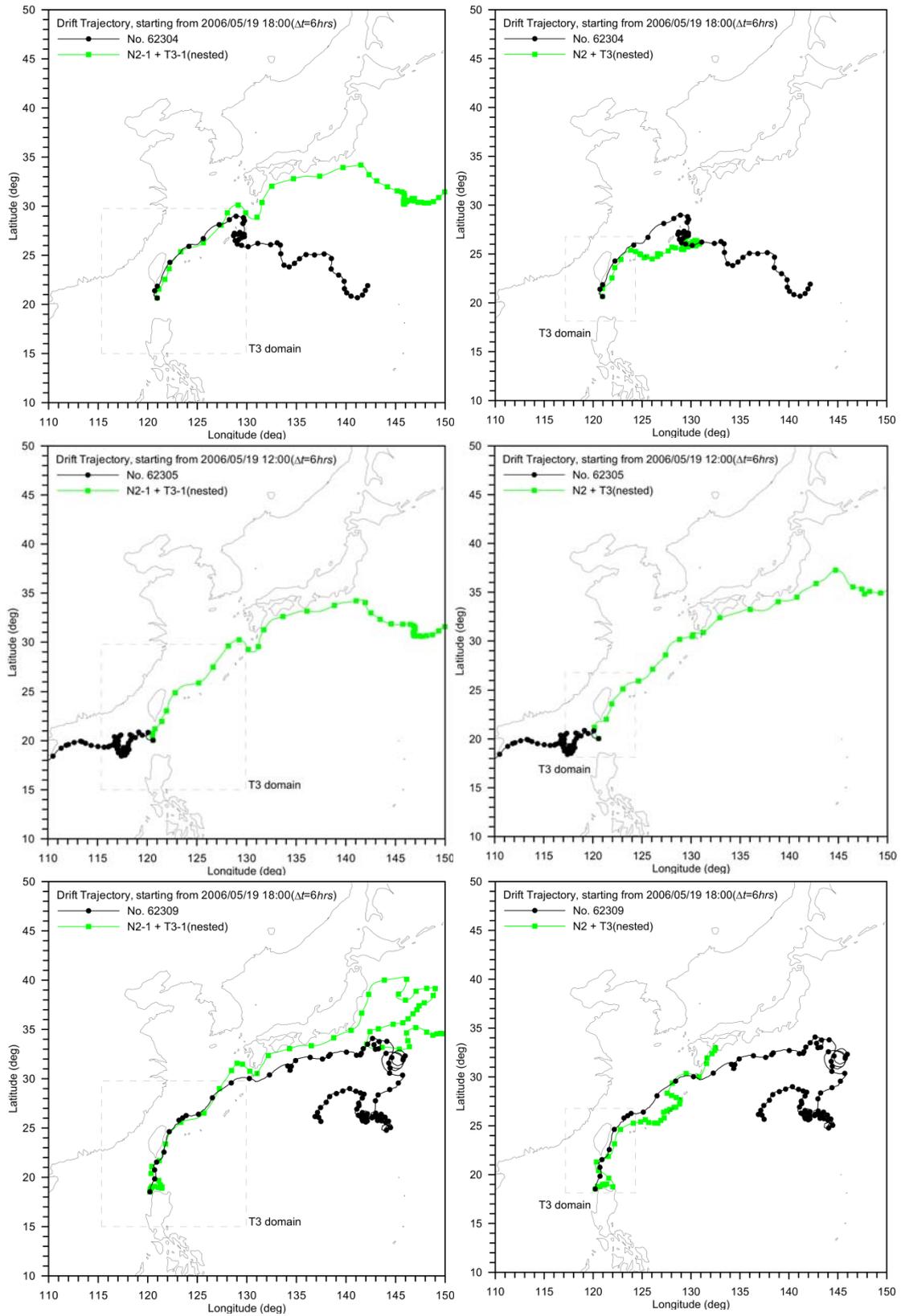


圖 4-13(續) 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(左側：99 年；右側：101 年)

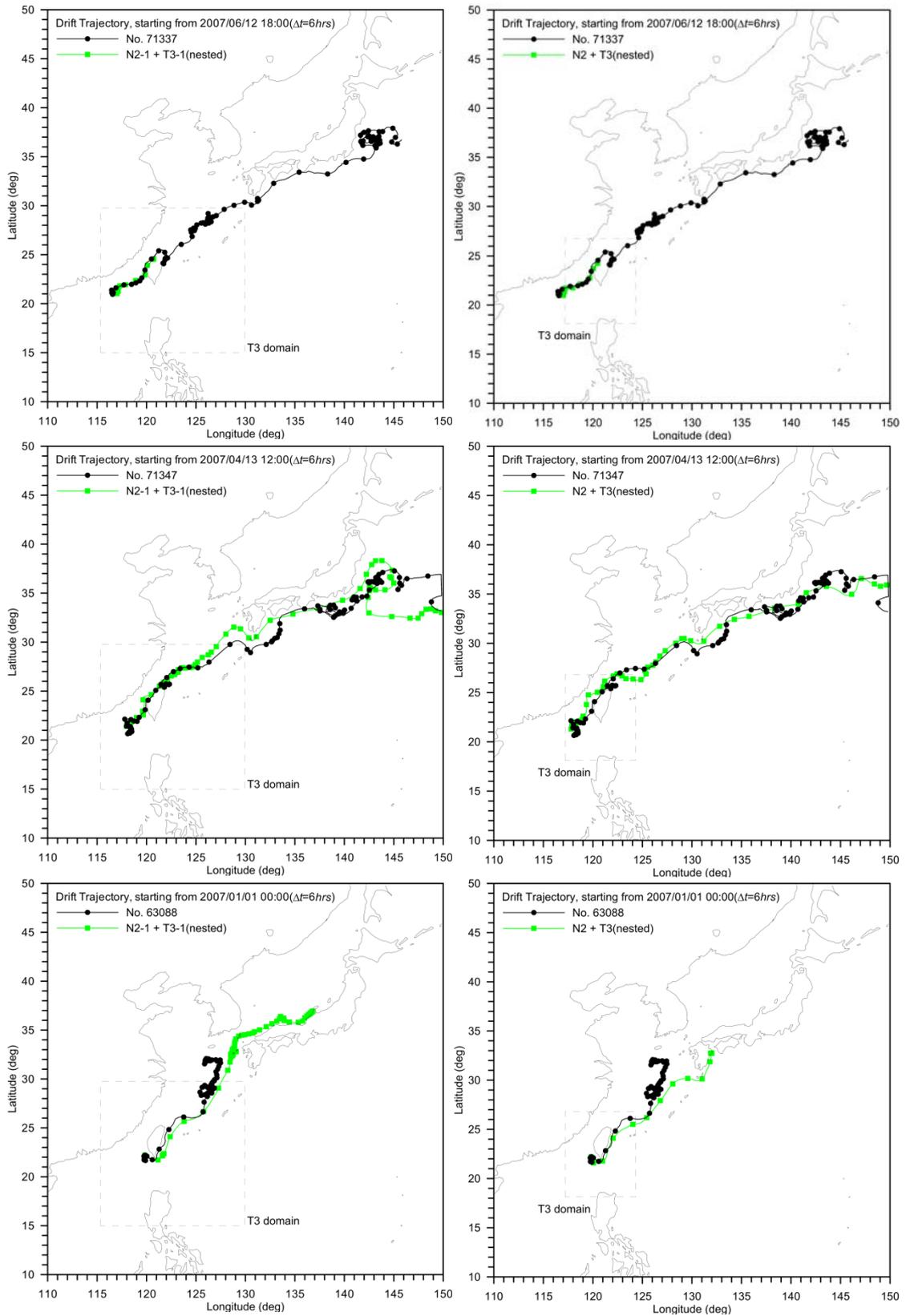


圖 4-14 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(左側：99 年；右側：101 年)

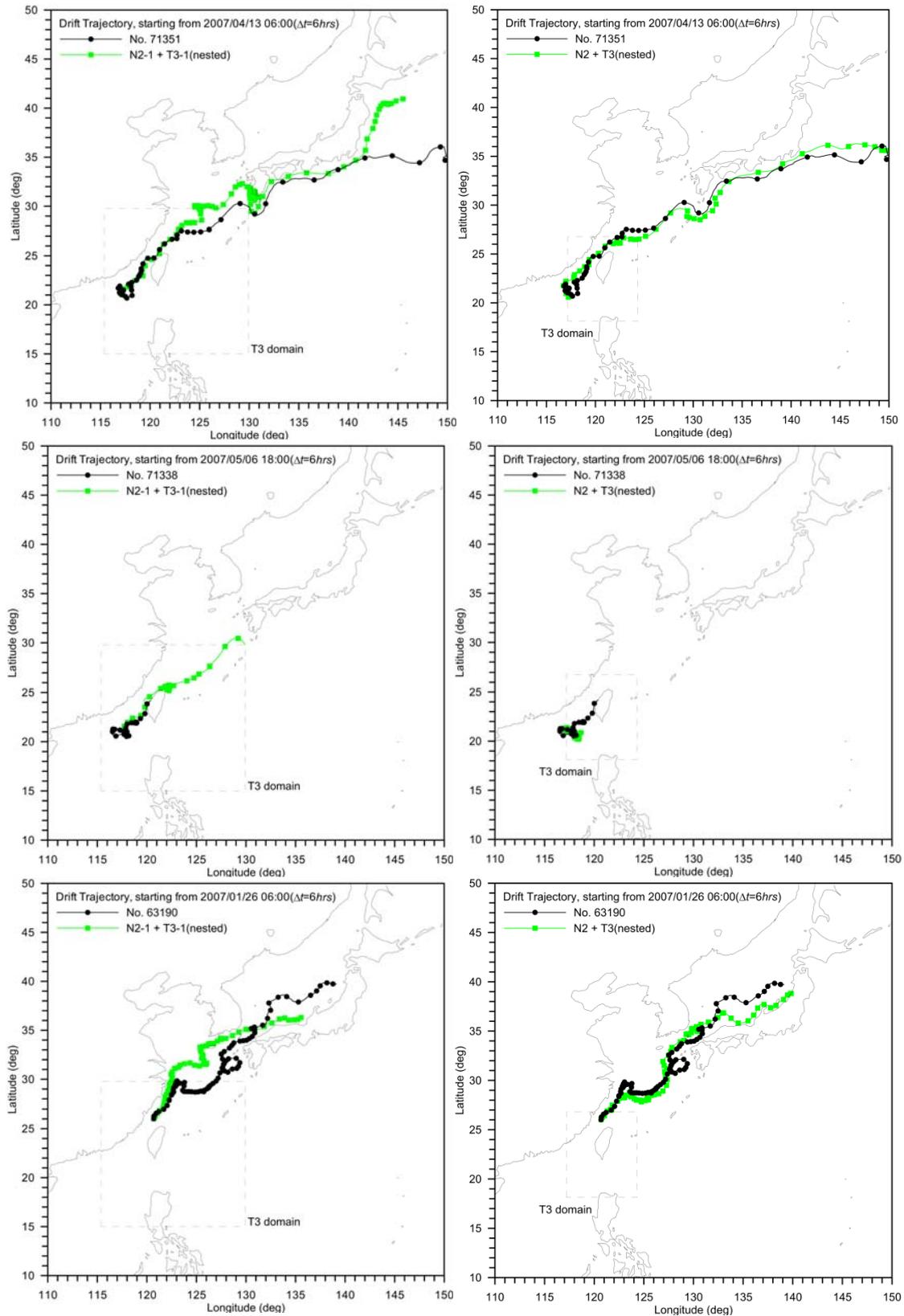


圖 4-14(續) 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(左側：99 年；右側：101 年)

#### 4.2.2 台灣海域綜合洋流與潮流驗證

在去年度「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」(廖等人, 2012)計畫中, 已驗證本計畫所建置之海流與潮流綜合效應模式可適切模擬台灣近岸海域之海潮流變化, 針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域, 利用港研中心實測數據進行模式驗證獲得合理之結果, 亦對各商港海域分析討論台灣沿岸洋流與潮流特性。並於台灣海域洋流與潮流綜合效應中發現, 台灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動。而台灣中西部海域夏季有持續向北流動現象, 而西南部海域外海有夏季向東南、冬季向西北之恆常流動現象, 而東部外海其黑潮流動現象明顯, 其應考慮洋流對此些區域海流變動特性之影響。

本年度為加強驗證台灣海域格網模擬之合理性, 利用台灣海洋科技研究中心於高屏峽谷內所施放之錨定串列所量測海流資料進行驗證, 該錨定串列主要為收集沉積物實驗, 為了解沉積物與海流關係, 在水深 690 公尺處布置一組 NORTEK 三維流速儀量測海流, 該錨定串列儀器佈置圖如圖 4-15 中所示。本次量測時間為 2009/04/16 16:00 至 2009/05/18 15:00, 海流量測時間間距為 10 分鐘, 其位置於東經 120 度 16.392 分、北緯 22 度 21.156 分, 如圖 4-16 紅色三角點所示。圖 4-17 為錨定串列於水深 690 公尺處所量測之東西、南北流速與模式模擬結果之比較圖, 圖中黑色實線為量測結果, 紅色實線為模擬結果, 圖中亦有模擬結果之水位時序列變化圖。由圖中可知, 在大潮期間, 東西與南北向流速變化趨勢具有合理之一致性, 其流向為東北-西南向與高屏峽谷走向一致, 且流速大小尺度亦有一致性; 但小潮期間之比較來看, 由於流速較大潮期間為小, 而實測與模擬結果則呈現比較散亂的結果, 其可能與大潮期間天文潮驅動力較強形成流速變動週期性較明顯, 模式亦容易模擬出此一現象。再由圖 4-18 不同深度之東西、南北分量流速分布圖中可看出, 圖中黑色與紅色點分別表示實測與模擬結果, 其模擬結果可合理的表現與實測值相同尺度大小的流向與流速, 而圖中藍色點所表示的 30 公尺深處之流速亦可看出, 高屏峽谷內之流

向為沿著峽谷方向，表面流向為沿著海岸線西北-東南走向，而模式可合理的表現峽谷地形水深中，海流流向劇烈變化的特性。再由圖 4-19 之高屏峽谷水深 690 公尺處東西、南北分量流速比較散布圖，圖中黑色點表示東西分量之比較，紅色點表示南北分量之比較，橫軸表示實測值流速，縱軸表示模式結果流速。由圖中黑點分布約呈現 45 度可知，東西分量之流速模擬略比南北分量之流速為佳。由於觀測位置之高屏峽谷走向略以東西向為主，故東西分量流速亦較大，模式在東西分量之模擬亦較佳，而南北分量流速較小，模擬結果仍有改善空間。根據以上比較結果，雖然模式在小潮期間流速較小的時候模擬結果較差，但總體而言，在海流流速大小尺度變化趨勢與流向模擬仍具有一定合理性，表示本計畫所建置之綜合洋流與潮流效應模式，在台灣海域地形變化劇烈之高屏峽谷內亦可適切模擬海潮流特性。

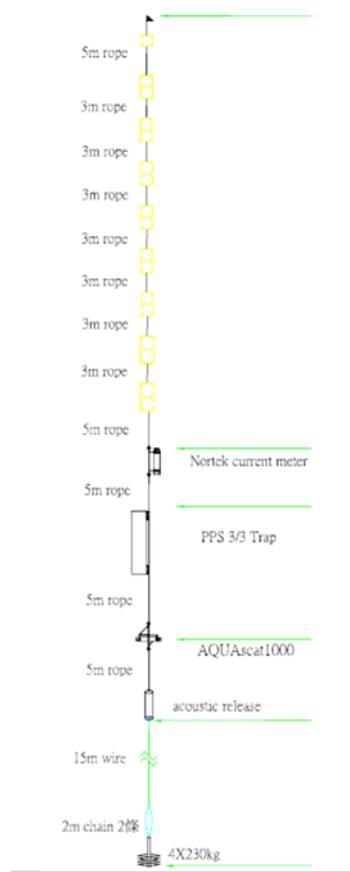


圖 4-15 海洋中心錨定串列觀測儀器佈置圖(AQUA 僅量測單點濃度)

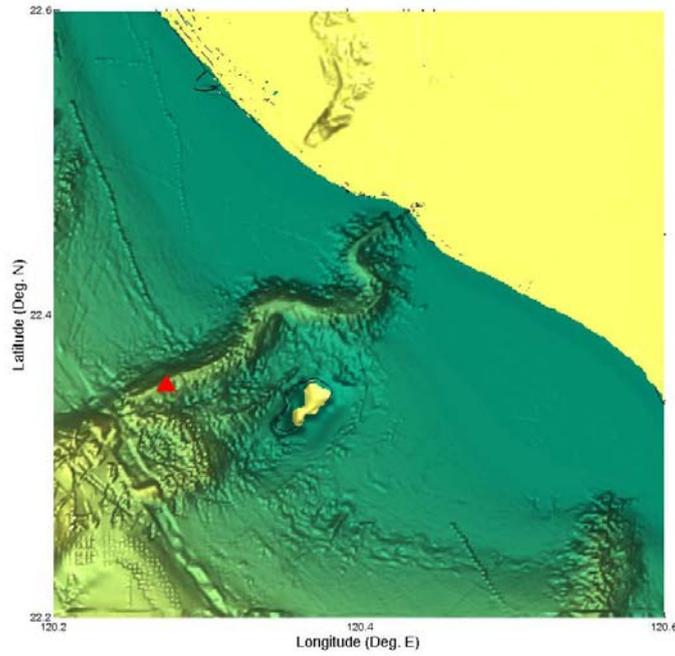


圖 4-16 海洋中心錨定串列佈放位置圖

Site: t8kp at the 690m depth, 2009/04/16~2009/5/16

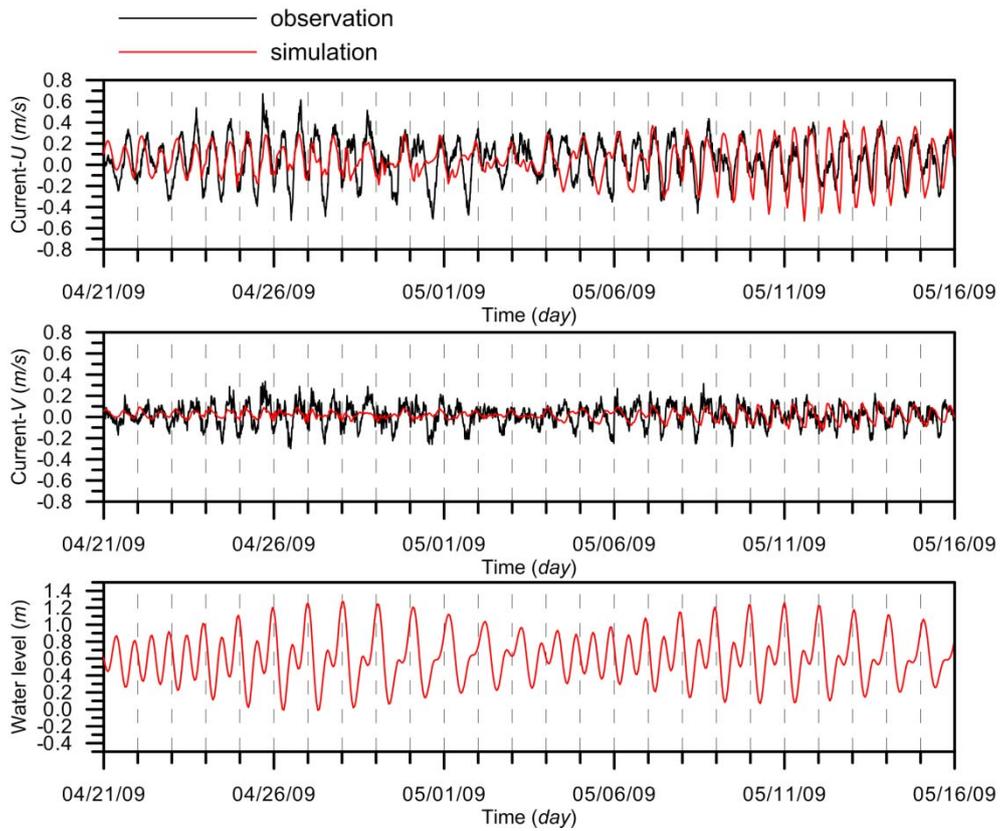


圖 4-17 高屏峽谷錨定串列之觀測海流與模擬結果比較圖

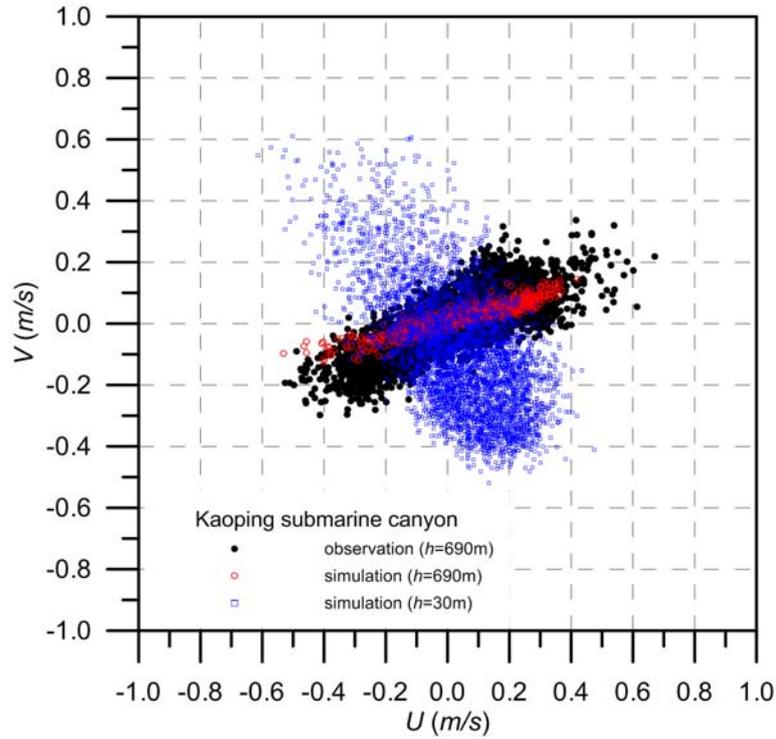


圖 4-18 高屏峽谷處不同深度之東西、南北分量流速比較圖

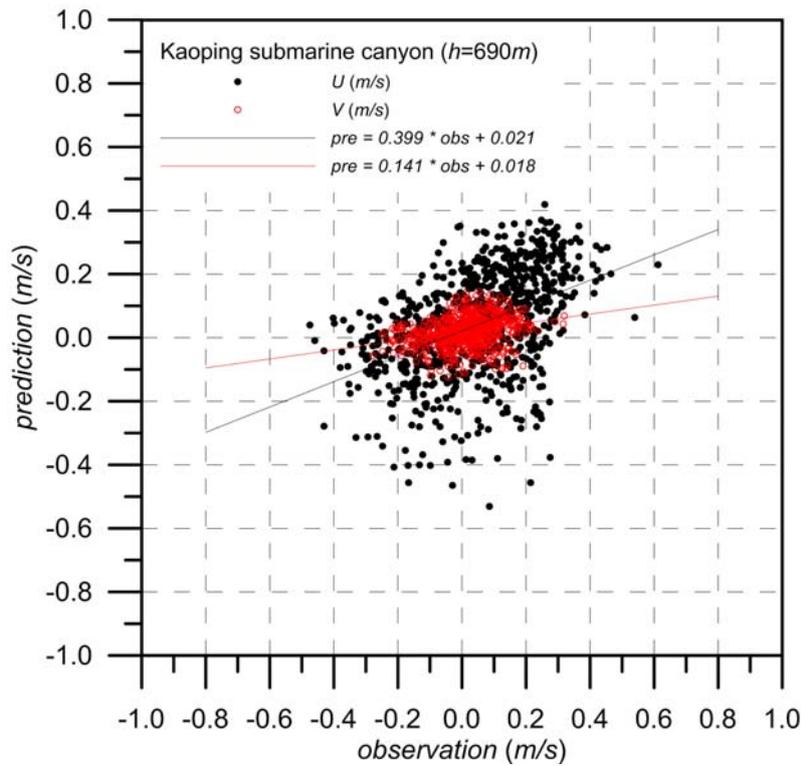


圖 4-19 高屏峽谷處東西、南北分量流速比較散布圖

### 4.3 台灣海域潮位推算改善與驗證

由於去年度結果顯示，台灣海峽中段海域之潮位推算呈現較大誤差，故本年度計畫針對潮位推算進行改善與討論，根據以上設定進行台灣海域綜合洋流與潮流效應之模擬，計算模擬時間由 2009/01/01 00:00 至 2009/12/31 23:00 共計一年，模式之參數如表 4-3 所述，不論二維、三維所有本節所使用的測試模式皆使用相同的模式參數，除了某些參數不會影響二維模式計算外。為了測試誤差可能原因，故利用 4.2 節中所述之 T3 格網、T3-1 格網兩種不同範圍與解析度格網進行模擬測試，並使用水深平均二維(2D)與三維(3D)潮汐 POM 模式進行設定條件之交叉測試，並增加一組洋流與潮流綜合效應之測試條件 (T3-N2, 3D model nested in the N2 model)，以上所有模式之潮位邊界條件均由 NAO99 全球潮汐模式提供邊界上之潮汐水位，而潮位實測資料為港研中心於安平、花蓮、高雄、基隆、蘇澳及台中港之潮位測站實測值，測試比較時間為 2009 年整年。

為了更明確量化觀測與模擬結果之關係，並探討各種模擬方式對於潮位與海流模擬之準確性，故使用多種統計參數來幫助分析，其中標準偏差(Standard Deviation)參數表示為，

$$SD_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$SD_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (4-2)$$

其中  $y_i$  表示模擬值， $x_i$  表示觀測值， $N$  為資料點數， $\bar{y}$  為模擬值之平均值， $\bar{x}$  為觀測值之平均值。平均偏差(BIAS)參數表示為，

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) = \bar{y} - \bar{x} \dots\dots\dots (4-3)$$

BIAS 參數表示觀測值平均與模擬值平均之差值，負值表示模擬值小於

觀測值。而平均絕對誤差(mean absolute error, MAE)表示為，

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - x_i| \dots\dots\dots (4-4)$$

均方根誤差(root mean square error, RMSE)表示為，

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \dots\dots\dots (4-5)$$

分散係數(scatter index, SCI)表示為，

$$\text{SCI} = \frac{\text{RMS}}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N(\bar{x})^2}} \dots\dots\dots (4-6)$$

而 SCI 值可視為平均觀測值除以均方根誤差之正規化均方根誤差。而共變異數(covariance coefficient, COV)表示為，

$$\text{COV} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \dots\dots\dots (4-7)$$

該參數表示兩個個變數間同時變動的情形，若兩變數之離差期望值乘積大於 0，則兩變數有「正」相關的傾向；反之，則為「負」相關。而觀測值與模擬值之相關係數(correlation coefficient, COR)表示為，

$$\text{COR} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (4-8)$$

圖 4-20 為各種不同推算方式所模擬之潮位與實測值比較結果之統計參數比較表，圖中紅色長條表示 T3-1 (2D model)之結果，其為使用 T3-1 格網之二維潮汐 POM 模式所計算之結果；藍色長調表示 T3 (2D model)之結果，其為使用 T3 格網之二維潮汐 POM 模式所計算之結果；綠色長條表示 T3-1 (3D model)之結果，其為使用 T3-1 格網之三維潮汐

POM 模式所計算之結果；黃色長條表示 T3 (3D model)之結果，其為使用 T3 格網之三維潮汐 POM 模式所計算之結果；淺藍色長條表示 T3-N2 (3D model nested in the N2 model)，其為使用 T3 格網之三維綜合潮汐與洋流效應之 POM 模式推算結果。由圖中比較結果可知，除基隆測站之外，各種模擬方式在 COR 參數比較中差距並不大，不論是格網範圍大小與二維或三維潮汐模式所推算結果之 COR 之都高於 0.8，而基隆測站在 T3-1 格網之三維模式中具有較佳之模擬結果，其可表示模擬潮位與實測值具有變化趨勢一致的特性，亦可說明兩者之間所存在之相位差應在合理範圍內。由 MAE 與 RMSE 結果看來，除台中測站之外，模擬與實測潮位平均差距小於 0.2 公尺以下，各種推算方式亦呈現差距不大之結果，其與去年度模擬結果相似，除台中港測站外，台灣環島港區皆可合理的模擬潮汐水位變化。由台中港測站之比較結果中，紅色與藍色為不同格網大小之二維潮汐 POM 模式推算結果，其所產生的推算潮位平均誤差約在 0.7 公尺左右，而三維潮汐 POM 模式所模擬的結果可以有效降低潮位誤差至 0.3 公尺左右，可大幅改善台中港潮位推算不準確之現象。

圖 4-21 為不同模擬方式於 2009 年 6 月份之台中港測站潮汐水位時序比較結果，圖中紅色為模擬結果、黑色為實測值，由圖中比較可加強說明統計參數之比較結果，不論格網範圍大小或二維與三維潮汐 POM 模式在潮汐變化相位上皆可合理的模擬，但三維潮汐 POM 模式於台中港測站所模擬出的潮汐水位振幅與實測值接近，在大潮期間水位振幅可達 5 公尺左右，表示三維模式可以合理的模擬台灣海峽中段海域潮汐振幅較南北兩側為大的現象。

由以上潮汐水位比較結果中，三維潮汐 POM 模式可以改善台灣海峽中段(如台中港潮汐水位)模擬不佳的現象，可以大幅改善潮汐水位振幅無法與實測值一致的結果，而其餘之安平、高雄、花蓮及蘇澳測站之比較中，三維與二維潮汐 POM 模式所模擬之結果比較則無明顯差距。

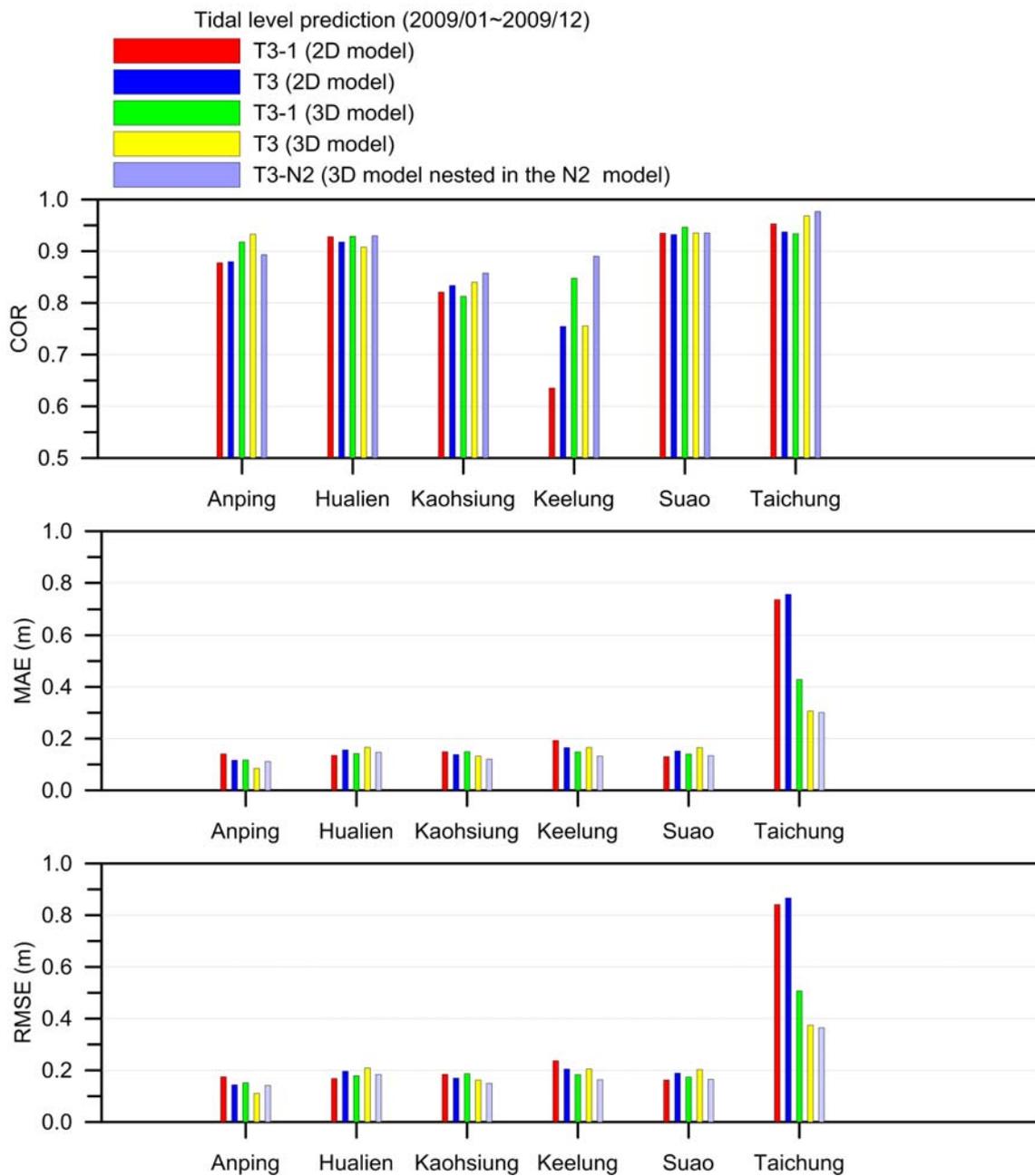


圖 4-20 台灣海域模式潮位模擬結果與實測值之統計參數比較圖

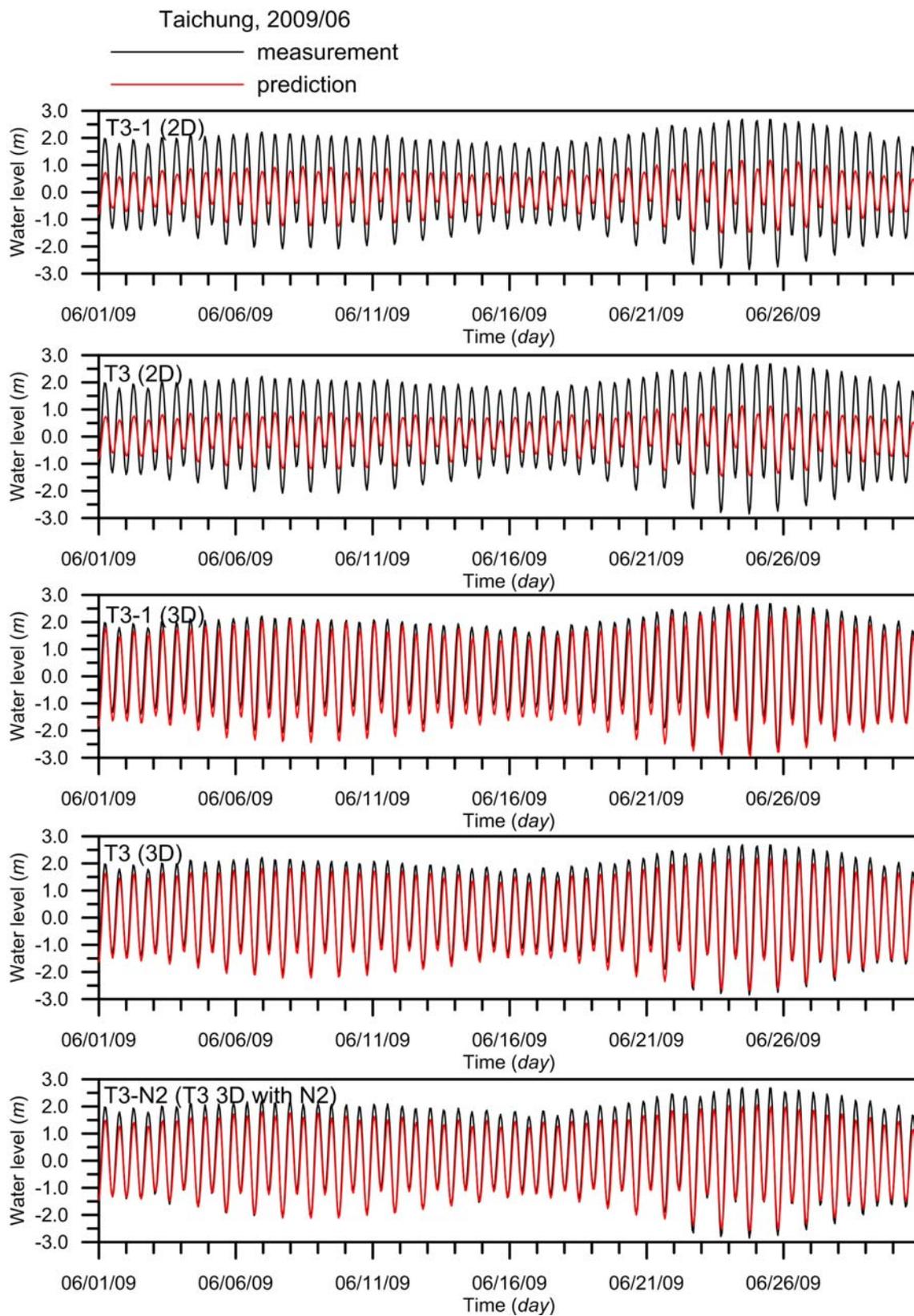


圖 4-21 各種模擬方式於台中港潮位之 2009 年 6 月比較結果

為了更進一步探討計算方式的不同造成台灣海峽中段潮位推算的差異，利用模式所模擬出之流場資料進行原因研判，計算進入台灣海峽通量方式探討海峽內水體變化，如圖 4-22 中黑色實線為台灣海峽南北斷面位置示意圖，南北斷面約垂直於海峽走向，北斷面位置為桃園至大陸福州、南斷面位置為嘉義至大陸廈門，分別使用水深平均二維與三維潮汐 T3 模式之海流逐時模擬結果，計算斷面上之通量變化。圖 4-23 為二維與三維模式於台灣海峽內之逐時通量與水位變化圖，圖中黑色實線為台中海域之潮位模擬結果，而紅色實線為南斷面通量減去北通量之淨通量變化，藍色實線則為淨通量變化之 25 小時移動平均，可用來評估台灣海峽中段內是否因數值模式計算所造成之水體堆積或減少的變化趨勢。而淨通量為正表示水流流進兩斷面之間，即流入台灣海峽中段海域內；反之，負值表示水流流出兩斷面外，即流出台灣海峽中段海域。由控制體積與質量守恆概念可知，若同一時間流進台灣海峽中段之流量越大，則造成此處海域之潮位越高，反之亦然。由圖中可看出，水深平均二維潮汐模式所模擬之台中海域潮差於大潮期間約在 2.5 米左右，淨通量最大振幅約為 4 Sv，而三維潮汐模式於大潮期間之潮差約在 5 米左右，淨通量最大振幅約為 8 Sv，潮差變化與淨通量大小有明顯關聯性，表示水深平均二維潮汐模式於台灣海峽內之流速偏小造成流進台灣海峽內之通量偏小，使得台中海域潮差亦偏小之狀態。而從淨通量 25 小時移動平均變化曲線皆在縱軸為零附近震盪看來，模式並未造成水體逐漸累積或減少的趨勢，表示模式在模擬台灣海峽潮汐流動現象時並未產生不合理的數值計算誤差。

由斷面流速分布圖來研判，圖 4-24 與圖 4-25 分別三維潮汐模式於退潮與漲潮時段於南北兩斷面之流速分布圖，圖中(a)表示北斷面之  $U$ 、 $V$  流速分量(黃紅色表示正值、綠藍色表示負值，以東與北向分別表示  $U$ 、 $V$  為正)與合成流速大小分布圖，(b)表示南斷面之  $U$ 、 $V$  流速分量與合成流速大小分布圖，(c)表示台中港潮位(黑色實線)與台灣海峽淨通量(紅色實線)逐時變化，而圖中黑色圓點表示與斷面流速分布相對應時刻。由斷面流速分布圖看來，退潮時段最大流速不論南北兩斷面

皆出現於台灣側，流速約超過每秒 1 公尺；而漲潮時段北斷面最大流速出現於大陸側約為每秒 0.8 公尺、南斷面最大流速則出現於台灣側。再觀察圖中垂直方向上流速變化，由於台灣海峽內平均水深約為 50 公尺，由圖中南北斷面於垂直方向之流速分布大部分集中於 50 公尺以上水深，在垂直方向上之流速分布無明顯變化趨勢。再由圖 4-26 與圖 4-27 分別為水深平均二維潮汐模式於退潮與漲潮時段於南北兩斷面之流速分布圖，圖中色階、符號與圖 4-24 與 4-25 之代表意義相同。對照三維潮汐模式之結果，可看出流速明顯較三維模式為小，且不論漲退潮時段流速最大處皆偏向於台灣側，與漲潮時段三維模式流速偏向大陸側略有不同。推測水深平均二維模式流速偏小原因，除了二維模式無法適切模擬垂直方向與海峽斷面方向之流速變化分布外，亦可能與模式參數設定有關，如底床摩擦參數等，由於本計畫模式所使用之參數經過多年測試皆以三維模式計算的標準去設定(如表 4-3 中所示)，並不隨著測試條件或邊界條件不同而調整，亦可能產生使用二維模式計算時出現較大的誤差現象。

綜合以上所述，在相同參數設定條件下，三維模式流速明顯大於水深平均二維模式，而於漲潮段時，南斷面於海峽中線至台灣側明顯流速皆超過每秒 1 公尺，北斷面流速則於大陸側明顯偏大；在退潮段時，南北兩斷面最大流速則皆明顯出現於台灣側。

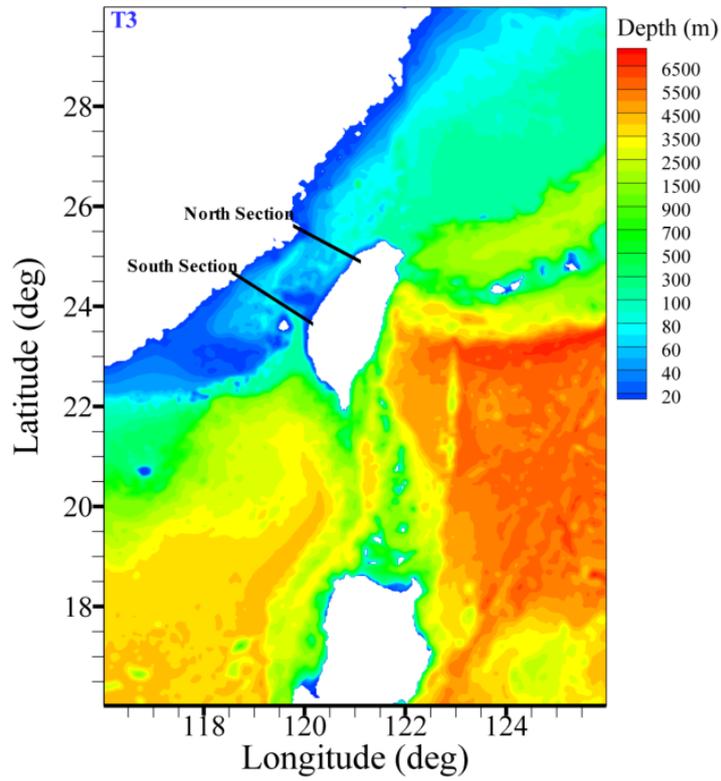


圖 4-22 台灣海峽南北斷面位置示意圖

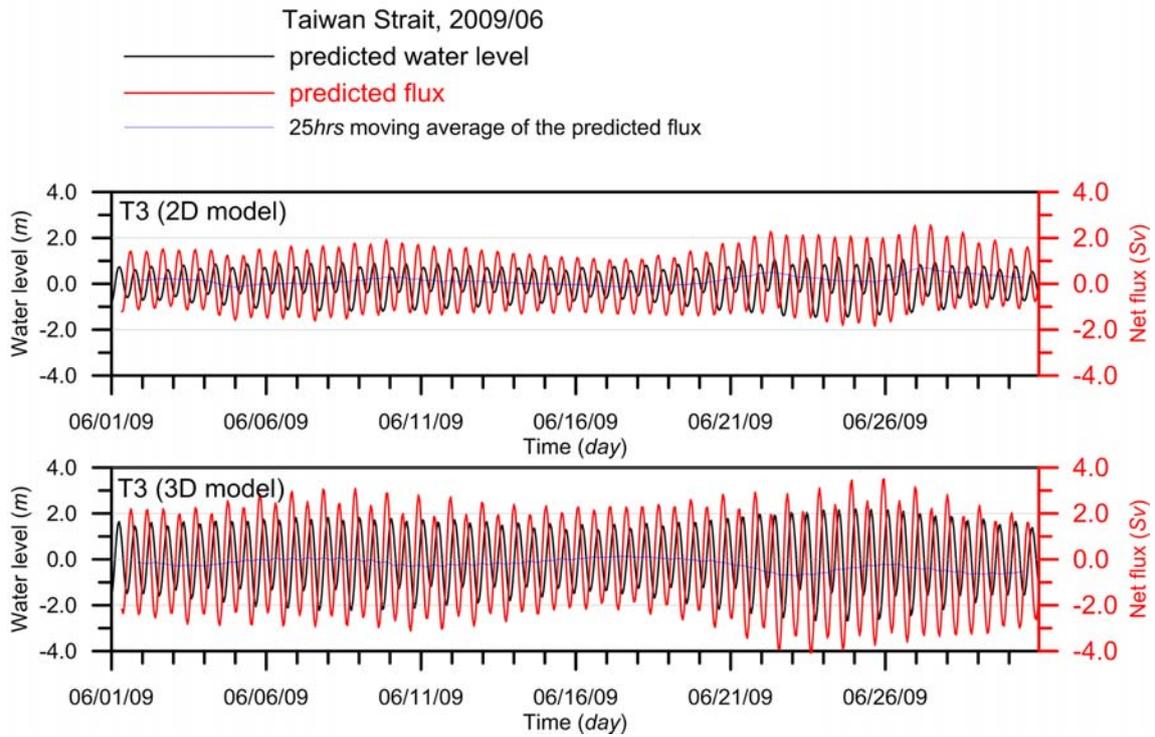


圖 4-23 二維與三維潮流模式於台灣海峽南北斷面之通量逐時變化圖

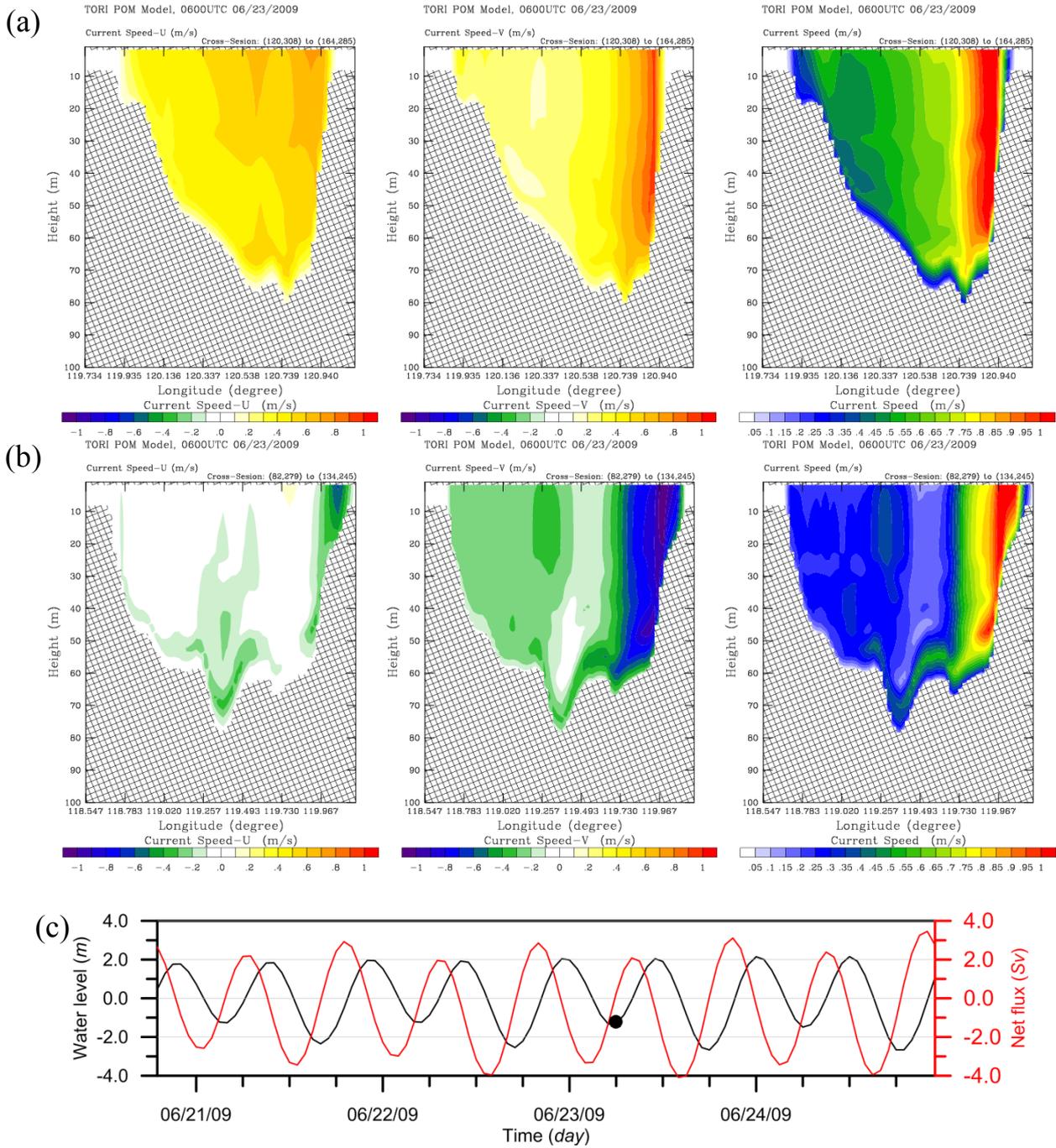


圖 4-24 三維潮汐模式於台中港退潮位時段之南北斷面流速分布圖；(a) 北斷面，(b)南斷面，(c)相對應潮位(黑色)與淨通量(紅色)

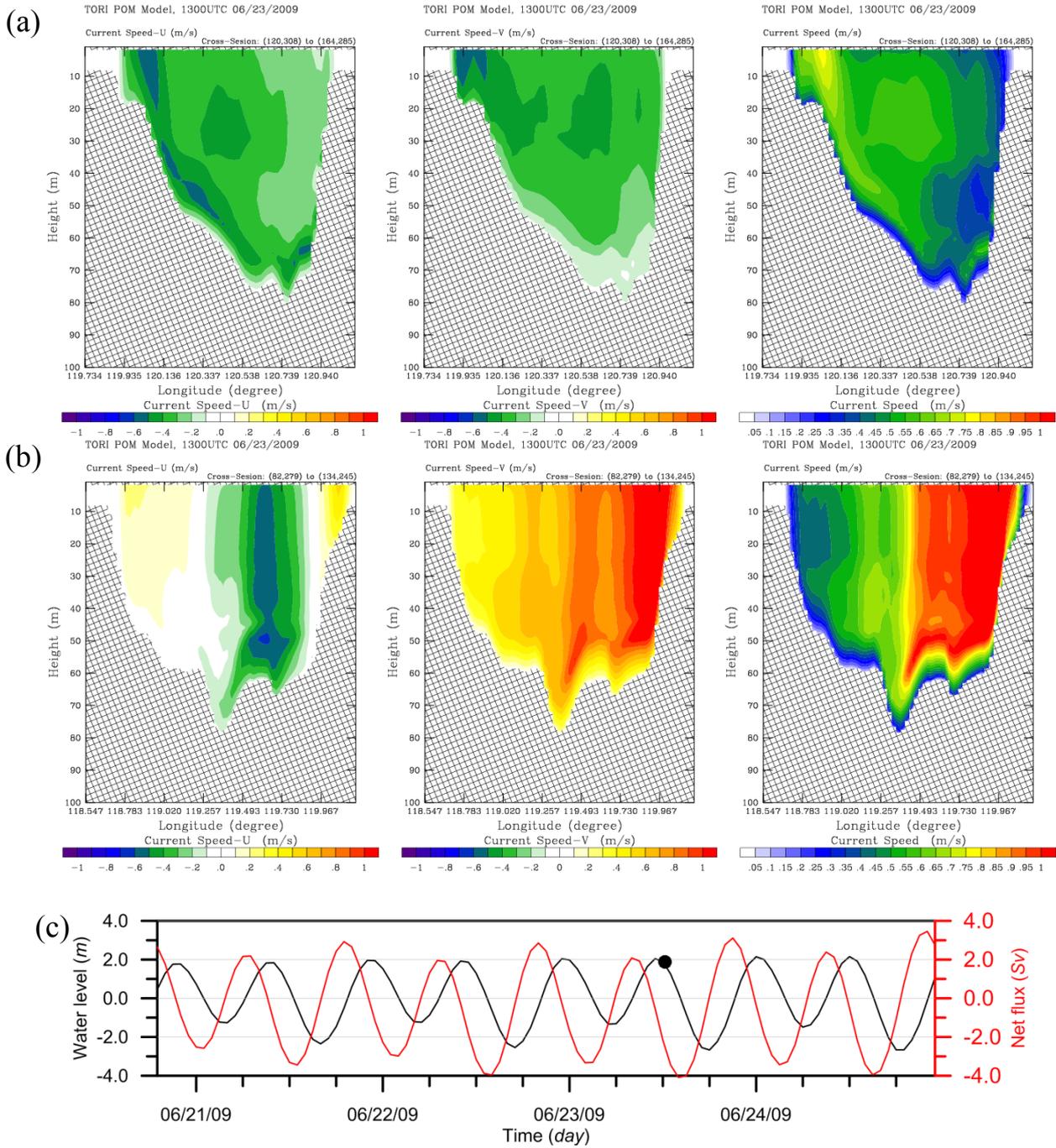


圖 4-24(續) 三維潮汐模式於台中港漲潮位時段之南北斷面流速分布圖；(a)北斷面，(b)南斷面，(c)相對應潮位(黑色)與淨通量(紅色)

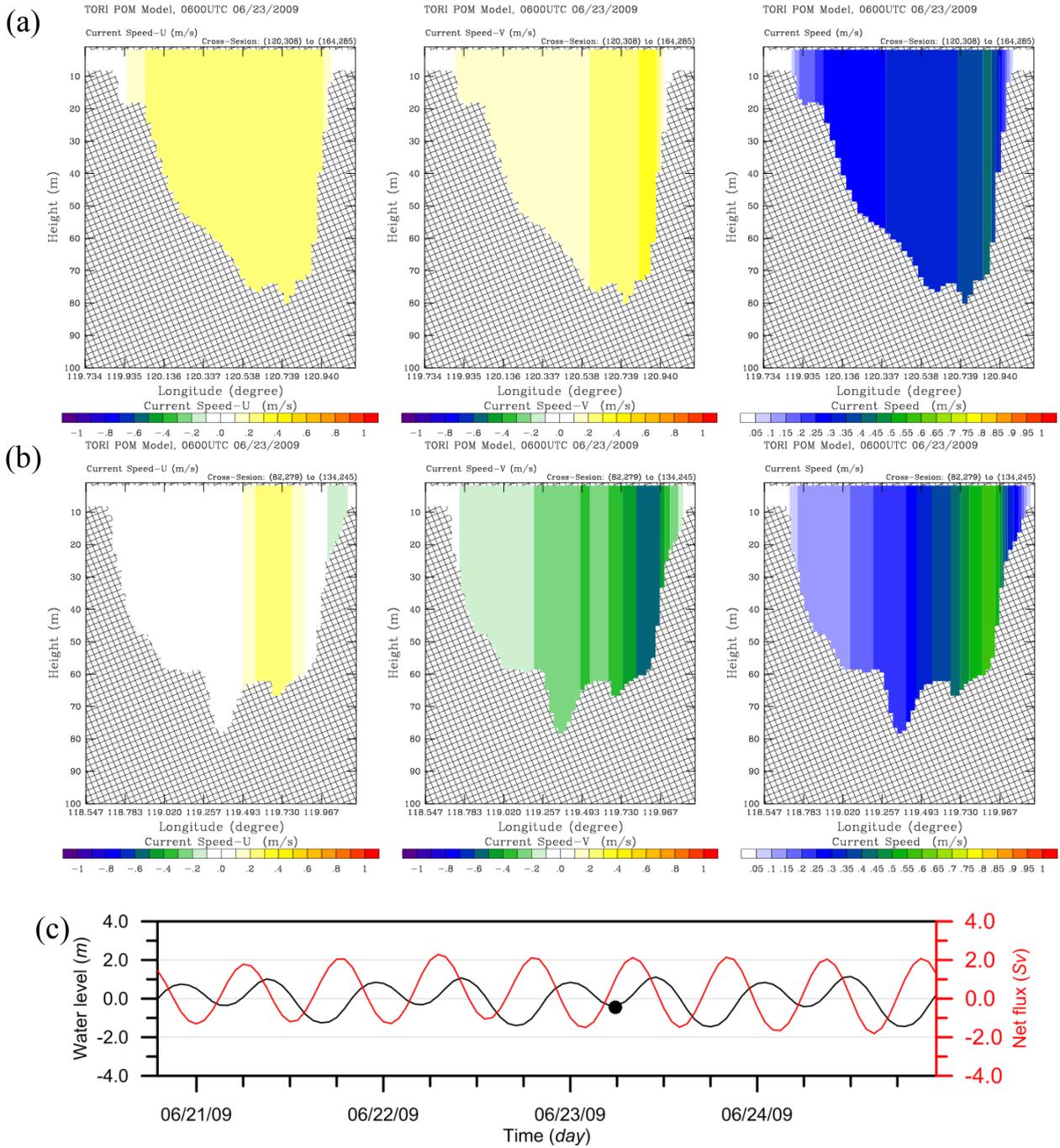


圖 4-25 水深平均二維潮汐模式於台中港退潮位時段之南北斷面流速分布圖；(a)北斷面，(b)南斷面，(c)相對應潮位(黑色)與淨通量(紅色)

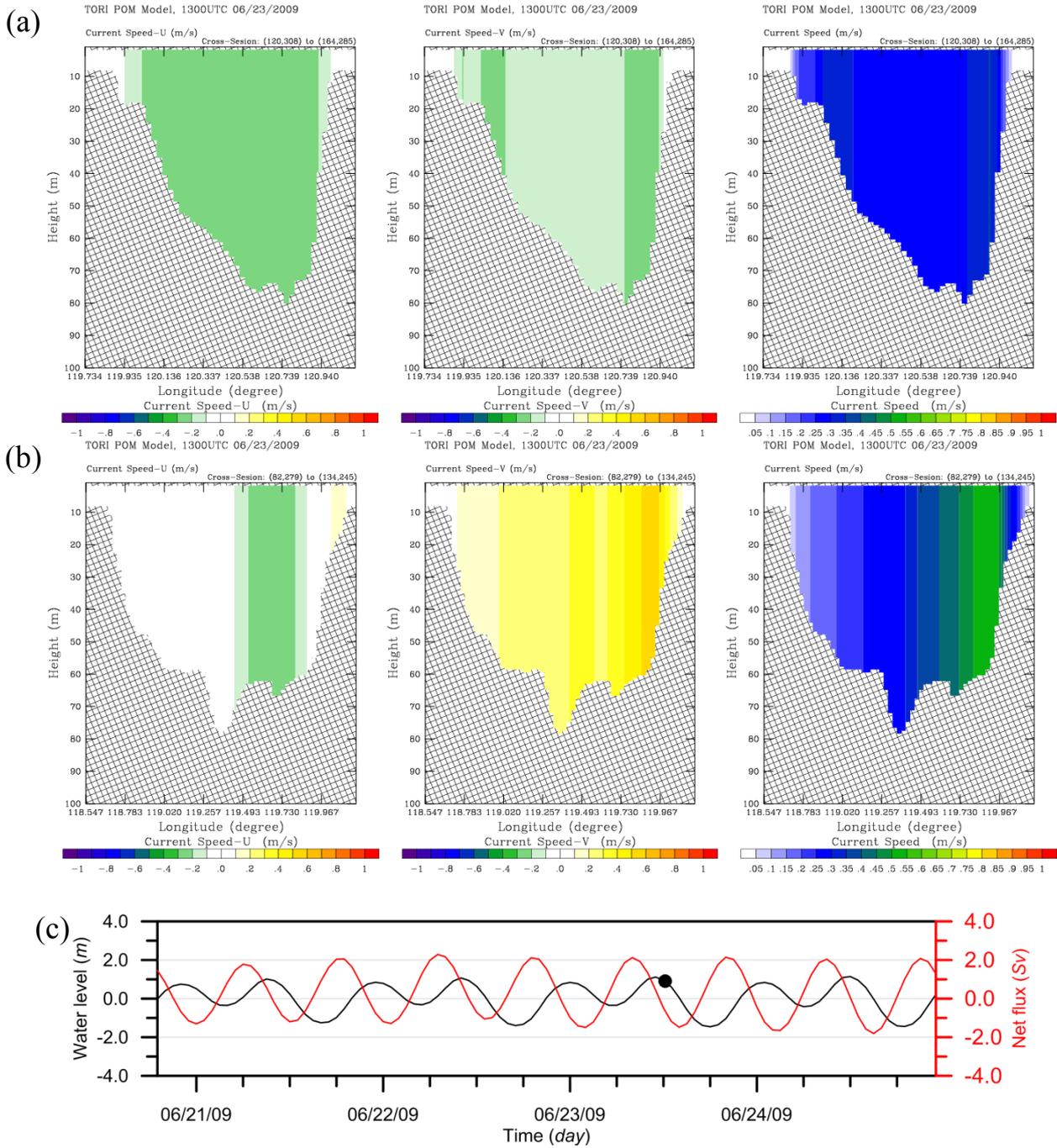


圖 4-25(續) 水深平均二維潮汐模式於台中港漲潮位時段之南北斷面流速分布圖；(a)北斷面，(b)南斷面，(c)相對應潮位(黑色)與淨通量(紅色)

#### 4.4 台灣海域海流月季年特性分析

在第三分年「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」(廖等人, 2012)計畫中, 已針對純潮汐模擬與綜合洋流與潮流模擬之間差距進行探討, 其結果發現:「台灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動。而台灣中西部海域夏季有持續向北流動現象, 而西南部海域外海有夏季向東南、冬季向西北之恆常流動現象, 而東部外海其黑潮流動現象明顯, 其應考慮洋流對此些區域海流變動特性之影響。」而本年度在更新模式模擬結果後, 亦對綜合洋流與潮流效應之模擬結果進行檢視, 圖 4-26 為台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流效應之模擬結果, 其模擬方式為利用西北太平洋 N2 模式所輸出之洋流邊界條件, 加上 NAO99 全球潮汐水位邊界條件於台灣海域 T3 模式之模擬結果, 圖中表示 2010/07/11 00:00 至 2010/07/11 22:00 之每兩小時表面流速分布, 圖中箭頭與色階分別表示流速流向大小, 其應可代表台灣海域中一個完整漲退潮汐週期內洋流與潮流變化特性。由圖中海流流動現象可看出, 漲潮段時潮汐由台灣海峽南北兩端流入, 退潮時段由兩端流出, 除了台灣海峽南北兩端於大陸棚交會處之潮汐流動現象較明顯外, 其餘各處之潮流流動所產生的變化量明顯較小。雖然圖中海流流動現象複雜, 但仍可看出如台灣東北角於退潮段會形成逆時針渦流, 而澎湖附近海域於漲退潮段皆會形成大小不一的渦流現象等。由於台灣海峽有向北流動的黑潮分支, 其與潮流相疊加後造成海峽南端退潮流速減小, 台灣海峽北端海域的退潮流速增加; 反之的情況也出現在漲潮段, 海峽南端海域之漲潮流速增加, 北端海域為漲潮流速減小。

大尺度漂沙特性主要外力應為海流, 為了探討台灣海域漂沙傳輸潛勢, 首先必須檢視台灣海域海流特性。圖 4-27 為台灣海域 T3 模式月平均表面海流之流速流向分布圖, 圖中箭頭與色階分別表示流向與流速, 圖中結果為利用綜合潮流與洋流模擬之逐時資料平均而得, 由圖中結果看來, 潮汐所產生的週期性海流變動現象因平均後而消失, 主要仍是以洋流與部分潮殘餘流效應所主導。觀察圖中海流特性分

布，黑潮由呂宋島東側進入巴士海峽，在 11 月至 1 月份時，黑潮進入巴士海峽後偏西行進的幅度較大，進入 2 月份之後，黑潮流速逐漸增加，其偏西幅度也越來越小，到達台灣南端海域時，表面流速仍可維持每秒 1 公尺，進入 9 月份後偏西幅度則又開始增加，形成黑潮到達台灣之前於巴士海峽內呈現套流現象，尤其是在冬季時黑潮入侵南海之套流現象更為明顯。而台灣東部海域黑潮流速變化特性方面，約在 1 月份流速減小至每秒 1 公尺以下，在 7 月份增加至每秒 1.5 公尺以上，流速最強區域分布於台東北部至花蓮北部海域，而黑潮在宜蘭南方海域開始偏東行進，造成宜蘭海域流速變小，甚至有回流現象產生。而在台灣海峽內，從 3 月份開始可見由西南方而來之南海吹送流，而約在 5 月份與黑潮進入台灣海峽之支流會合，沿著台灣海峽往北流動，進入澎湖水道之流速可達每秒 1 公尺以上，而離開澎湖水道後，繞過雲彰隆起在台中至桃園一帶海域再度接近陸地，形成 6、7 月份在苗栗至桃園一帶海域有明顯向北流動恆流產生，其流速甚至可達每秒 0.8 公尺，而西南吹送流約在 9 月份後逐漸減弱消失。圖 4-28 為台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均 200 公尺深處海流分布圖，圖中箭頭與色階分別表示海流流向與流速，由圖中月平均海流分布圖可知，其與表面海流特性大致上相似，在台灣東部海域，黑潮於 200 公尺深處流速在 6、7 月份時仍可達每秒 0.7 公尺左右。

圖 4-29 為台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之季平均表面海流分布圖，圖中(a)至(d)分別表示春、夏、秋、冬季節，而春季為 3 至 5 月、夏季為 6 至 8 月、秋季為 9 至 11 月、冬季為 12 至 2 月之平均。觀察圖中海流分布，不論任何季節，台灣海域之海流優勢方向大部分都是由南向北，如黑潮與台灣海峽內海流等，尤其是在夏季更是明顯。但在夏季時受到南海吹送流到達台灣西南海域並匯入黑潮主流的影響，台灣西南海域在夏季的海流優勢方向則是由北向南。觀察圖中流速分布狀態，台灣西北與東北部海域於春夏兩季出現流速較強現象，而兩者之間則出現明顯流速較小區域，尤其在夏季更為明顯。進入秋冬兩季，台灣東北部海域由於黑潮往北行進的影響，導致東北部海域流速

仍大且優勢海流方向為西北向，此時台灣西北部海域流速明顯變小至每秒 0.3 公尺左右，但在苗栗至桃園一帶海域仍出現相對流速較大區域。而圖 4-30 為台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之季平均 200 公尺深處海流分布圖，總體而言其與表面海流趨勢與特性具有一致性。

圖 4-31 則為台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之年平均表面、200 公尺深處海流分布圖，圖中大致上可觀察出與季平均具有相同趨勢。總體而言，台灣東部黑潮流速最強區域之流速年平均值約在每秒 1.0~1.2 公尺左右，而黑潮在巴士海峽流動有略偏西而後偏東之特性，台灣海峽內由於西南吹送流沿著大陸棚流動的影響，在靠近中國大陸側有明顯向北流動趨勢，而在澎湖群島附近海域，由南向北流動現象更為明顯，在澎湖水道之年平均流速甚至可達每秒 0.5 以上，台灣北部海域由於台灣海峽內海流與黑潮流動影響，在台灣北部海域之兩股流動間明顯存在一流速較小區域，而西南部海域則出現向南流動之現象。對照本節台灣海域 T3 模式與 4.2.1 節西北太平洋 N2 模式之月季年之平均海流分布結果，兩者在大尺度洋流流動特性相似，但黑潮於巴士海峽內之特性則略有不同，在 N2 模式中黑潮入侵南海之套流現象較為明顯，在 T3 模式中黑潮偏轉的角度較小，其可能原因除了兩者格網解析度的不同導致海流流動特性略有不同外，可能也是在 T3 模式中加入潮流效應，導致黑潮與潮流在台灣南部海域產生交互作用所產生的現象，其原因仍需要進一步探討。

綜合以上所述，利用台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流計算模擬，分析台灣海域月季年平均優勢海流特性中發現，不論任何季節，台灣海域之海流優勢方向大部分都是由南向北，尤其是在夏季更是明顯。但在夏季時，受到南海吹送流到達台灣西南海域並匯入黑潮主流的影響，台灣西南海域在夏季的海流優勢方向則是由北向南。台灣北部海域由於台灣海峽內海流與黑潮皆向北流動之影響，在兩股流動間明顯存在一流速較小區域。而在澎湖群島附近海域，由南向北流動現象更為明顯，而海流繞過雲彰隆起後，在台中至桃園一帶海域形成向北流動流速較強區域。

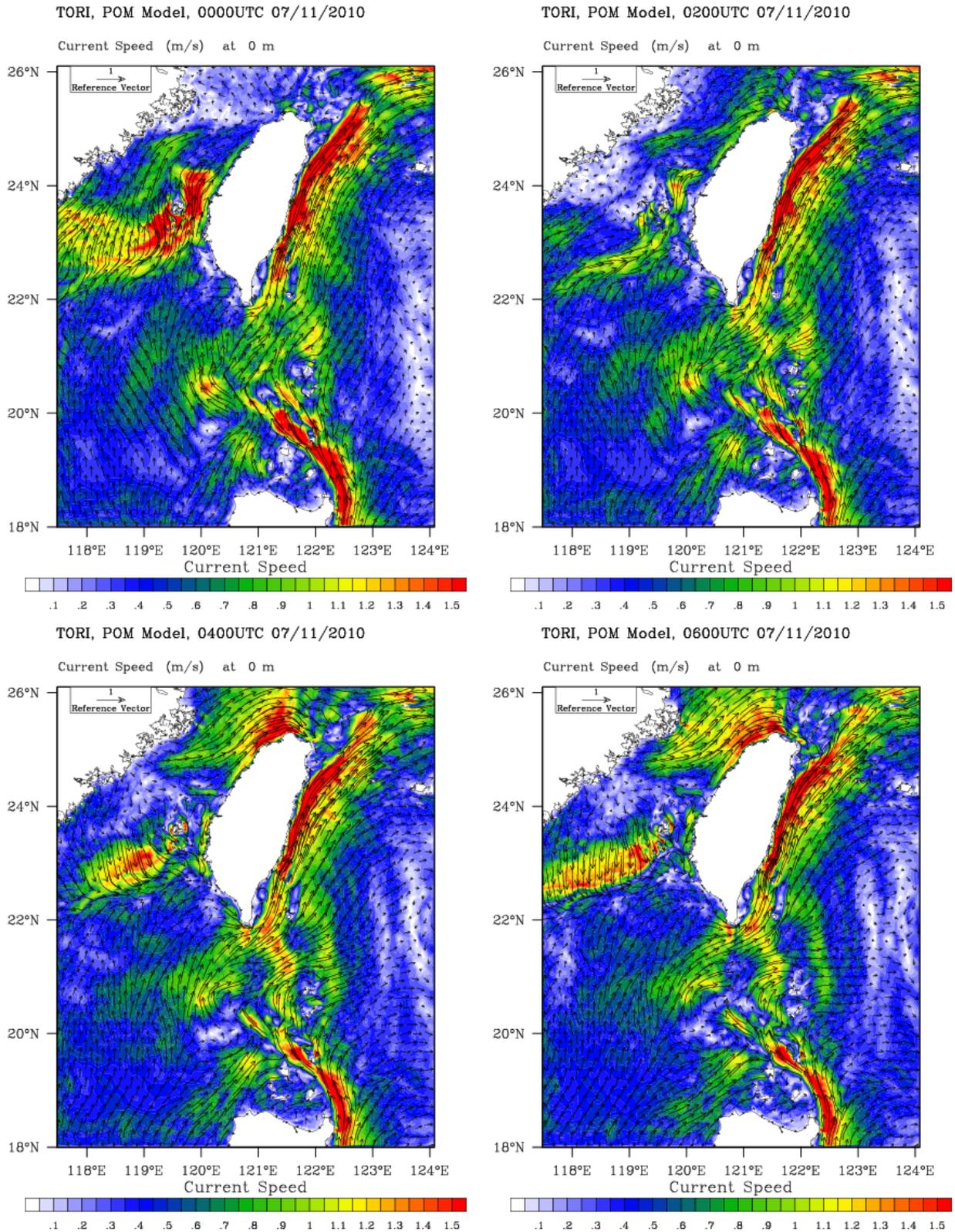


圖 4-26 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之每兩小時表面海流變化圖  
(2010/07/11 00:00~2010/07/11 22:00 由左而右，由上而下)

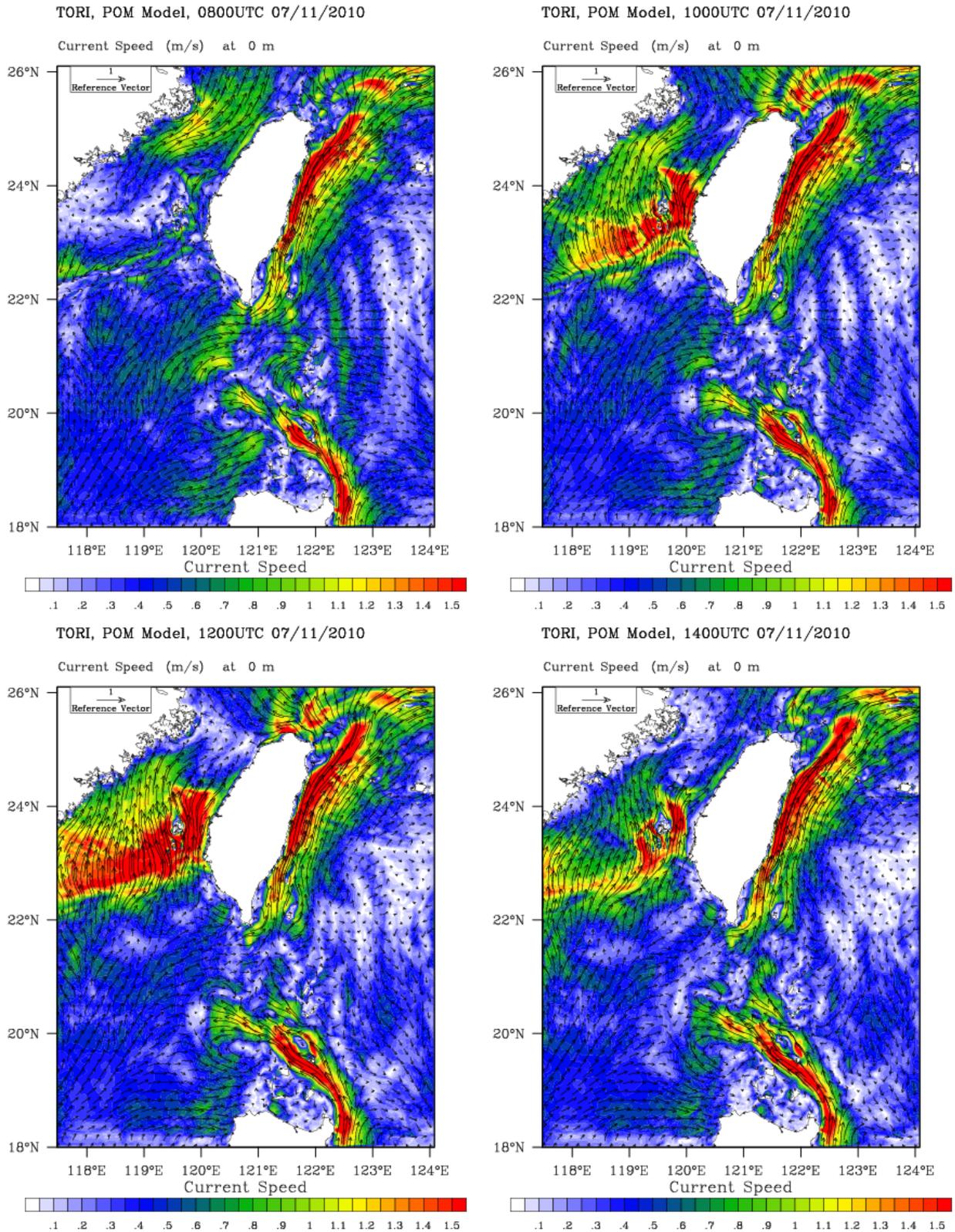


圖 4-26(續) 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之每兩小時表面海流變化圖(2010/07/11 00:00~2010/07/11 22:00 由左而右，由上而下)

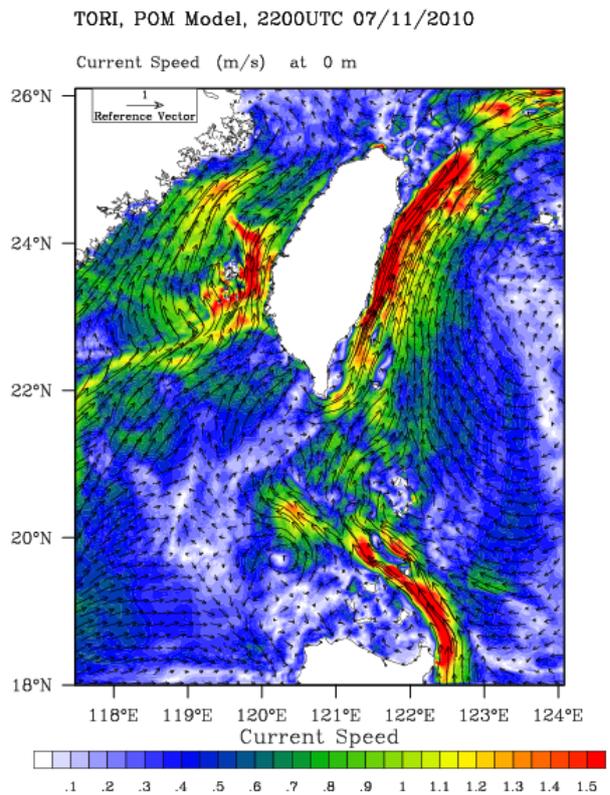
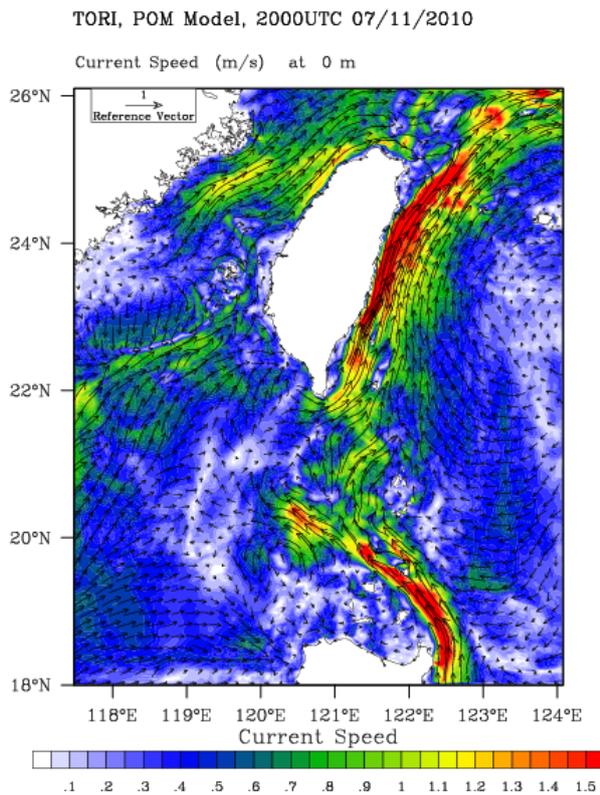
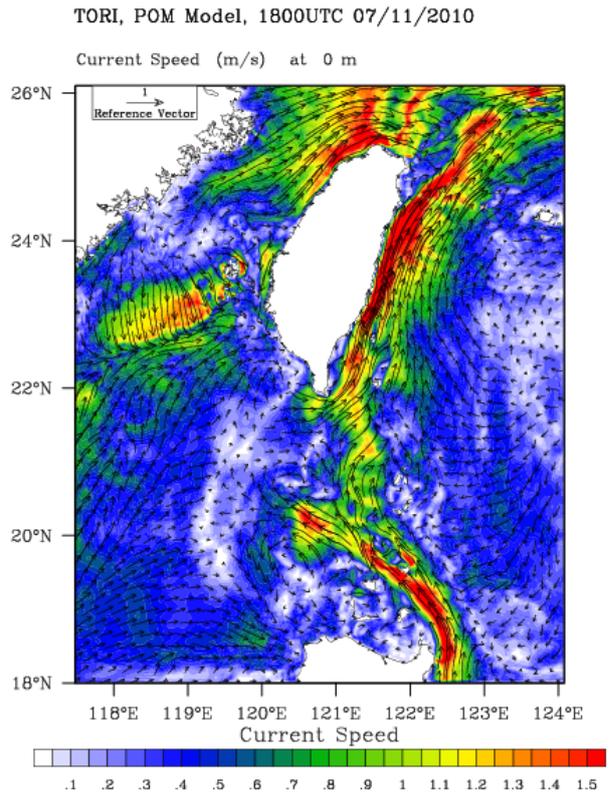
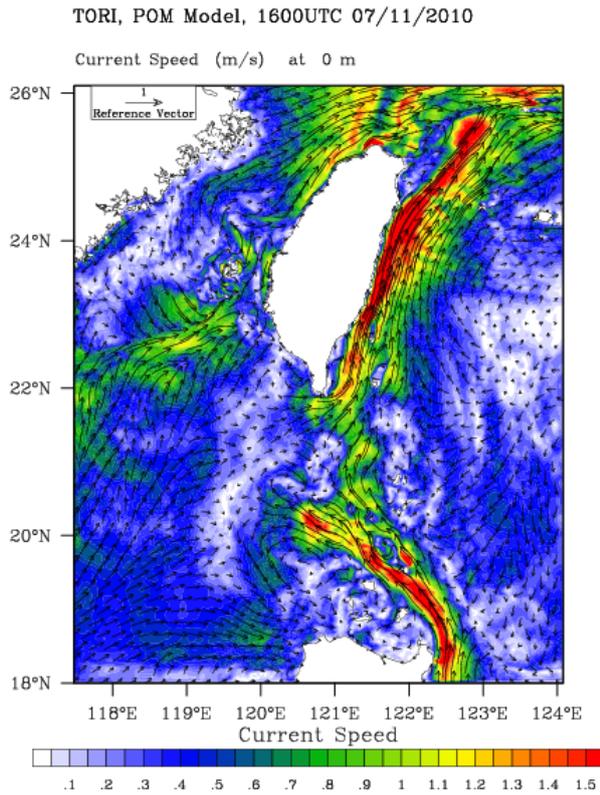


圖 4-26(續) 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之每兩小時表面海流變化圖(2010/07/11 00:00~2010/07/11 22:00 由左而右，由上而下)

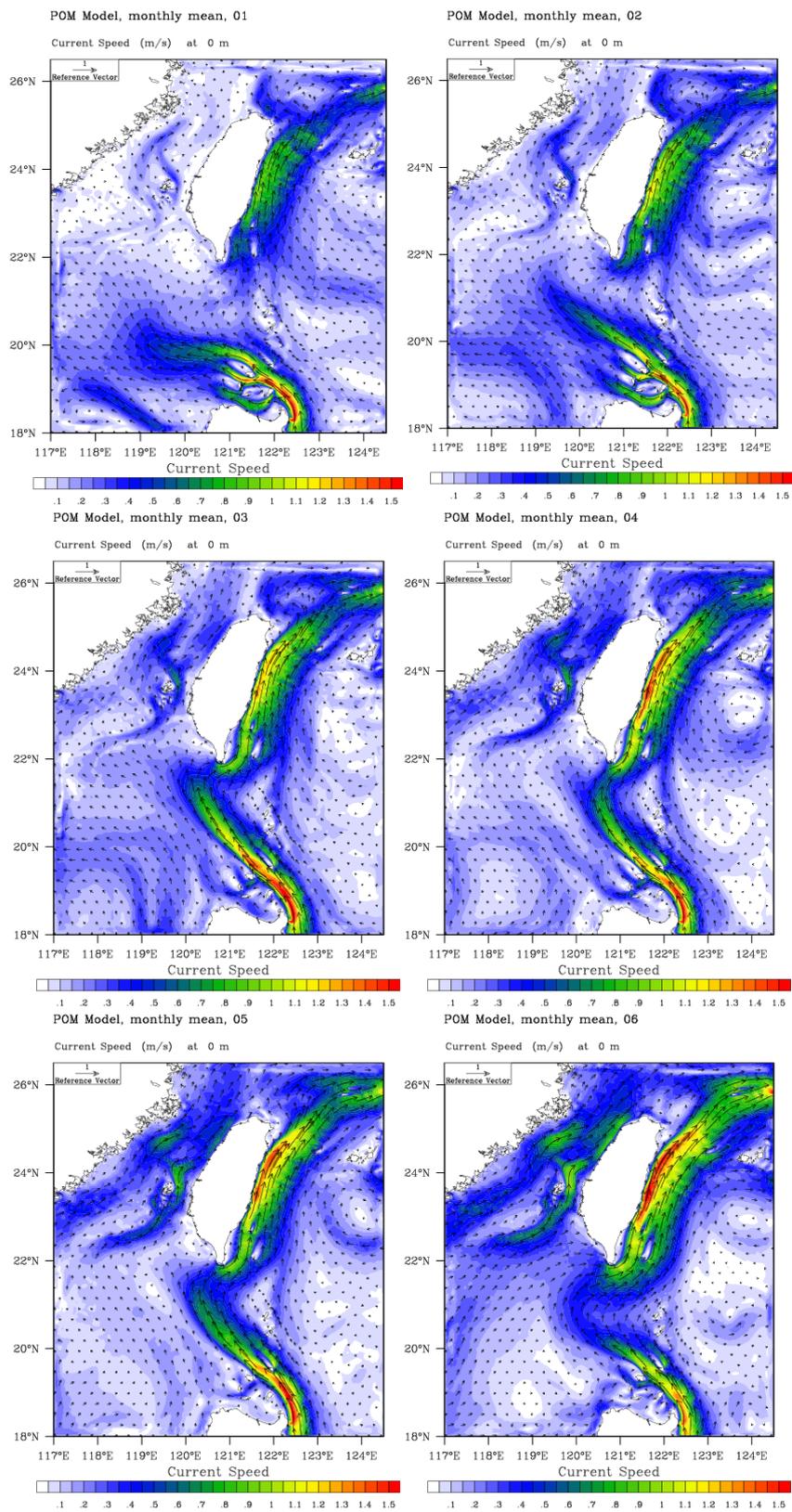


圖 4-27 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均表面海流 (1~6 月)

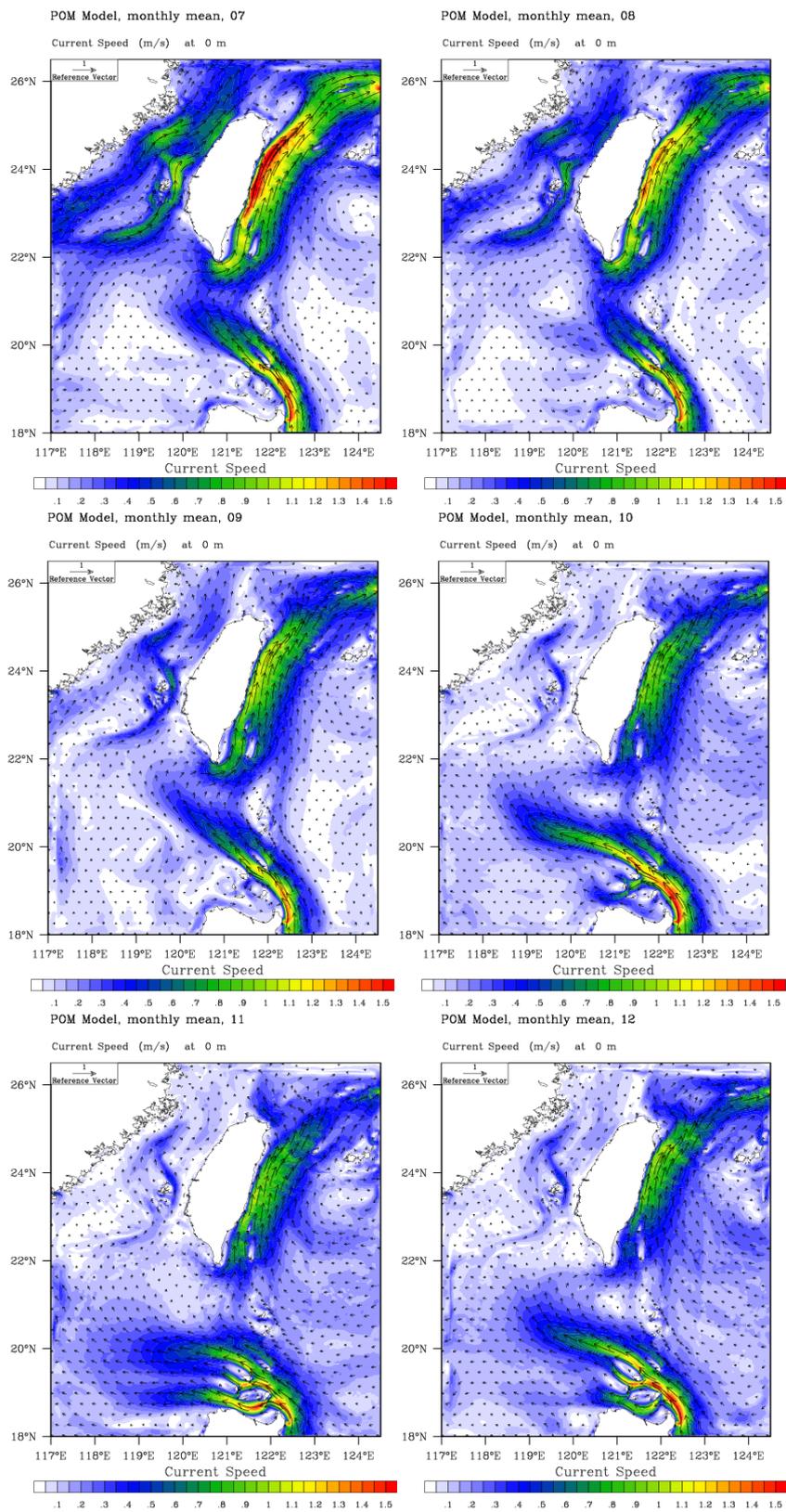


圖 4-27(續) 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均表面海流 (7~12 月)

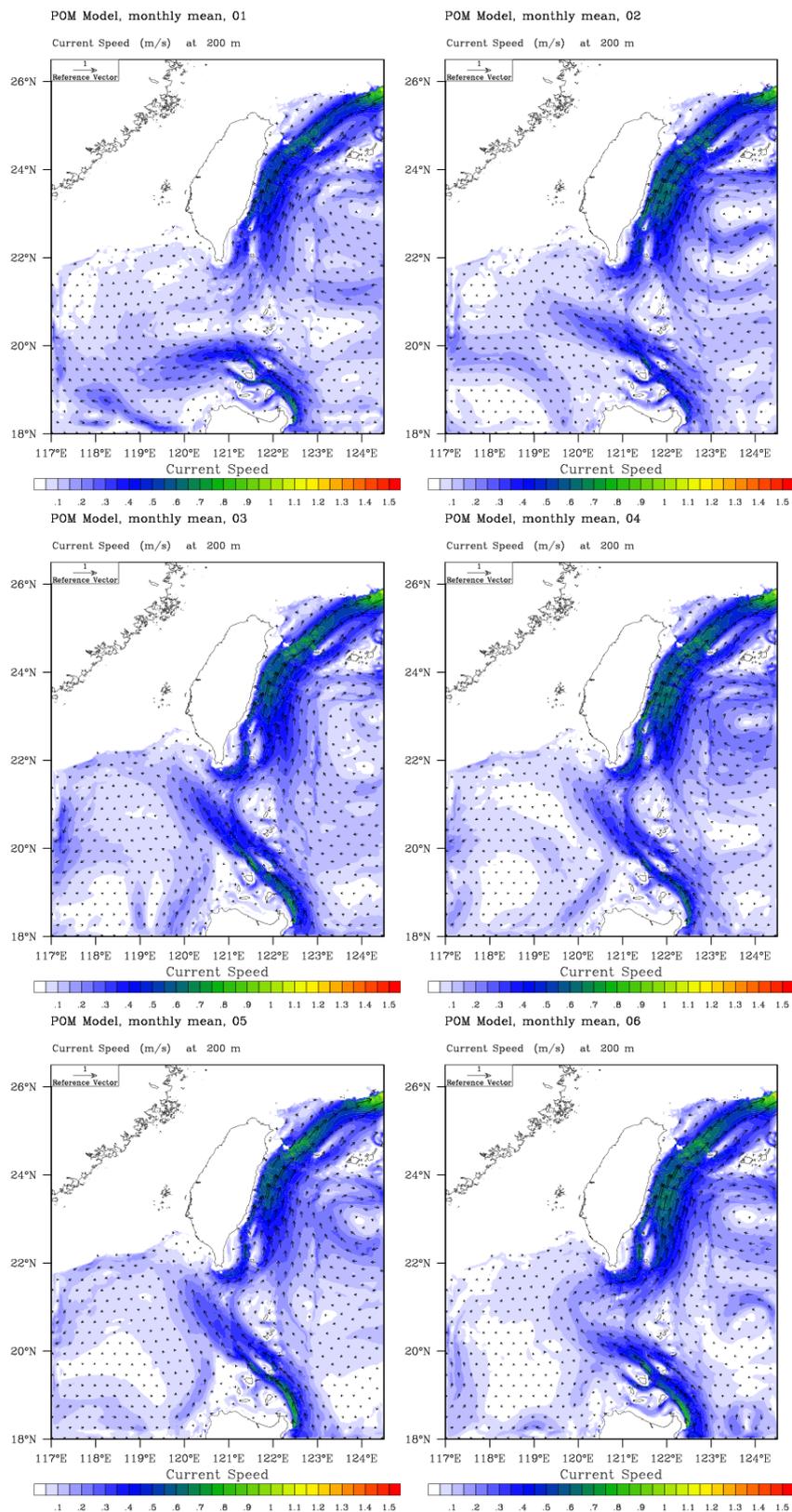


圖 4-28 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均 200 公尺深處海流 (1~6 月)

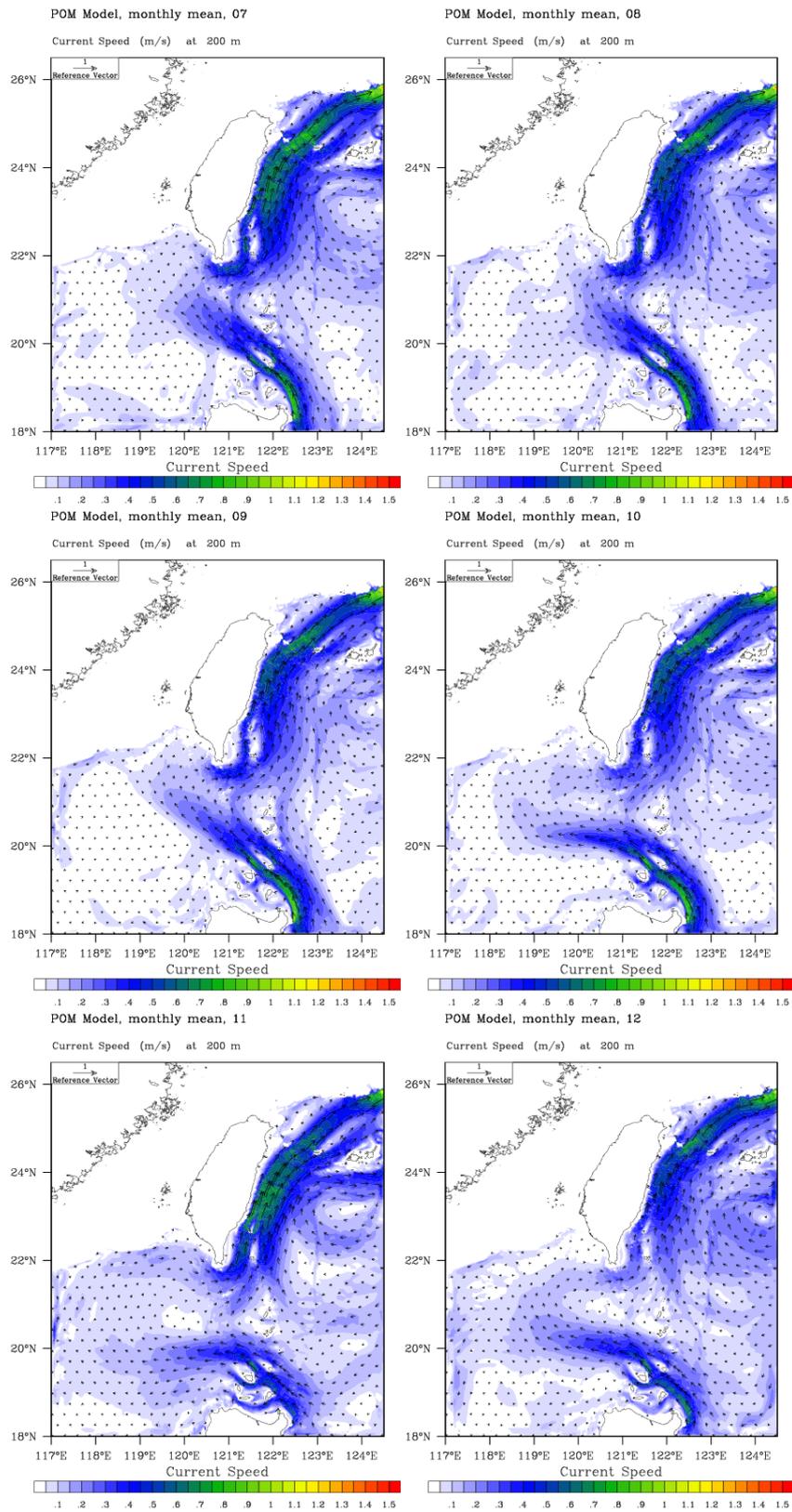


圖 4-28(續) 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之月平均 200 公尺深處海流 (7~12 月)

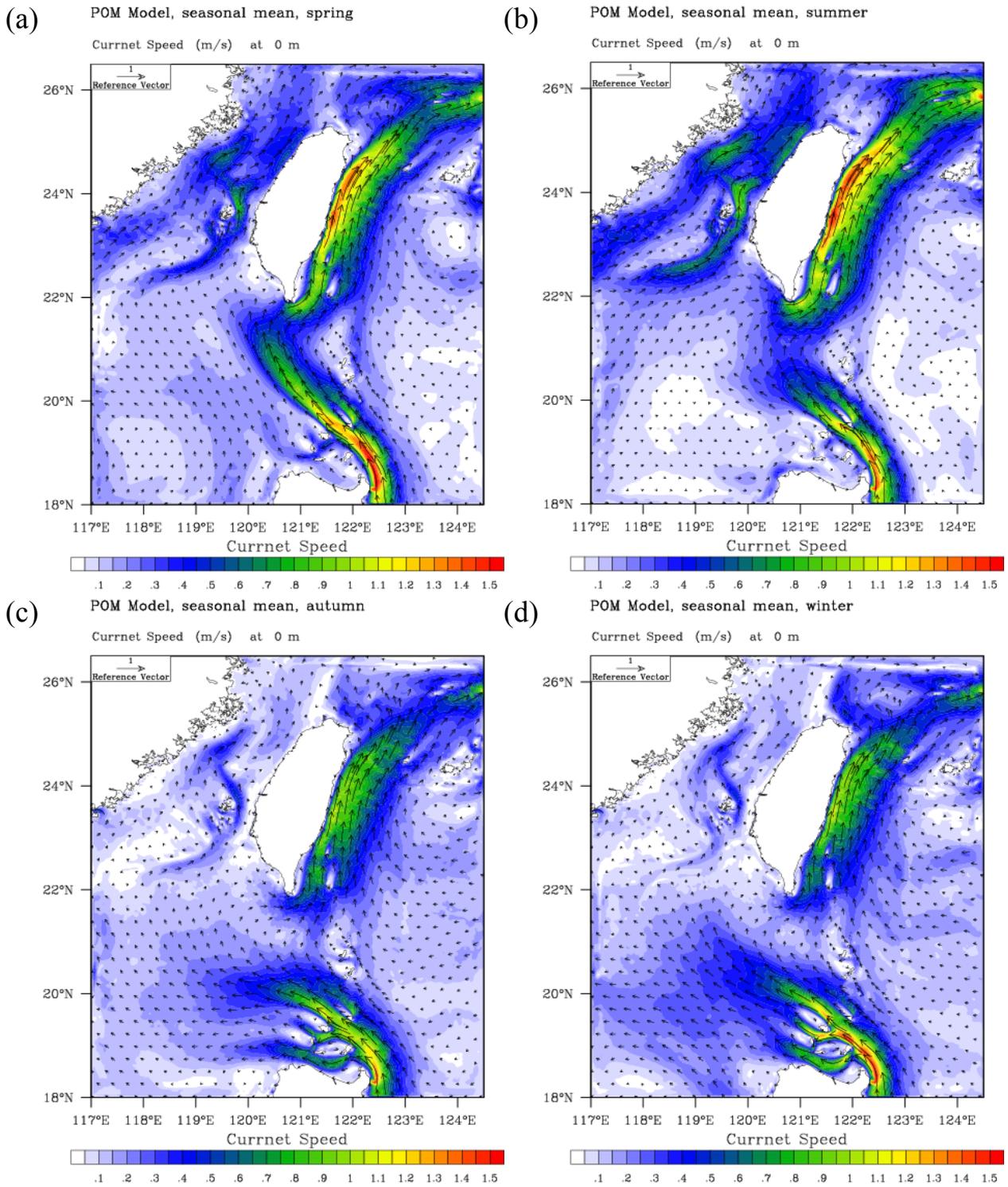


圖 4-29 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之季平均表面海流；(a)春季，(b)夏季，(c)秋季，(d)冬季

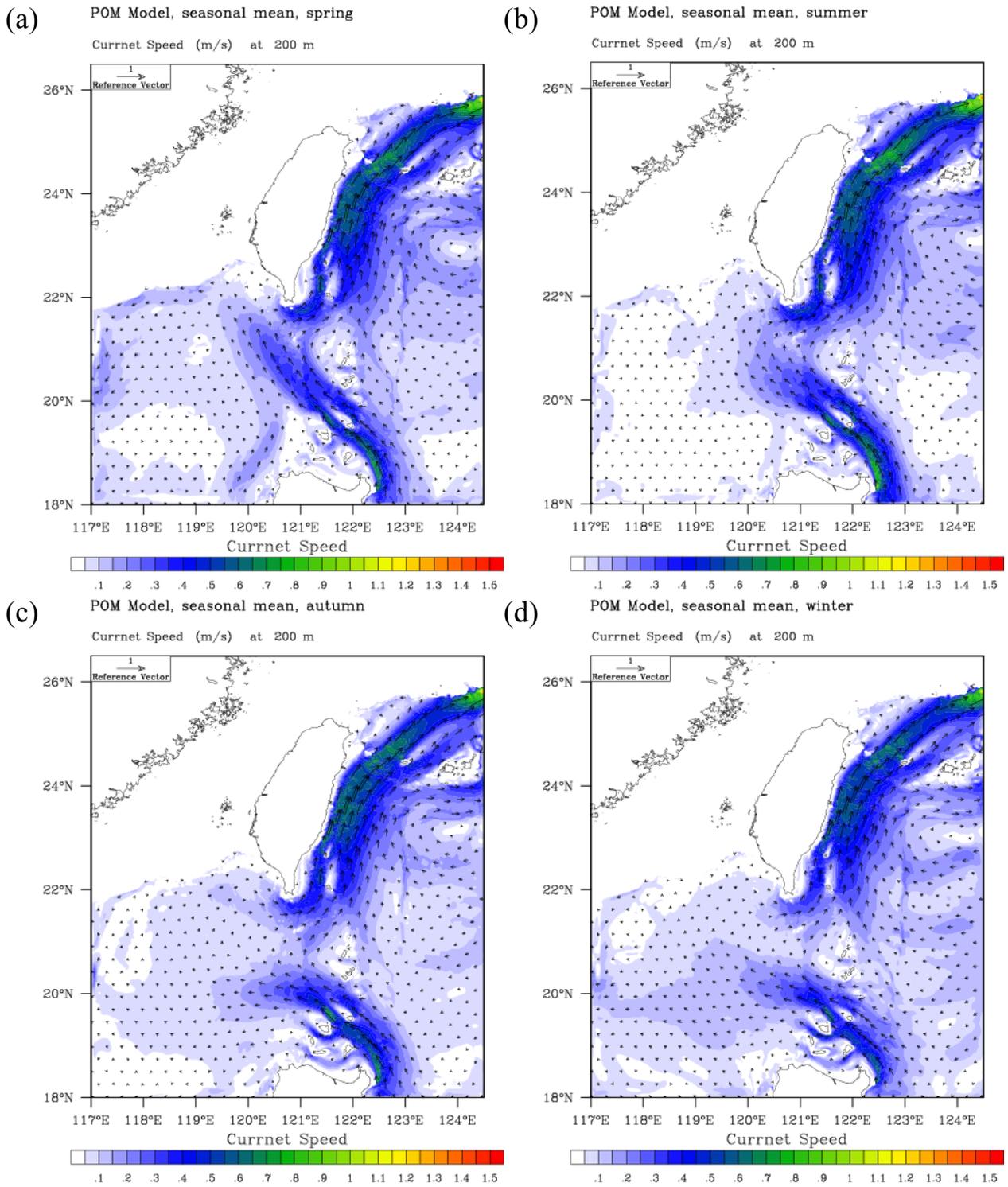


圖 4-30 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之季平均 200 公尺深處海流；(a)春季，(b)夏季，(c)秋季，(d)冬季

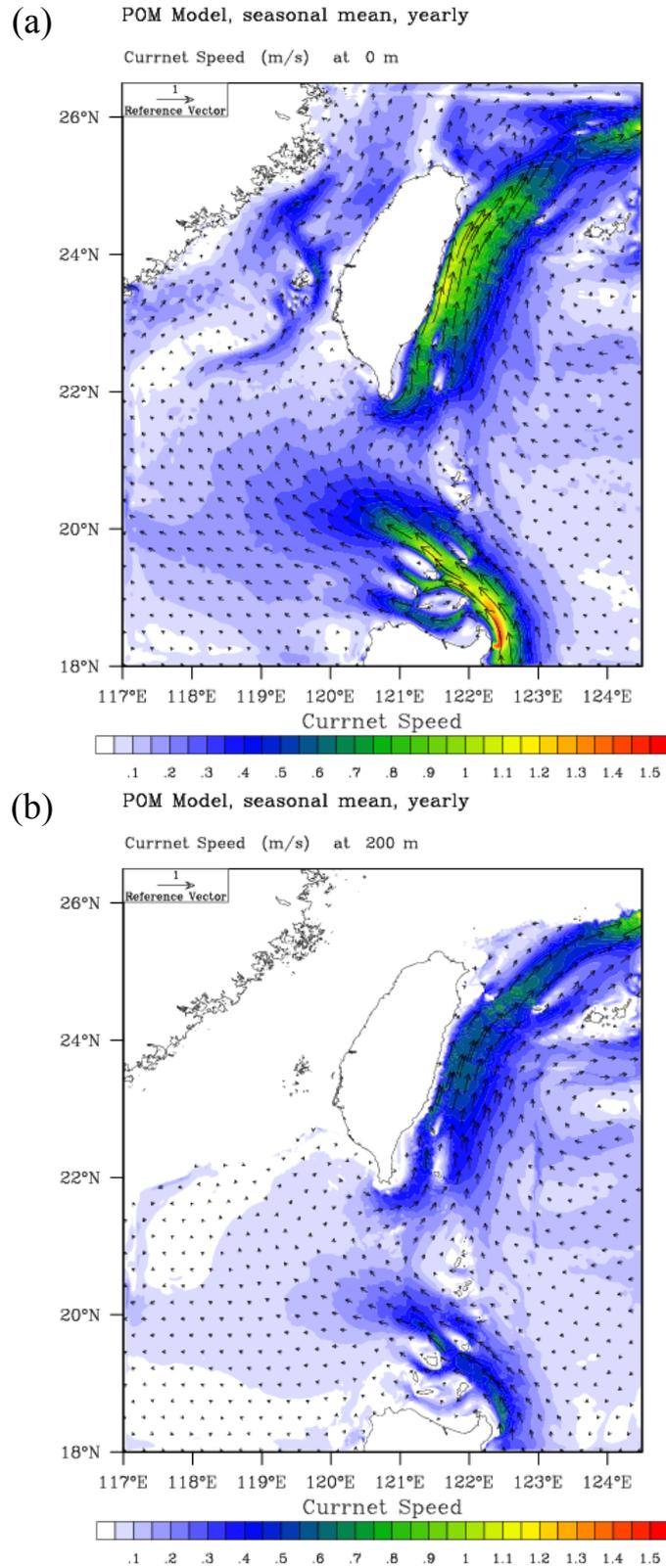


圖 4-31 台灣海域 T3 模式綜合洋流與潮流之年平均海流；(a)表面，  
(b)200 公尺深處

## 第五章 台灣海域漂沙潛勢模擬

在海岸工程觀點中，底床沙粒受波浪運動流速引起之底床剪應力影響，在碎波帶內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漂沙載，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。而漂沙來源主要由河川所輸出，而漂沙大部分沉澱在河口與三角洲地帶，受近岸流或波浪等外力帶往沿岸，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。

有源就有匯，若陸地侵蝕為源，必形成海域沉積之匯，根據經濟部水資會歷年來河川輸沙量之估計，台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)。錢等人(2011)利用現場觀測濁水溪所輸送之懸浮沉積物對於台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 公里遠處。由以上研究可進一步探討，除了較大顆粒之沙粒會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？會沉積於何處？故今年度計畫重點在於評估台灣環島海域大尺度海流所引致之輸沙潛勢評估，在本計畫中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沉積物現象觀點，來評估台灣海域所可能的產生漂沙傳輸擴散現象，進而評估台灣海域漂沙傳輸潛勢。

為了模擬台灣河川所輸出的沉積物之傳輸擴散現象，利用第三章所收集的台灣 20 條主要河川之月輸沙量與流量，做為漂沙輸出數量與河川流量之依據，做為 2.5 節所建置的漂沙傳輸擴散模式之輸入條件，並配合第四章所建置的台灣海域 T3 海流模式，在綜合洋流與潮流效應下，模擬台灣海域漂沙傳輸擴散現象與特性探討。關於漂沙傳輸模擬設定，其計算時間為 2010 年 1 月至 12 月，計算採冷啟動，即每月份

計算時漂沙濃度與流速為零，而每月計算啟動後 5 日再進行平均計算。考量河川輸沙量大部分應沉積至河口附近，而 T3 模式計算格網約為 2 公里應包含大部分沉積現象，故每月河川輸沙量採 1/10 之量作為漂沙濃度計算之依據，利用河川流量與 1/10 河川輸沙量之乘積做為河口處格網之漂沙濃度輸入值。而台灣海域 T3 海流模式則包含潮汐與洋流效應，並假設漂沙濃度與海流之間無交互作用現象。以下討論則利用上述模擬條件，並利用式(2-73)進行沉積量計算，進行月季年平均計算與漂沙傳輸潛勢探討。

## 5.1 台灣海域漂沙現象之月平均傳輸潛勢

圖 5-1 分別為台灣海域 1 至 12 月平均表面漂沙濃度與海流分布圖及月平均漂沙沉積量分布圖，圖(a)、(b)、(c)分別表示各月之月平均表面漂沙濃度，而圖(d)、(e)、(f)分別表示各月平均漂沙沉積量，圖中箭頭表示月平均表面海流流速流向，色階則表示表面漂沙濃度與沉積量分布，紅色表示濃度與沉積量越高，藍色則表示越低。由圖中可知，沉積量分布狀態與漂沙濃度分布有一明顯相關性，濃度越高且水深越淺處之沉積量越大。觀察漂沙濃度分布情況，台灣西側海域之台中至嘉義一帶海域漂沙濃度最高，並在此處海域漂沙濃度明顯呈現一三角狀分布，其與台灣中西部河川流量與輸沙量較大與潮流流速較小(莊與江, 2002)應有明顯相關性。在 12 月至 3 月期間，台灣海峽海流流速較小且河川進入枯水期，故漂沙濃度較高處皆分布於河川出海口，漂沙傳輸現象並不明顯，大部分沉積量亦分布於台中至嘉義外海一帶，其與雲彰隆起位置相符。進入夏季豐水期時，河川輸沙量漸增，台灣西部海岸於雲彰隆起處出現更明顯漂沙堆積現象，而台灣西北部海域一帶亦出現漂沙濃度較高現象，其部分來源應為台灣西北部河川之輸沙，加上中西部河川輸沙受到向北海流傳輸至此有關。由月平均趨勢觀察可知，對照 4.4 節台灣海域月平均優勢海流特性，2 月份台灣海峽內向海流向北流動流速最小，西北海域一帶漂沙濃度與沉積量就越小，故此處海域漂沙應有部分來自台灣中西部海岸，受台灣海峽內向

北流動海流帶動至此處。再者，由圖中海流分布可知，台灣中西側外海流速強勁，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，故帶走台灣中西側漂沙向北移動，形成台灣海域中西部與西北部兩處明顯堆積現象。而桃園至苗栗一帶海域出現堆積現象不明顯之原因，可能與桃園至苗栗一帶無輸沙量較大之河川外，亦與海流繞過雲彰隆起之後向著台灣海岸流動，造成漂沙不易在河口外海處堆積，會隨著此處較強海流，沿著海岸向北移動至西北部海域，再由西北部海域較強之往復潮流運動帶離沿岸至外海沉澱堆積。由於高屏溪年輸沙量為全台第二大，故台灣西南海域大部分漂沙來源應由高屏溪所輸出。觀察台灣西南海域逐月份漂沙濃度與沉積分布現象，由於台南至屏東外海為大陸棚交界，水深亦超過 100 公尺，漂沙若遠離沿海後可能下降至陸棚或峽谷深處，故形成漂沙沉積量較高處皆沿著台南至屏東一帶海岸分布。根據 4.4 節台灣西南海域優勢海流特性分析，由於南海吹送流與黑潮主流的影響，西南海域從 5 月份後西南向海流流速漸強，漂沙則會隨海流繞過墾丁海域，造成台灣東南部海域出現明顯漂沙濃度較高現象，且從 5 月份後墾丁海域開始出現沉積現象，至 11 月份後進入枯水期後，此處海域之沉積現象才逐漸消失，其漂沙濃度分布現象與西南部海域往南之優勢海流方向和高屏溪豐水期輸沙量高有一定關聯性。再觀察台灣東部海域漂沙濃度與沉積量變化趨勢，由於模式計算之河川輸沙條件中，台灣東部最南位置之河川為卑南溪，而台灣東岸終年都有明顯向北流動之黑潮主流，故台灣東南部海域之漂沙濃度較高之現象，除了由西南部河川輸沙順著西南部海域往南流動之優勢海流與黑潮主流帶動繞過台灣南端所致外，台灣東南部海域在黑潮主流外側有一明顯回流產生，亦可能帶動卑南溪所輸出的漂沙往南移動。由於台灣東部海域地形坡陡水深，故除了在豐水期間在沿岸一帶有明顯漂沙濃度較高與沉積現象外，大部分月份之漂沙傳輸現象皆是隨著黑潮由南向北移動，尤其是在夏季時漂沙隨著黑潮流往北方的明顯現象。而觀察宜蘭海域，由於黑潮在蘇澳西側海域即轉向西北方流動，造成宜蘭海域形成一強流區外的回流現象，由於洋流流速較小且台灣東部海域潮流流速亦較小之情況下，故蘭陽溪所輸出

之漂沙可呈三角狀分布之傳輸擴散沉積。

## 5.2 台灣海域漂沙現象之季、年平均傳輸潛勢

由上節所述之漂沙傳輸擴散月平均為基礎，利用月平均值計算台灣海域季、年平均漂沙傳輸潛勢特性分析，而春季為 3 至 5 月、夏季為 6 至 8 月、秋季為 9 至 11 月、冬季為 12 至 2 月。為了探討台灣海域漂沙傳輸特性，本節亦假設由台灣河川輸沙量最高之濁水溪作為唯一漂沙來源，並與台灣主要 20 條河川輸沙量所引致之漂沙傳輸現象做一對照分析。圖 5-2 至圖 5-5 分別為春、夏、秋、冬季之季平均漂沙濃度與表面海流及沉積量分布圖，圖(a)、(b)、(c)分別為台灣主要 20 條河川輸沙量所引致之表面漂沙濃度、水深 40 公尺處漂沙濃度及沉積量分布圖，而圖(d)、(e)、(f)分別為濁水溪單獨所引致之表面漂沙濃度、水深 40 公尺處漂沙濃度及沉積量分布圖，圖中箭頭表示相對應深度之季平均海流流速流向，色階則表示漂沙濃度與沉積量分布情況。由季平均比較 20 條主要河川與濁水溪單獨所引致之台灣海域漂沙濃度分布圖可知，由於濁水溪年總輸沙量幾乎為其他河川輸沙量之數百倍，故台灣西部與西北部之漂沙濃度主要來源應為濁水溪所輸出，觀察濁水溪單獨輸出漂沙之模擬結果，在夏秋兩季，濁水溪所輸出之漂沙甚至可到達台灣東北部海域，但濁水溪所輸出之漂沙最南僅到達台南北部沿海，此與林等人(1997)調查台灣西南部海岸底質特性所得之結論一致。此現象與 4.4 節中所述之台灣海域優勢海流大部分向北特性具有一致性，台南以北之西部海域大尺度漂沙趨勢大致上為由南向北。其亦可推論，漂沙來源可以台南為分界，台南以北海域漂沙主要來源為濁水溪，以南則由高屏溪為主。

圖 5-6 為台灣海域年平均漂沙濃度與表面海流及沉積量分布圖，圖(a)、(b)、(c)分別為台灣主要 20 條河川輸沙量所引致之表面漂沙濃度、水深 40 公尺處漂沙濃度及沉積量分布圖，而圖(d)、(e)、(f)分別為濁水溪單獨所引致之表面漂沙濃度、水深 40 公尺處漂沙濃度及沉積量分布

圖，圖中箭頭表示相對應深度之季平均海流流速流向，色階則表示漂沙濃度與沉積量分布情況。由年平均漂沙濃度分布圖可看出，漂沙濃度較高之區域為雲林、彰化海域其與雲彰隆起三角形狀具有一致性；台灣西北部海域其與海流流速在此處海域較小應有相關性；台灣西南部沿岸海域其應為高屏溪輸沙量較高與夏季西南向優勢海流有關；宜蘭海域則與海流流速較小形成蘭陽溪輸沙量未往遠處傳輸特性有關。

莊與江(2002)曾利用大比例尺度海圖(如圖 5-7)、台灣實測海流分布及潮流模式配合漂沙潛勢模式探討台灣環島近岸海域水深 50 米以內的大型水下沙體之形成現象，其藉著潮流的非現性本質所衍生之潮殘餘流分布推測，台灣西部海域漂沙潛勢整體分布型態應為由南往北，因此造成台灣中西部的彰化、台中與苗栗一帶海岸具有自然淤積趨勢外，而台灣南部的墾丁、西南部的台南、嘉義及西北部的桃園、淡水與基隆等沿岸海域則具有明顯之自然侵蝕趨勢。由於本計畫設定較大之漂沙臨界剪應力，故並無法看出侵蝕現象，但以圖 5-7 中白色階顯示之 50 米等深線海域內之地形對照本節模擬結果，雲彰隆起、台灣西南海域、西北海域、南部墾丁海域及宜蘭海域所形成之堆積現象有定性上之一致性。

本計畫以潮流與洋流綜合效應之海流場驅動漂沙傳輸擴散模式，以台灣 20 條主要河川流量與輸沙量為來源，設定較大漂沙臨界剪應力以忽略侵蝕現象，藉以探討由河川輸沙所引致之漂沙傳輸擴散現象，從結果中可發現，台灣中西側海域之沉積量最高，此沉積現象與雲彰隆起之海底地形具有一致性，而台灣西南海域、西北海域、南部墾丁海域及宜蘭海域亦有明顯之堆積現象。由以濁水溪作為唯一輸沙來源之模擬結果中亦發現，台南以北之西部海域大尺度漂沙趨勢大致上為由南向北，而漂沙來源可以台南為分界，台南以北海域漂沙主要來源為濁水溪，以南則由高屏溪為主。

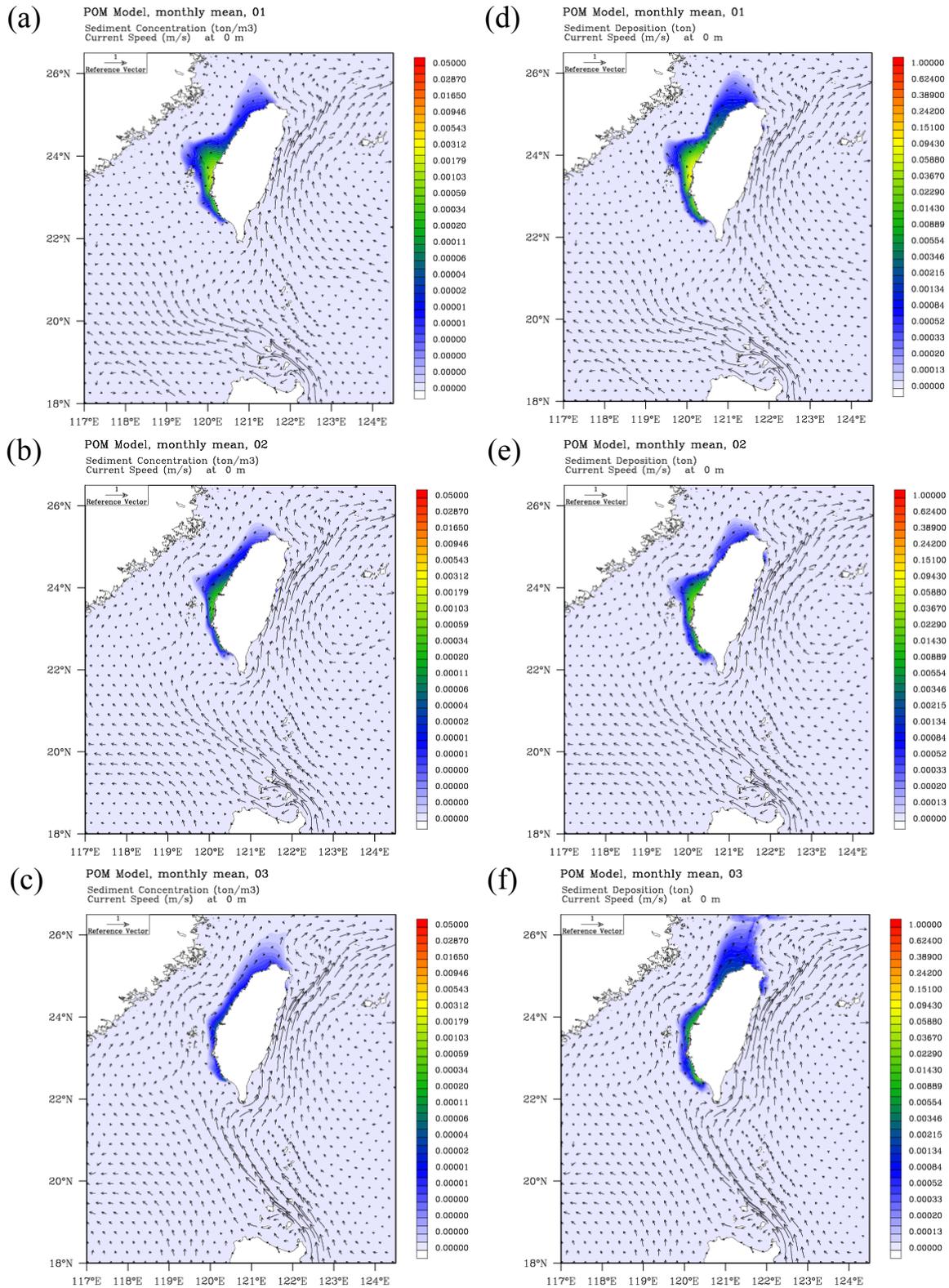


圖 5-1 台灣海域 T3 模式月平均漂沙濃度與沉積量分布圖(1 至 3 月)；(a)~(c)1 至 3 月平均漂沙濃度，(d)~(f)1 至 3 月平均沉積量

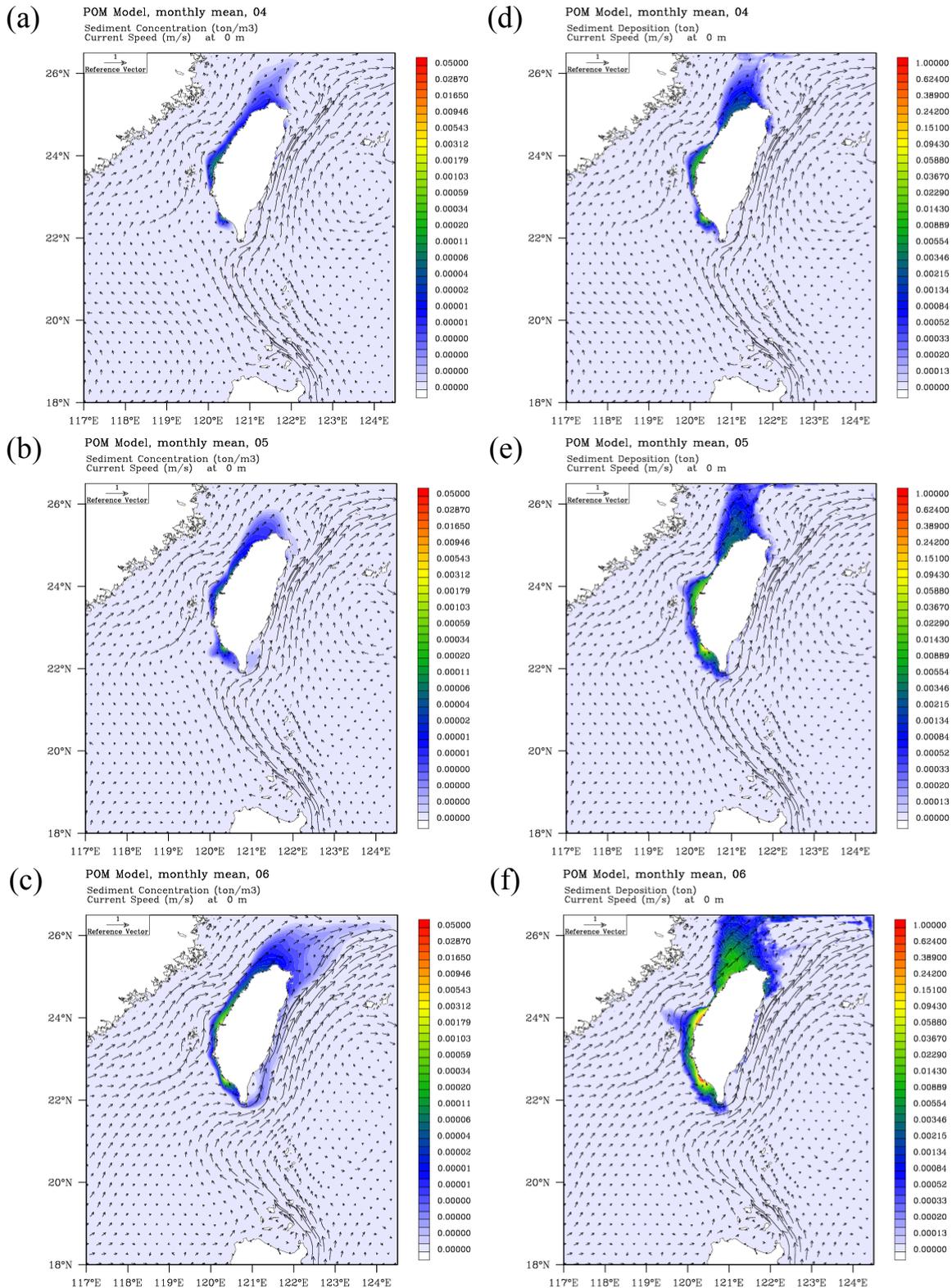


圖 5-1(續) 台灣海域 T3 模式月平均漂沙濃度與沉積量分布圖(4 至 6 月)；(a)~(c)4 至 6 月平均漂沙濃度，(d)~(f)4 至 6 月平均沉積量

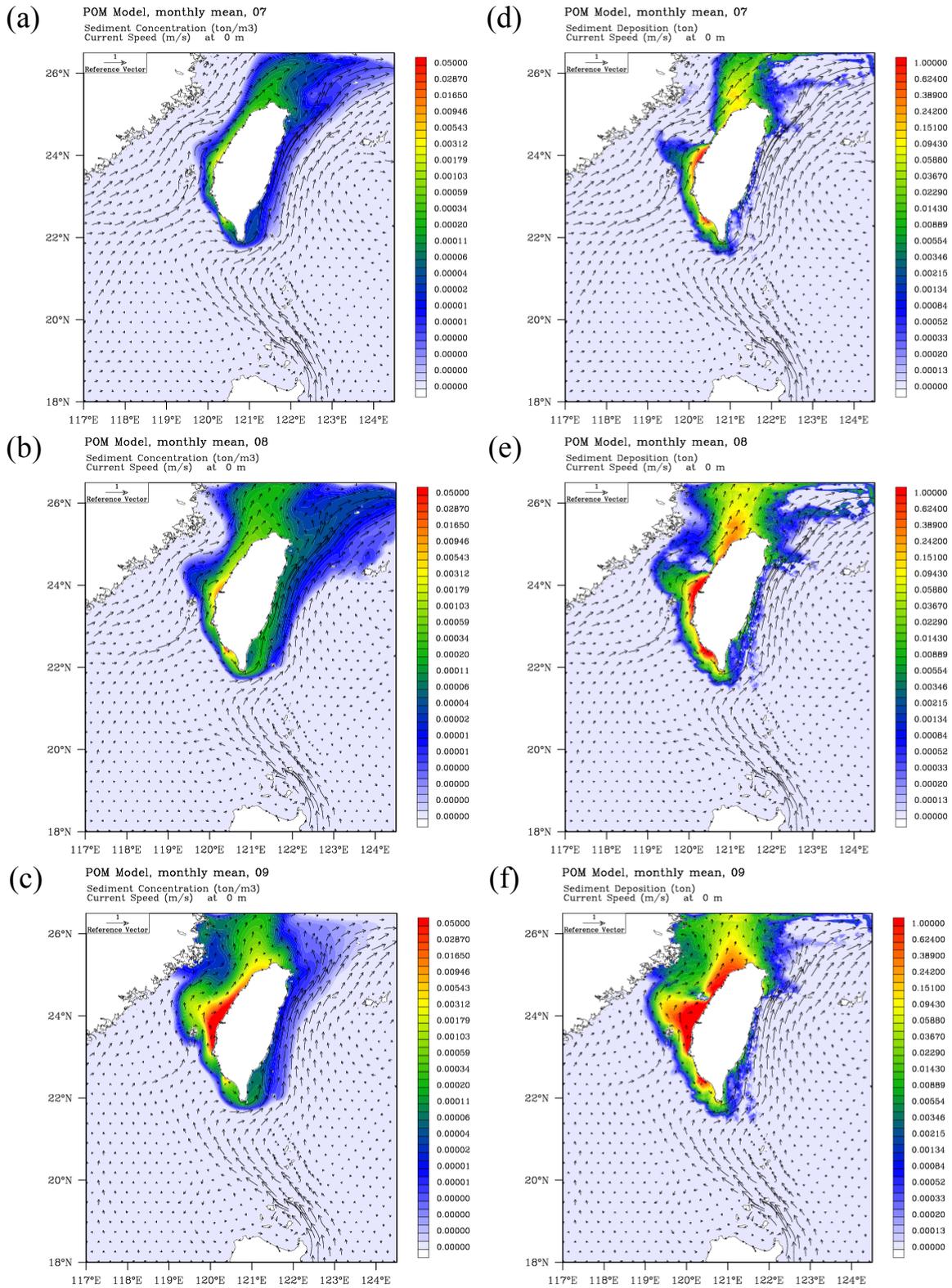


圖 5-1(續) 台灣海域 T3 模式月平均漂沙濃度與沉積量分布圖(7 至 9 月)；(a)~(c)7 至 9 月平均漂沙濃度，(d)~(f)7 至 9 月平均沉積量

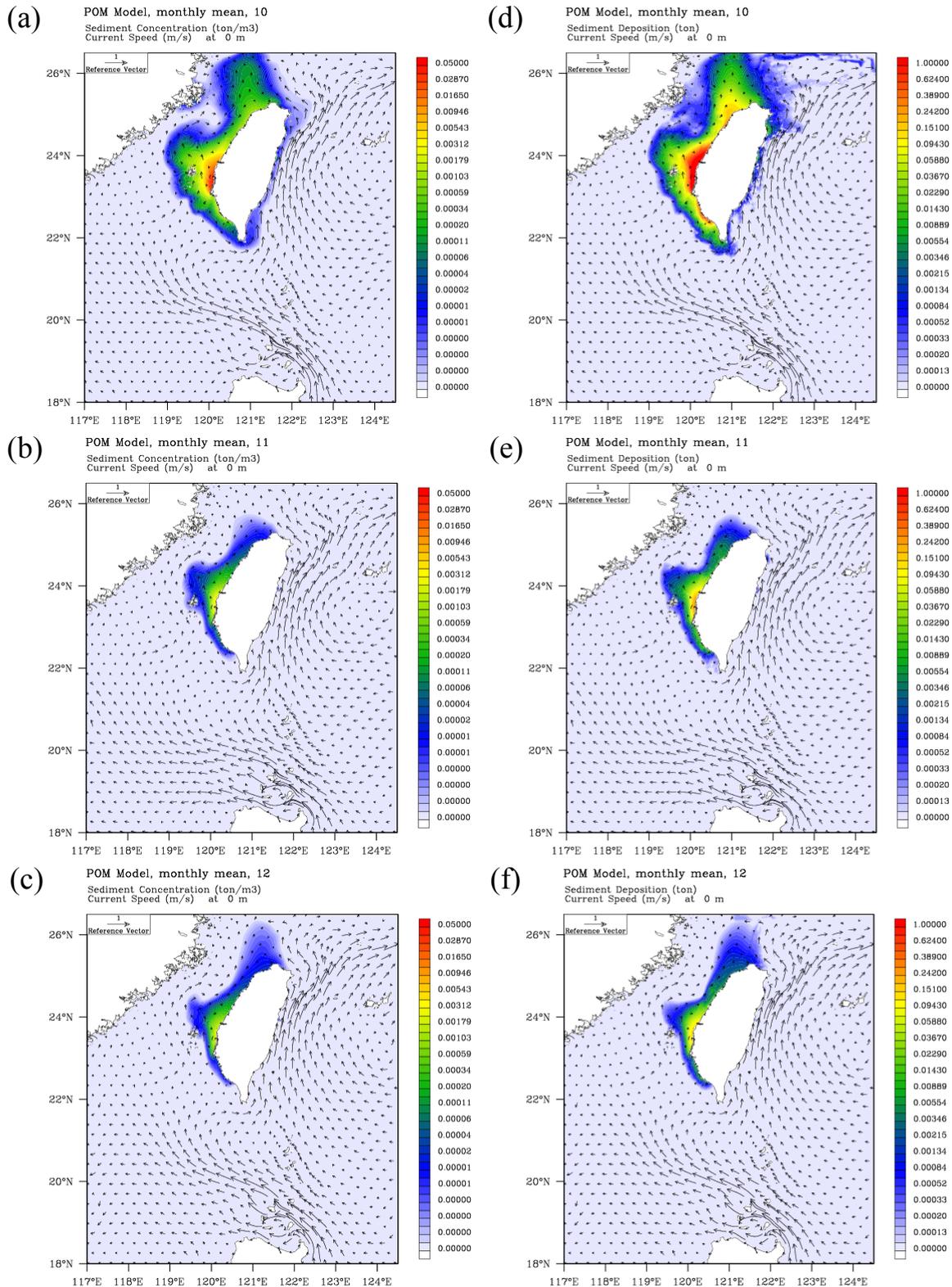


圖 5-1(續) 台灣海域 T3 模式月平均漂沙濃度與沉積量分布圖(10 至 12 月)；(a)~(c)10 至 12 月平均漂沙濃度，(d)~(f)10 至 12 月平均沉積量

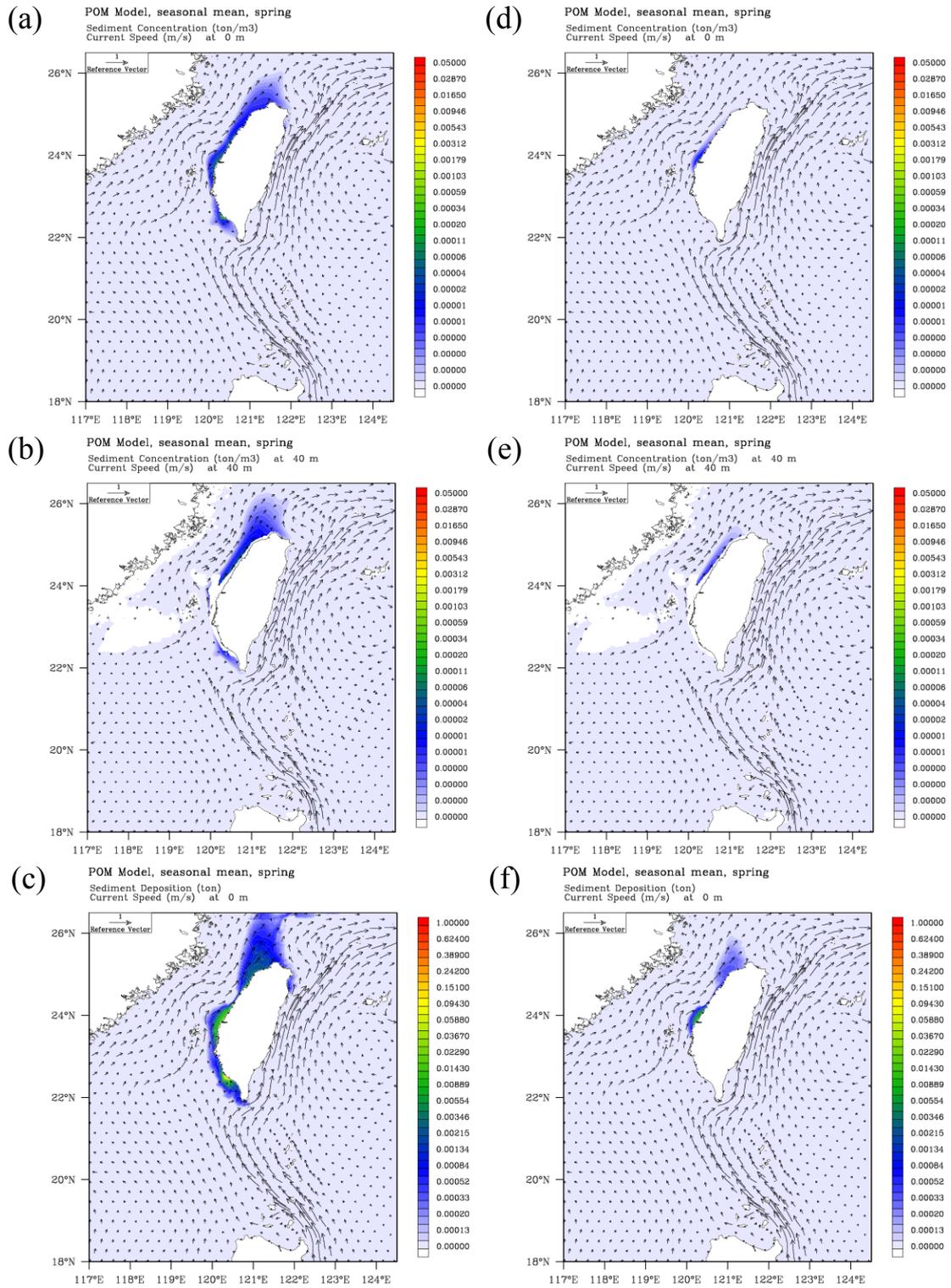


圖 5-2 台灣海域春季平均漂沙濃度與沉積量分布圖；(a)~(c)20 條河川之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量，(d)~(f)僅考慮濁水溪之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量

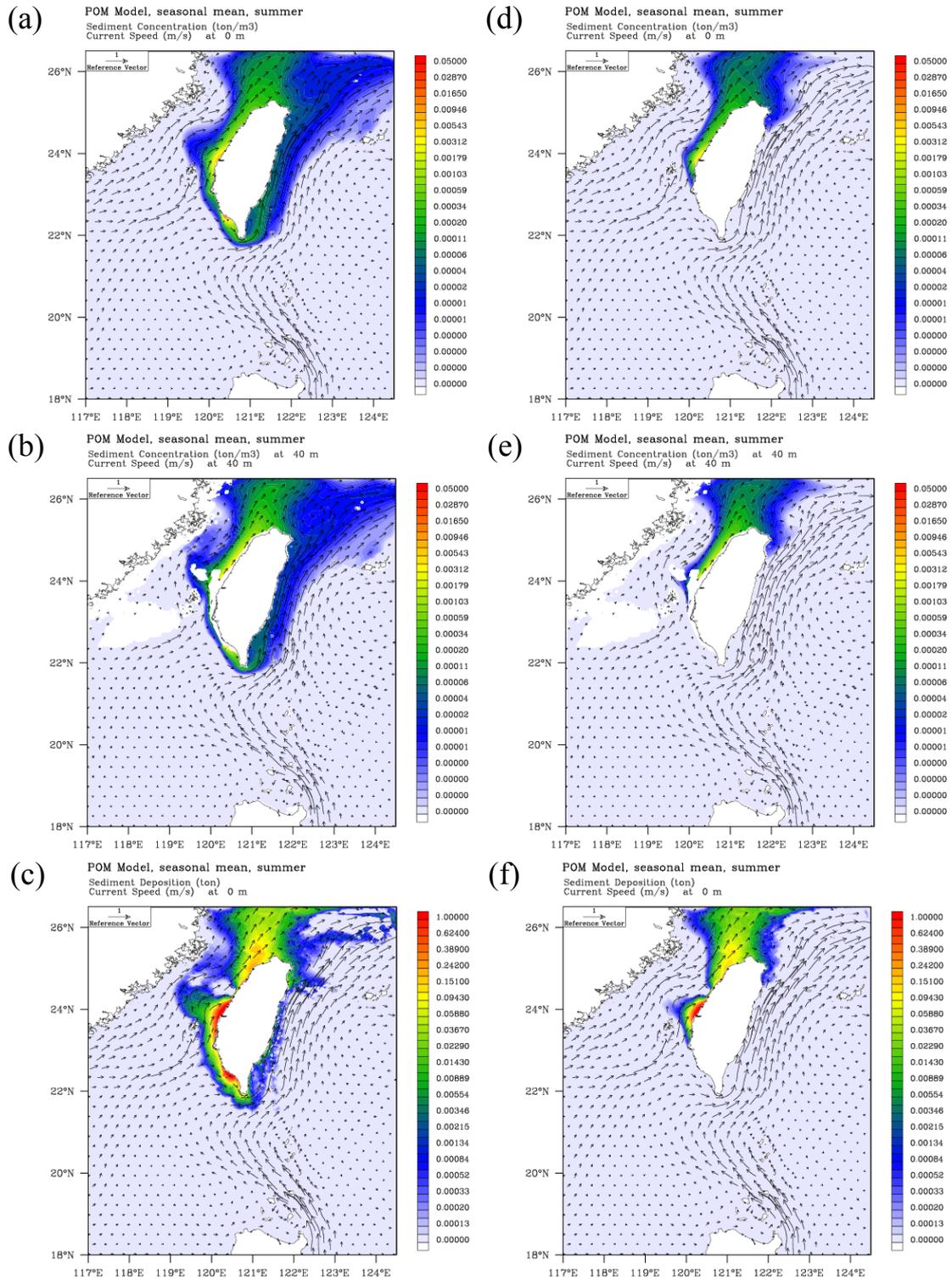


圖 5-3 台灣海域夏季平均漂沙濃度與沉積量分布圖；(a)~(c)20 條河川之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量，(d)~(f)僅考慮濁水溪之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量

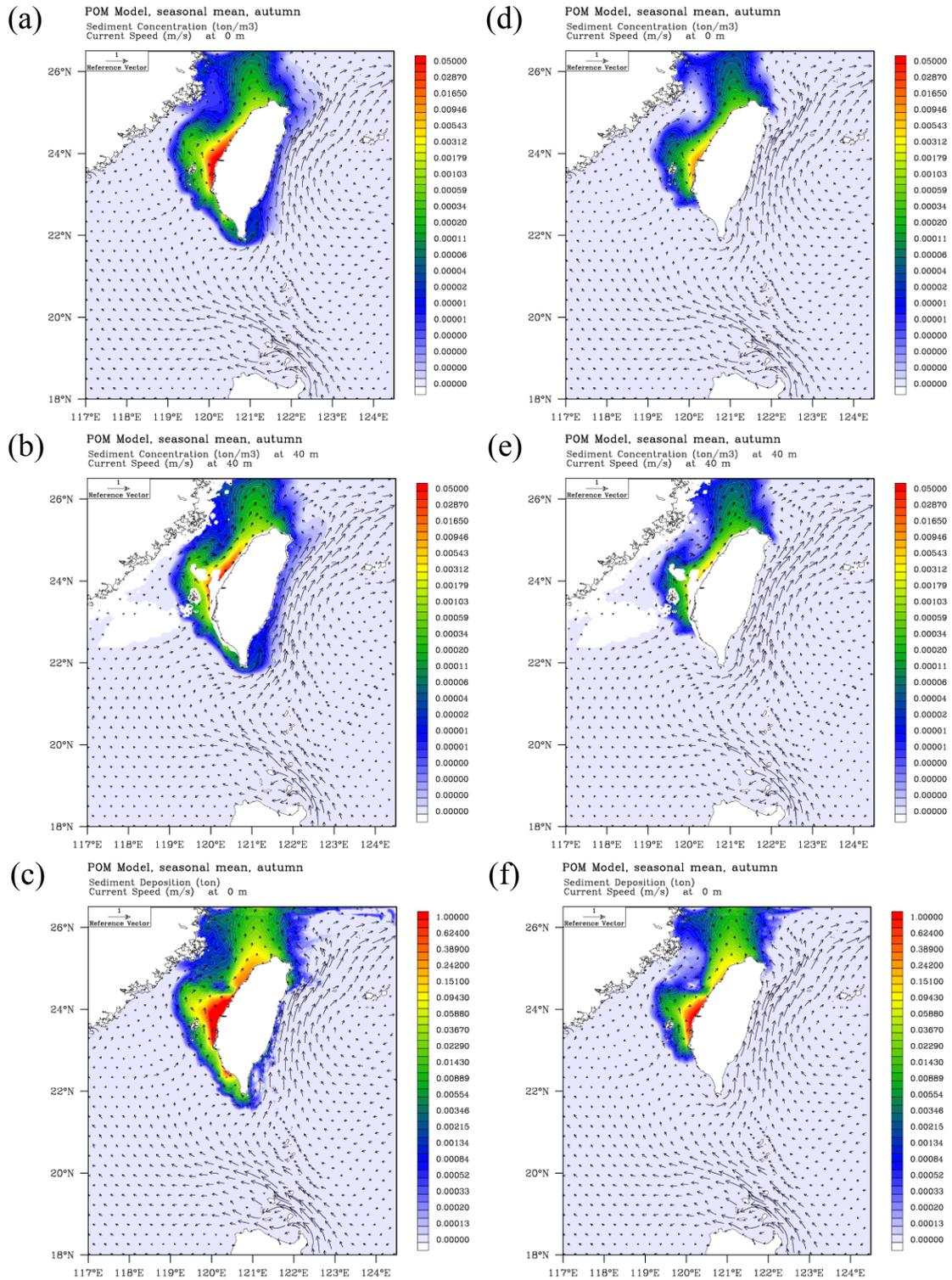


圖 5-4 台灣海域秋季平均漂沙濃度與沉積量分布圖；(a)~(c)20 條河川之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量，(d)~(f)僅考慮濁水溪之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量

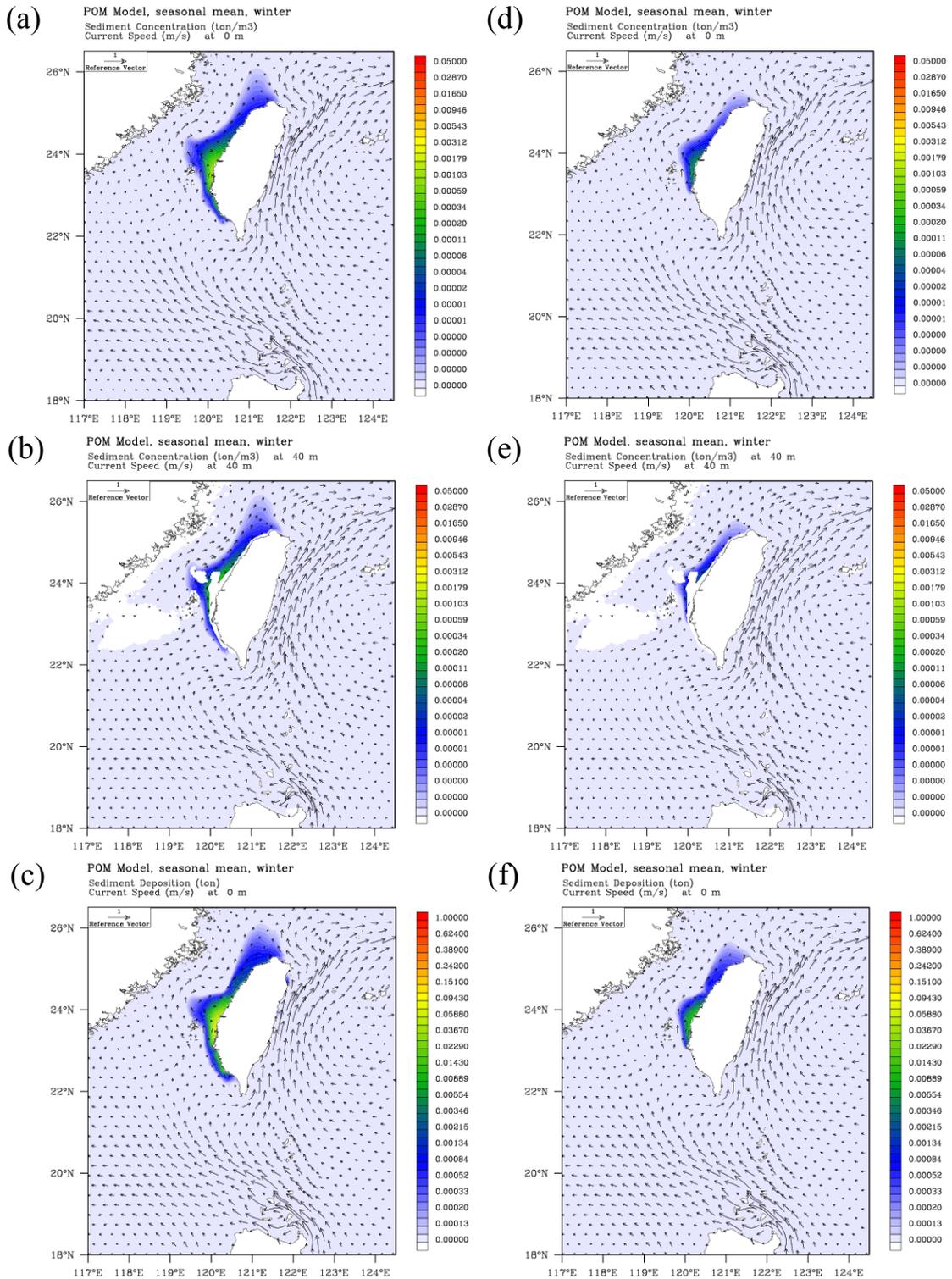


圖 5-5 台灣海域冬季平均漂沙濃度與沉積量分布圖；(a)~(c)20 條河川之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量，(d)~(f)僅考慮濁水溪之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量

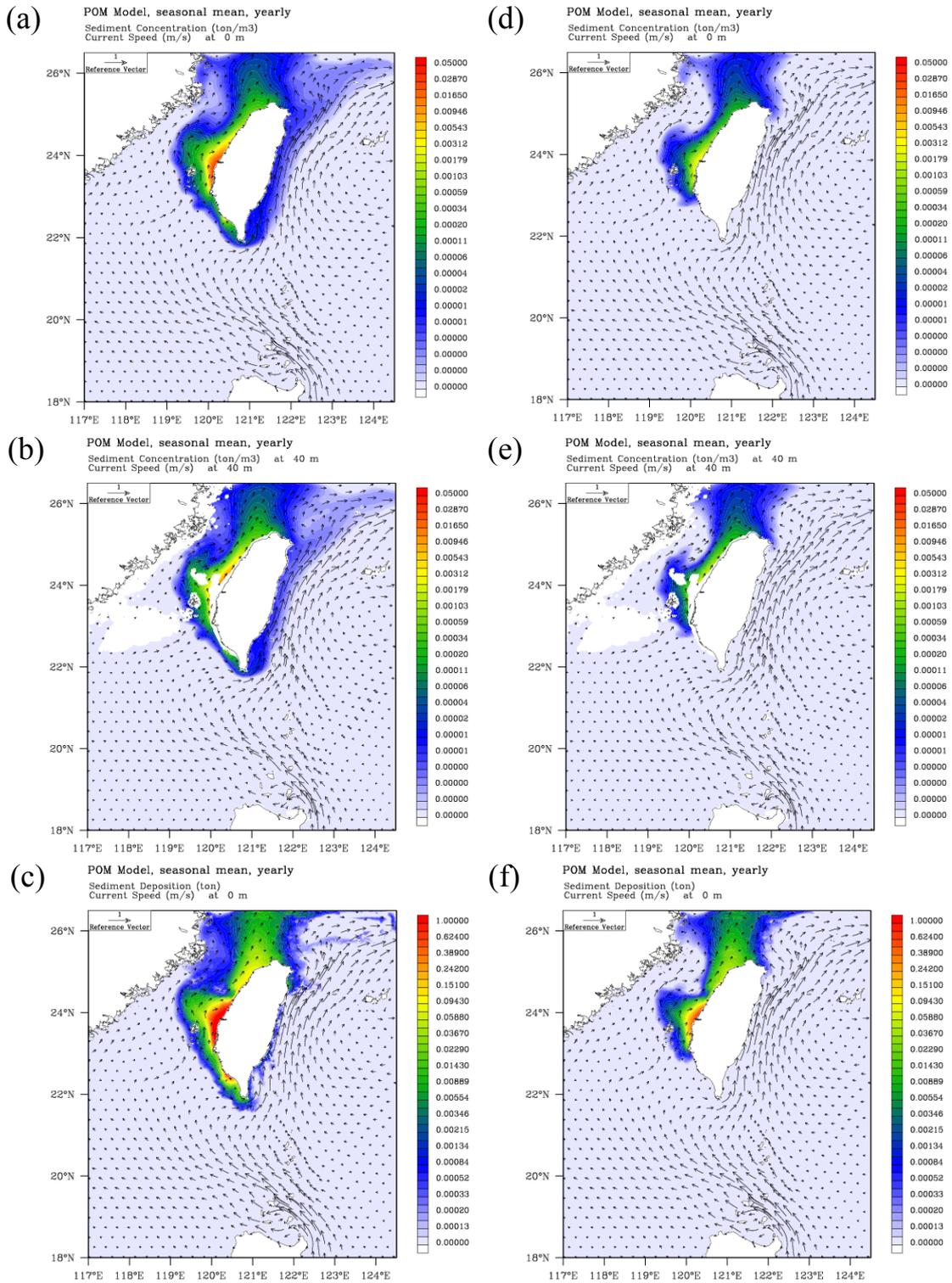


圖 5-6 台灣海域年平均漂沙濃度與沉積量分布圖；(a)~(c)20 條河川之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量，(d)~(f)僅考慮濁水溪之表面漂沙濃度、40 公尺深漂沙濃度、沉積量



圖 5-7 台灣環島近岸海域之水下沙體(莊，2009；聯勤司令部測量署  
1998 年所製)

## 第六章 結論與建議

海流是海洋的動脈，近岸海域之漂沙主要藉由其輸運配送。惟在臺灣環島海域，相關本土性大尺度海流的特性，例如：月季變動特性、恆常海流的優勢流速與流向特性、由海流所引致海岸長期性沖淤潛勢特性等諸多有關海岸保育的相關課題，皆尚待深入研究探討及釐清。為此，配合四年期研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之研究目的，本研究因此以準確模擬計算臺灣海域綜合洋流與潮流效應之大尺度海流為目標，進而結合海流對漂沙之輸運特性，探討並評估海流所引致長期性、大規模之海岸沖淤潛勢。藉以深耕海岸保育、永續經營及利用的關鍵課題，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。

### 6.1 結論

本計畫針對台灣鄰近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)，建置台灣海域海流模擬系統，利用實測數據進行模式驗證後，可以合理模擬台灣海域綜合洋流與潮流變動特性之三維流場。本年度主要工作項目為延續計畫成果，持續改善模式合理性與模擬精度，以潮流與洋流綜合效應之海流模擬探討台灣海域年季月海流特性，並建置漂沙傳輸擴散模式，以台灣 20 條主要河川流量與輸沙量為來源，設定較大漂沙臨界剪應力以忽略侵蝕現象之假設下，以探討台灣海域大尺度漂沙潛勢現象評估，在本計畫研究中獲得下列結論：

1. 在模式建置方面，利用 MPI 平行計算方式改善 POM 模式計算效率並增加未來擴充性，本年度利用台灣近岸海域高解析度格網，考量綜合洋流與潮流效應，其模擬可應用為台灣海流特性探討與漂沙傳輸擴散模擬分析。

2. 透過海洋學門海流資料庫、水文資料庫之年季平均比較中，驗證本計畫所建置之台灣附近海域洋流模式可適切呈現台灣附近海域洋流流動特性，對溫鹽等海洋水文特性亦可合理掌握。
3. 在模式精度改善中發現，三維潮汐 POM 模式可以改善台灣海峽中段(如台中港潮汐水位)模擬不佳的現象，可以大幅改善潮汐水位振幅無法與實測值一致的結果，而其餘之安平、高雄、花蓮及蘇澳測站之比較中，三維與二維潮汐 POM 模式所模擬之結果比較則無明顯差距。
4. 從台灣海峽流出入通量判斷，利用相同參數計算條件下，三維模式流速明顯大於水深平均二維模式，而於漲潮段時，南斷面於海峽中線至台灣側明顯流速皆超過每秒 1 公尺，北斷面流速則於大陸側明顯偏大；在退潮段時，南北兩斷面最大流速則皆明顯出現於台灣側。
5. 由台灣海域綜合洋流與潮流計算模擬結果分析，台灣海域之海流優勢方向大部分都是由南向北，尤其在夏季更是明顯。但在夏季時，受到南海吹送流到達台灣西南海域並匯入黑潮主流的影響，台灣西南海域在夏季的海流優勢方向則是由北向南。
6. 而台灣北部海域由於台灣海峽內海流與黑潮向北流動影響，在台灣北部海域之兩股流動間明顯存在一流速較小區域。在澎湖群島附近海域優勢海流則是由南向北流動，而海流繞過雲彰隆起後，在台中至桃園一帶海域形成向北海流之流速較強區域。
7. 由年平均漂沙濃度分布圖可看出，漂沙濃度較高之區域為雲林彰化海域，台灣西北部海域，台灣西南部沿岸海域及宜蘭海域，其與台灣海域優勢海流特性具有明顯相關性。
8. 而由漂沙沉積分布圖中可知，台灣中西側海域之沉積量最高，此沉積現象與雲彰隆起之海底地形具有一致性，而台灣西南海域、西北海域、南部墾丁海域及宜蘭海域亦有明顯之堆積現象，其與

台灣海域大規模沙體沉積現象具有定性上之一致性。

9. 以濁水溪作為唯一輸沙來源之假設模擬結果中發現，台南以北之西部海域大尺度漂沙趨勢大致上為由南向北，而漂沙來源可以台南為分界，台南以北海域漂沙主要來源為濁水溪，以南則由高屏溪為主。

## 6.2 建議

1. 本計畫利用三層巢狀模擬海流方式與漂沙傳輸擴散模式，可以合理模擬台灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流特性與漂沙傳輸擴散特性，但由於巢狀計算方式雖可以提供合理的模擬結果，但作業程序複雜，需要大量計算資源，對於後續應用與推廣可能有執行上的困難。
2. 本計畫僅考慮海域大尺度漂沙傳輸模式之模擬，而沿岸漂沙仍須考慮近岸波浪所引致之沿岸流系統，若要更進一步模擬沿岸漂沙堆積與侵蝕現象，應要建置波浪模式，藉由波流耦合模擬，配合高解析度漂沙傳輸擴散模式以模擬沿岸地形侵淤變化趨勢。

## 參考文獻

1. Aikman, F., G. L. Mellor and D. B. Rao, T. Ezer, D. Shenin, K. Bosley and P. Chen (1996) "Toward an operational nowcast/forecast system for the U.S. east coast," *Modern Approaches to Data Assimilation in Ocean Modeling*, P. Malanotte-Rizzoli, Ed., Elsevier, pp. 347-376.
2. Amante, C. and B. W. Eakins, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, March 2009.
3. Ariathurai, R., and R. B. Krone (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, 98–106.
4. Barron, C. N., A. B. Kara, R. C. Rhodes, C. Rowley and L. F. Smedstad (2007) *Validation test report for the 1/8<sup>o</sup> global navy coastal ocean model nowcast/forecast system*, NRL Report No. NRL/MR/7320--07--9019, 149pp.
5. Bowden, K. F. and P. Hamilton (1975) "Some experiments with a numerical model of circulation and mixing in a tidal estuary," *Estuarine and Coastal Marine Science*, 3(3), pp. 281-301.
6. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (1983) "Diagnostic and prognostic numerical circulation studies of the South Atlantic Bight," *J. Geophys. Res.*, 88, pp. 4579-4592.
7. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (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..
8. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
9. Ezer, T. and G. L. Mellor (1997) "Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model," *J. Geophys. Res.*, 102, pp. 15647-15657.

10. Ezer, T. (1999), "Decadal variabilities of the upper layers of the subtropical North Atlantic: An ocean model study," *J. Phys. Oceanogr.*, 29(12), pp. 3111-3124.
11. Ezer, T. and G. L. Mellor (2000) "Sensitivity studies with the North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32, pp. 155-208.
12. Hsin, Y.-C., C.-R. Wu and P.-T. Shaw (2008) "Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan, 1982-2005: A numerical study," *J. Geophys. Res.*, 113, C04002.
13. Kalnay et al. (1996) "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, pp.437-470.
14. Lardner, W. and H. M. Cekirge (1988) "A new algorithm for three- dimensional tidal and storm surge computation," *Appl. Math. Modelling*, 12, pp. 471-481.
15. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation," RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
16. Liu, C. S., S. Y. Liu, S. E. Lallemand, N. Lundberg and D. Reed. (1998) "Digital Elevation Model Offshore Taiwan and Its Tectonic Implications," *TAO*, 9 (4), pp. 705-738.
17. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans," *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.
18. Martin, P.J. (2000) *Description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0*, NRL Report No. NRL/FR/7322/00/9962, 45pp.
19. Martin, P.J., G. Peggion, and K.J. Yip (1998) *A comparison of several coastal ocean models*, NRL Report No. NRL/FR/7322/97/9692, 96pp.
20. Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe (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.*, 56, pp. 567-581.

21. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
22. Mellor, G. L., S. Hakkinen, T. Ezer and R. Patchen (2002) "A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids," *Ocean Forecastings: Conceptual Basis and Applications*, Pinardl, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
23. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982) "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems," *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20<sub>2</sub>, pp. 851-875.
24. National Geophysical Data Center (2006) ETOPO2v2 data set, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html>.
25. Nihoul, J. C. J. (1977) "Three-dimensional model of tides and storm surges in a shallow well-mixed continental sea," *Dyn. Atmos. Oceans*, 2, pp. 29-47.
26. Oey, L. Y. (2005) "A wetting and drying scheme for POM," *Ocean Modelling*, 9, pp. 133-150.
27. Oey, L. Y. (2006) "An OGCM with movable land-sea boundaries," *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.
28. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985a) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part I: Description of the model and model simulations," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1676-1692.
29. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985b) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part II: Comparison with observation," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1693-1709.

30. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985c) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part III: Salt flux analyses," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1711-1720.
31. Park, K. and A. Y. Kuo (1993) "A vertical two dimensional model of estuarine hydrodynamics and water quality," *Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering*, 321, Virginia Institute of Marine Science.
32. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
33. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
34. Simons, T. J. (1974) "Verification of numerical models of Lake Ontario. Part I, circulation in spring and early summer," *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 507-523.
35. Smagorinsky, J., S. Manabe and J. L. Holloway (1965) "Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere," *Mon. Weather Rev.*, 93, pp. 727-768.
36. Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson and Jay Lawrimore (2008) "Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006)," *J. Climate*, 21, pp. 2283-2296.
37. Soulsby, R.L. (1997) *Dynamics of marine sands*, Thomas Telford Publications, London.
38. Stelling, G. S., A. K. Wiersma and J. B. T. M. Willemse (1986) "Practical aspects of accurate tidal computations," *J. Hydr. Eng.*, ASCE, 112(9), pp. 802-817.
39. Tang, T. Y. and J. C. Ma (1995) "A note on the accuracy of shipboard ADCP on Ocean Research I," *Acta. Oceanogr.*, Taiwanica, 34, pp. 71-81.
40. 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*, 32, pp. 3113-3131.

41. Wu, C.-R., S.-Y. Chao and C. Hsu (2007) "Transient, seasonal and interannual variability of the Taiwan strait current," *J. Oceanogr.*, 63, pp.821-833.
42. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
43. 劉文俊 (1996), 「台灣的潮汐」, 初版。
44. 吳仁友 (1997), 「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」, 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
45. 王玉懷 (1998), 「台灣海峽的潮汐特性」, 八十七年國科會海洋成果發表會論文摘要集, 203-208。
46. 陳陽益、許弘莒、許志宏 (1998), 「海潮流軌跡之數理推測與實測」, 第二十屆海洋工程研討會論文集, 基隆, 71-79。
47. 林政偉 (1999), 「感潮河段之計算研究」, 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
48. 王玉懷 (1999), 「TSNOW 現場觀測資料報告」, 台灣海峽海況即時預報模式研討會論文摘要集, 國家海洋科學研究中心, 16-21。
49. 劉文俊 (1999), 「台灣的潮汐」, 第二版。
50. 莊文傑 (2000), 「台灣海峽潮波協振盪之研究」, 國立台灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。
51. 莊文傑、江中權 (2000a), 「台灣四周海域海流數值模擬研究」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 257 頁。
52. 莊文傑、江中權 (2000b), 「臺灣海峽兩岸之潮汐特性」, 第十一屆水利工程研討會論文集, 台北, I:15-21。
53. 黃良雄、吳仁友、曾鈞敏 (2001), 「感潮河口之水理計算—以鹽水溪為例」, 中國土木水利工程學刊, 第十三卷, 第三期, 533-541。
54. 林宗儀、蔡金郎、阮香蘭 (2001), 「台灣西南部海岸海灘沉積物特性」, 第二十三屆海洋工程研討會論文集, 台南, 453-457。

55. 葉姍霈 (2002), 「台灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」, 國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。
56. 莊文傑、江中權 (2002), 「潮流與台灣環島沿岸之水下沙體」, 第二十四屆海洋工程研討會論文集, 台中, 579-586。
57. 莊文傑、江中權 (2003), 「台灣四周海域海流數值模擬研究(三)-基隆港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 248 頁。
58. 盧鴻復、吳朝榮 (2005), 「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」, 海洋技術季刊第十四卷第四期, 12-18。
59. 許盈松、蔡俊鋒、魏綺瑪、黃宏莆(2007), 「水庫泥沙濁度與濃度率定關係研究—以石門水庫為例」, 農業工程學報, 第 53 卷第 1 期, 62-71。
60. 經濟部水利署 (2008), 「台灣水文年報」。
61. 經濟部水利署 (2009), 「台灣水文年報」。
62. 莊文傑 (2009), 「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)」, 交通部運輸研究所, 140 頁。
63. 經濟部水利署 (2010), 「台灣水文年報」。
64. 廖建明、許泰文、莊文傑、石棟鑫、杜佳穎、陳俊文 (2010), 「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」, 交通部運輸研究所, 156 頁。
65. 許泰文、許榮中、藍元志、李怡婷、李芳君、鄭明宏、許哲彰 (2010), 「動態人工岬灣應用於台南高雄海岸之研究」, 經濟部水利署, 250 頁。
66. 蔡立宏、溫志中、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋(2010), 「近岸漂沙機制與防治研究(1/4)」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 2-28 頁。
67. 廖建明、許泰文、何興亞、石棟鑫、杜佳穎、陳俊文、王毓麒、莊文傑 (2011), 「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」, 交通部運輸研究所, 186 頁。

68. 蘇青和、廖慶堂、徐如娟 (2011), 「2009 年港灣海氣地象觀測資料年報」, 交通部運輸研究所, 756 頁。
69. 曾相茂、陳佳興、何良勝、楊怡芸、陳進冰、李政彥、陳華雄、蕭俊賢、鄭景文、鄭璟生(2011), 「臺灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(2/4)」, 交通部運輸研究所, 376 頁。
70. 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, 23 (1), 4-8。
71. 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, 高雄, 435-440。
72. 廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌(2012), 「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, 414 頁。
73. 行政院國家科學委員會, 海洋學門資料庫, <http://www.odt.ntu.edu.tw/wordpress/>。

## 附錄一 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

# 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

委託單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

承辦單位：財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

中華民國 101 年 12 月

## 一、前言

本計畫透過引進與建置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完成台灣海域的海潮流模擬。並建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續計畫所需的分析程式，以提供一有效工具模擬分析台灣海域之海潮流特性。本操作手冊「港灣技術中心研究中心 POM 模式操作手冊」詳細介紹本計畫所建置之「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式 IHMT-POM」的模式架構與操作流程，以提供使用者操作的依據。

在本操作手冊中，將依序說明模式的架構、說明主程式 POM 模式與相關前置、後置處理程式的輸入條件，並以範例說明方式讓使用者能快速瞭解模式的組成與操作。

## 二、模式架構

本模式「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式」(IHMT-POM)建置在 Linux 作業系統的環境下，關於作業環境系統與相關軟體工具的設定於期中報告中第三章有詳細的說明，其中包括 Linux 作業系統、Fortran 編譯器與 NetCDF 工具程式等，使用者必須依據其說明將作業環境設定後方可進行隨後的運算環境的設定。在本操作手冊中以字型來代表不同目錄、檔案、變數或指令等不同的意義，以英文 *Times New Roman* 斜體字型表示檔案名稱，以英文 **Times New Roman** 粗體字型表示電腦檔案中之目錄名稱，以英文 *Book Antiqua* 字型則是命令腳本或設定檔案中的文字，以英文 *Book Antiqua* 斜體字型則是表示使用者必須在命令模式下所輸入的指令，使用者可藉此區別不同的用途。

### 1. 模式檔案與目錄架構

在目錄架構方面，在使用者家目錄下首先建立一個模式運算目錄 **IHMTpom**，目錄中所應該包括 **bin**、**data**、**src**、**NCLsripts** 與模擬方案名稱如 **global**、**nwpo**、**taiwan** 等目錄。其中 **bin** 目錄中放置與

運算方案無關的可執行程式檔與命令腳本，**data** 目錄中放置本計畫第三章中所收集的海氣象與地形資料庫，**src** 目錄中則是放置程式的原始檔案可供使用者編譯與修改。而模擬方案名稱則是隨使用者自行建立，可依照模擬的方案命名。

而 IHMT-POM 模式中的副檔名命名方式皆有一定規則，副檔名的命名方式說明如下：

f、for、f90：Fortran 程式語言檔。

sh：Linux 作業系統中 BASH 環境之命令腳本檔。

inp：為程式執行所需的輸出的資料，主要的海氣象與地形資料皆包括其中，其格式為文字檔。

in：為程式執行所需的命令檔，其格式為文字檔。

nml：為模式執行所需的命令檔，但是由 Fortran 語言之 namelist 格式所建立，其格式為文字檔。

prn：為 *pom.exe* 程式執行時所輸出的模式執行資訊，其格式為文字檔。

nc：為 NetCDF 資料格式檔案，包括海氣象資料庫、模式執行所需之海氣象資料輸入檔及接續執行時所需之中繼檔案等。

而各目錄中所包含的程式與目錄用途則分別說明如下，

A. **bin** 目錄：包含與計算方案無關的可執行程式與命令腳本，使用者只需以命令參數方式進行執行，不需要修改相關檔案即可使用。

*prepom.exe*：為 IHMT-POM 模式前置處理程式，目的為處理地形與海氣象資料將其內插至模式格網上，其需要附檔名 in 之文字檔控制檔來控制內插資料類別，其執行後會產生 *pomin.nc* 檔案供主程式 *pom.exe* 所使用。

*ncread.exe*：為後置處理程式，目的為轉換 *pom.exe* 程式所輸出之 NetCDF 資料格式成為文字檔格式。

*ncmean.exe*：為後置處理程式，目的為進行計算 NetCDF 資料格式中所有與時間變量有關的變數，將其平均後輸出。

*rumpom.sh*：BASH 命令腳本，用以進行批次模擬，可以讓使用者以月為時間單位分次進行的長時間模式模擬。

**B. data** 目錄：包含各種可供 IHMT-POM 模式輸入之海氣象與地形資料庫。

**NCEP\_NCAR\_Reanalysis**：目錄中為 NCEP/NCAR 海氣象資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面邊界條件資料庫的處理。

**NOAA\_Extended\_Reconstructed\_SST\_V3**：目錄中為 NOAA Extended Resconstructed Sea Surface Temperature V3 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

**NOAA\_OI\_SST\_V2**：目錄中為 NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

**Topography**：目錄中為地形資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行地形資料庫的處理。

**omap**：目錄中為 NAO99 全球潮汐模式所須的潮位資料庫。

**OTPSnc**：目錄中為 OTPS 全球潮汐模式所須的潮位資料庫。

**WOA\_2005**：目錄中為 NODC 的 WOA 海洋水文資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行 IHMT-POM 模式的溫度與鹽度初始資料。

**C. src** 目錄：包含各種程式的原始碼。

**ihmt**：其中檔案為 IHMT-POM 模式主程式，包含許多 f、for、f90 副檔名 Fortran 程式，其經過編譯後會產生序列化之 *spom.exe* 或 MPI 平行化之 *ppom.exe* 程式。

**prepom**：其中檔案為 IHMT-POM 模式前置程式，其經過編譯後

會產生 *prepom.exe* 程式。

**ncmean**：其中檔案經過編譯後會產生 *ncmean.exe* 程式。

**ncread**：其中檔案經過編譯後會產生 *ncread.exe* 程式。

D. **project**：為計算方案主目錄，其名稱可由使用者隨計算方案而命名(如 *global*)，其中包含 **bin** 與 **inp** 等目錄架構，而計算模擬後的 NetCDF、prn 等輸出檔皆放置其中，而此目錄中之其他目錄結構內容分別說明如下。

**bin**：其目錄中放置與這個計算方案有關的可執行程式，在方案模擬進行前必須先進行相關可執行程式的編譯與安裝，主要是放置 *spom.exe* 或 *ppom.exe* 程式。

**inp**：其目錄中放置本計算方案的資料輸入檔，計算模擬所需設定檔則是放置在此目錄，而 *prepom.exe* 運算後的資料檔也是放置在此目錄中。此目錄中亦包括 **wind**、**slp**、**sst**、**omap** 及 **otpnc** 等目錄，其利用目錄連結方式將 **data** 目錄中之海氣象與地形資料庫進行連結。

## 2. 編譯與安裝

為了程式運作方便，使用者首先必須設定模式運作的環境變數，利用文字編輯程式在使用家目錄下編輯 *.bashrc*，增加 POM 與 PATH 等環境變數，如

```
export POM=/home/username/IHMTpom
```

```
export PATH=$PATH:$POM/bin
```

其中 */home/username/IHMTpom* 為安裝目錄的絕對路徑，請隨安裝的目錄名稱而更改。請於上述環境設定完成後，再次進行登入系統，使環境變數的設定產生作用後再進行程式的安裝與編譯。

欲設定計算方案時，可由使用者自行設定上述的目錄結構，或由 *createproj.sh* 命令腳本進行目錄的自動設定，於命令模式提示符號(>)下輸入：

```
> createproj.sh project
```

其中參數 *project* 為計算方案的目錄名稱，必須依照所建立的計算方案目錄名稱而更改，執行後會自動設定計算所需目錄架構。執行後會出現交談式使用者介面，使用者可依據計算方案之需求輸入計算方案的格網資訊、選擇所需的海氣象資料庫、巢狀格網計算設定、邊界條件處理方式及序列化或平行化執行方式等。執行 *createproj.sh* 後會於 **IHMTpom** 目錄下建立該 **project** 目錄，目錄中會存在 **bin**、**inp** 目錄與 *namelist.pom* 或 *namelist.pom.tmp* 之 IHMT-POM 模式參數檔，其中 **bin** 目錄會存放 *ppom.exe* 或 *spom.exe* 程式，其會由 *createproj.sh* 命令腳本自動編譯完成，並將程式安裝於指定的目錄中。本計畫所建立之最新版本 POM 模式採用動態配置記憶體方式控制陣列大小，只需要在模式執行前於 *namelist.pom* 檔案中進行配置即可，並不需要根據格網數目的變更重新編譯程式，而 **inp** 目錄會存放會存放所需的海氣象資料庫、*prepom.exe* 所需之控制檔 *project.in* 之或成批執行所需之 *project.copy* 樣本檔案。而由命令腳本自動建立之 *namelist.pom*、*project.in* 等檔案之意義則於下節中分別說明。

### 三、程式說明

本年度計畫大幅改善前置處理程式流程，在大部分情況下透過上節所述之 *createproj.sh* 命令腳本可完成全部的前置處理與模式邊界條件的設定。若使用者需要自行調整參數或修改部分設定，則本節分別說明各單一程式或命令所需的參數與輸入檔，藉此讓使用者瞭解各程式或命令所需的檔案與設定方式。

#### 1. 前置處理程式

IHMT-POM 模式之前置處理程式為 *prepom.exe*，其目的在於建立模式格網、內插海氣象資料庫與巢狀格網邊界條件至格網。而 *prepom.exe* 的輸入檔 *project.in*，而主檔名 *project* 必須與所建立的計算方案名稱相同，*project.in* 的內容說明如下，檔案中以 # 起始之行

為注釋，程式讀取時會忽略。

```
#
# 計算方案起始時間
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
19981201.000000
#
# 模擬時間，單位為天
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
31
#
# 計算領域設定。第一與第二參數(115.0, 15.0)為計算領域左下角經緯
# 度座標，單位為度。第三參數(0.05)為格網間距，單位為度。第四與第五參數
# 為 x 與 y 方向格網點數，第五參數為垂直方向格網點數，第六參數表示格網座標型式
# 第七參數為旋轉座標角度，以正東方為零，逆時針方向旋轉。
# MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB ICORD ANGLE)
#
115.0 15.0 0.05 301 301 21 1 0.0
#
# 若計算領域為正交曲線格網，則須採用下列輸入方式，
# 第一參數為 user，第二參數為地形格網檔案，必須由使用者自行製作，其中檔案
# 內容分別為格網之 X、Y、DEPTH 值，第三、四及五參數分別為 x、y 及垂直方向
# 格網點數，第六參數表示格網座標型式
#
# user topo_kao_c3.inp 297 110 21 1
#
# 地形資料設定。第一參數為資料庫檔案名稱，如為 ETOPO2.nc 則
# 表示使用 Etopo2 地形資料庫。使用者可自行定義地形資料名稱，如輸入不
# 同的檔案名稱則會經由 topobyuser.f90 的 Fortran 程式輸入地形資料，
# 使用者可自行定義資料。第二參數為將地形資料內插至計算格網後存放的資料
# 檔案名稱，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於 1.0 表示不
# 進行地形水深之平滑化，第四參數為最小水深，單位為公尺。
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME SLMAX HMIN)
#
ETOPO2.nc topo.inp 2.0 10.0
#
# 若計算領域為正交曲線格網，則地形資料設定須採用下列輸入方式，
# 第一參數為地形格網檔案，必須由使用者自行製作，且必須與計算領域設定一致，
# 第二參數為地形格網輸出檔，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於
# 1.0 表示不進行地形水深之平滑化，第四參數為最小水深，單位為公尺。
#
# topo_kao_c3.inp topo.inp 2.0 10.0
#
# IHMT-POM 模式水位邊界資料。第一參數為潮位資料庫之選擇，現有 nao99、otpnc
# 及 none 三種輸入選擇，若選擇 nao99 則 prepom.exe 程式會呼叫 NAO99 模式進行
# 潮位邊界之計算，若選擇 otpnc 則 prepom.exe 程式會呼叫 OTPS 模式進行計算
# 輸入 none 則表示不處理潮位邊界資料。第二參數為水位邊界輸出檔名。
# 第三參數為水位邊界資料檔之時間間距，單位為天。
# ETA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_INTERVAL)
#
# otpnc eta.inp 0.04166
```

```

# none eta.inp 0.0
#
nao99b eta.inp 0.04166
#
# IHMT-POM 模式大氣壓力邊界資料。第一參數為大氣壓力資料庫的選擇，現
# 僅有 ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm、
# none 與 user 等六種輸入選擇，若選擇
# ncep_reanalysis_4xday 會選擇 NCEP/NCAR 每六小時一筆之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_day 會選擇 NCEP/NCAR 每日平均之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_mon 會選擇 NCEP/NCAR 每月平均之海氣象資料庫
# 選擇 rvm 則會呼叫 Rankin Vortex 參數化颱風風場模式
# 輸入 none 則表示不處理大氣壓力邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更
# 改 slpbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為
# 大氣壓力輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SLP (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday slp.inp 0.25
#
# IHMT-POM 模式風場邊界資料。第一參數為風場資料庫的選擇，現僅有
# ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm 與 none
# 與 user 等六種輸入選擇，若選擇
# ncep_reanalysis_4xday 會選擇 NCEP/NCAR 每六小時一筆之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_day 會選擇 NCEP/NCAR 每日平均之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_mon 會選擇 NCEP/NCAR 每月平均之海氣象資料庫
# 選擇 rvm 則會呼叫 Rankin Vortex 參數化颱風風場模式
# 輸入 none 則表示不處理風場邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更改
# windbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為風場輸
# 出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# WIND (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday wind.inp 0.25
#
# IHMT-POM 模式海面溫度邊界資料。第一參數為海面溫度資料庫的選擇，現僅有
# noaa_ersst_ltm、noaa_ersst_mon、noaa_oisst_week、noaa_oisst_ltm 與 none 與 user
# 等五種輸入選擇，若選擇 noaa_ersst_mon 則會選擇 NOAA Extended Reconstructed
# 月平均海面溫度資料庫，輸入 none 則表示不處理海面溫度邊界資料，輸入 user 使用
# 者必須自行更改 sstbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二
# 參數為海面溫度輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SST DATA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
noaa_oisst_week sst.inp 7
#
# IHMT-POM 模式鹽溫度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的鹽度資
# 料檔，s00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行
# 修正 salbyuser.f90 程式。第二參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的溫度資料檔，
# t00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正
# tempbyuser.f90 程式。第三為輸出資料檔檔名。
# SEA STATE
# (SALINITY_DATASET TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1 t00an1 state.inp
#
# IHMT-POM 模式流場初始資料。現不可使用，請設定為 none。

```

```

# INIT (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
none init.inp
#
# IHMT-POM 模式巢狀母格網之設定，如本計算方案為某一計算方案之巢狀子格網，
# 請於此處設定巢狀格網資訊。第一參數為巢狀母格網計算方案中由 IHMT-POM 模式
# 計算所之 NetCDF 資料輸出檔，為了節省磁碟空間通常以 link 形式連結至本計算
# 方案之 inp 目錄。第二參數為外模式之流速與水位邊界條件處理，輸入 1 表示處理，
# 輸入 0 表示不處理。第三參數為內模式之鹽溫度與流速邊界 nudging 處理，輸入 1
# 表示處理，輸入 0 表示不處理。第四參數為巢狀格網連接邊界格網數
# NEST (INPUT_NC IUA I3D IHALO)
#
pom.nested.nc 1 1 10
#
# 海面通量邊界條件輸入，現僅可輸入 ncep_4xday 與 none 兩種選擇，若選擇
# ncep_4xday 會選擇 NCEP/NCAR 每六小時一筆之海氣象資料庫
# none 則表示不處理海面邊界通量條件
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET OUTPUT TIME_DURATION)
#
ncep_4xday sflx.inp 0.25
#
# none sflx.inp 0.0
#
# END OF CONFIG
#

```

*prepom.exe* 程式可單獨執行，若需執行時請於命令模式中輸入：

```
> prepom.exe < project.in
```

程式執行後將會依照 *project.in* 之設定進行相關資料的處理，完成後會產生 *pomin.nc* 檔案供 *pom.exe* 程式進行讀取，其為 NetCDF 格式之檔案，使用者可自行利用套裝軟體如 *ncview* 或 *ncBrowse* 進行確認。使用者必須注意在 Linux 作業系統下，英文字元大小寫是有所區別，而所有的資料庫與檔名設定皆由 *createproj.sh* 所設定，如需更動時請依照說明設定中的說明而設定，可避免不可預期的錯誤。而說明中之 *topobyuser.f90*、*slpbyuser.f90*、*windbyuser.f90*、*sstbyuser.f90*、*salbyuser.f90* 與 *tembyuser.f90* 檔案，皆放置於 **src/prepom** 目錄中，使用者必須自行更改後編譯 *prepom.exe* 程式。

## 2. 主程式 *pom.exe*

IHMT-POM 模式之主程式為 *pom.exe*，此程式與計算方案的格網

設定與計算條件有關，由 *createproj.sh* 執行後會建立於 **bin** 目錄之 *pom.exe* 與 **project** 目錄之 *namelist.pom.tmp* 或 *namelist.pom* 等檔案，使用者也可根據需要進行修改。而 *namelist.pom* 的內容在於設定 IHMT-POM 模式的計算條件與參數等，其內容說明如下：

```

&params
C
C-----
C
C 模式格網點數，需與 prepom.exe 所建立之格網點數一致
C
    im_global = 320
C
    jm_global = 448
C
    kb = 21
C
    ihalo = 10
C
C-----
C
C 計算方案名稱，可自由設定
C
    title='Run 1' ! run's title
C
C-----
C
C
C   Problem number:
C
C   iproblem      problem      initialisation
C                   type          subroutine
C       1         seamount      seamount
C       2         conservation  box
C                   box
C       3         IC from file   file2ic
C 計算方案編號，預設值為 5，請勿更改
C
    iproblem=5
C
C-----
C
C   mode          description
C   2   2-D calculation (bottom stress calculated in advave)
C   3   3-D calculation (bottom stress calculated in profu,v)
C   4   3-D calculation with t and s held fixed
C 計算模式，設定為 2 表示二維模式，3 為三維模式，4 為三維模式溫度鹽度為定值
C
    mode=3
C
C-----
C

```

```

C      Advection scheme:
C
C      nadv      Advection scheme
C      1        Centred scheme, as originally provide in POM
C      2        Smolarkiewicz iterative upstream scheme, based on
C               subroutines provided by Gianmaria Sannino and Vincenzo
C               Artale
C      水平對流項的數值技巧，預設值為 1
C
C      nadv=1
C
C-----
C
C      Constants for Smolarkiewicz iterative upstream scheme.
C
C      Number of iterations. This should be in the range 1 - 4. 1 is
C      standard upstream differencing; 3 adds 50% CPU time to POM:
C      改善水平對流項數值技巧穩定度的選項，預設值為 2
C
C      nitera=2
C
C      Smoothing parameter. This should preferably be 1, but  $0 < sw < 1$ 
C      gives smoother solutions with less overshoot when nitera > 1:
C      改善數值結果之平滑參數，預設值為 0.5
C
C      sw=0.5e0
C
C-----
C
C      External (2-D) time step (secs.) according to CFL:
C      二維模式的計算時間間距，單位為秒。請依照數值穩定條件進行更改，其值會過大會
C      使程式發散。請注意，由 pom.prn 輸出的資訊中可判斷最適當的最大值
C
C      dte=5.0e0
C
C-----
C
C      <Internal (3-D) time step>/<External (2-D) time step>
C      (dti/dte; dimensionless):
C      三維模式的計算時距，單位為次數。如設定 60，表示 dti=dte*isplit=300 秒，
C      建議值為 30 至 80
C
C      isplit=60
C
C-----
C
C      Date and time of start of initial run of model in format (i.e.
C      UDUNITS convention)
C
C      YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C      where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C      Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time

```

```

C   axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C   real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C   and time as required:
C   計算起始時間，請依照計算方案設定
C
C   time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----
C   計算時間延時
C
C   days=31.e0           ! run duration in days
C
C-----
C   起始輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd1=1.0           ! Initial print interval (days)
C
C-----
C   最後輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd2=1.e0           ! Final print interval (days)
C
C-----
C   由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
C   swtch=1000.e0        ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C
C   iskp=5               ! Printout skip interval in i
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
C   jskp=5               ! Printout skip interval in j
C
C-----
C
C   Logical for inertial ramp (.true. if inertial ramp to be applied
C   to wind stress and baroclinic forcing, otherwise .false.)
C   是否使邊界條件漸進式啟動，可避免數值不穩定，預設值為.false.
C
C   lramp=.false.
C
C-----
C
C   Reference density (recommended values: 1025 for seawater,
C   1000 for freshwater; S.I. units):
C   水體密度參考值，預設值海水預設為 1025，淡水為 1000
C
C   rhoref=1025.e0
C

```

```

C-----
C 水體溫度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C      tbias=10.e0          ! Temperature bias (deg. C)
C
C-----
C 水體鹽度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C      sbias=35.e0         ! Salinity bias
C
C-----
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
C      grav=9.806e0        ! gravity constant (S.I. units)
C
C-----
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
C      kappa=0.4e0         ! von Karman's constant
C
C-----
C 底床粗糙度，其值會影響底床磨擦力大小，預設值為 0.01
C
C      z0b=.01e0           ! Bottom roughness (metres)
C
C-----
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
C      cbcmin=.0025e0      ! Minimum bottom friction coeff.
C
C-----
C 最大底床摩擦係數，預設值為 1.0
C
C      cbcmax=1.e0         ! Maximum bottom friction coeff.
C
C-----
C 水平擴散係數，預設值為 0.2，合理範圍為 0.1 至 0.2
C
C      horcon=0.2e0        ! Smagorinsky diffusivity coeff.
C
C-----
C
C      Inverse horizontal turbulent Prandtl number
C      (ah/am; dimensionless):
C
C      NOTE that tprni=0.e0 yields zero horizontal diffusivity!
C Pradtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
C
C      tprni=.2e0
C
C-----
C
C      Background viscosity used in subroutines profq, proft, profu and

```

```

C   profv (S.I. units):
C   背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C   umol=2.e-5
C
C-----
C
C   Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C   bcond (metres):
C   計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C   分佈設定一恰當之值
C
C   hmax=4500.e0
C
C-----
C
C   Minimum depth
C   計算領域中最小水深，單位為公尺。小於此值則會將該格網點視為陸地
C
C   hmin=10.0
C
C-----
C
C   Maximum magnitude of vaf (used in check that essentially tests
C   for CFL violation):
C   最大可能的流速，單位為每秒公尺。大於此值則會終止程式運算
C
C   vmaxl=100.e0
C
C-----
C
C   Maximum allowable value of:
C
C   <difference of depths>/<sum of depths>
C
C   for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C   slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:
C   地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
C   slmax=2.e0
C
C-----
C
C   Integers defining the number of logarithmic layers at the
C   surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C   logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
C   at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C   垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C   數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定
C
C   kl1=6
C   kl2=kb-2

```

```

C
C-----
C
C   Water type, used in subroutine profit.
C
C   ntp   Jerlov water type
C   1     i
C   2     ia
C   3     ib
C   4     ii
C   5     iii
C 水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
C   ntp=2
C-----
C
C   Surface temperature boundary condition, used in subroutine profit:
C
C   nbct  prescribed  prescribed  short wave
C         temperature  flux          penetration
C   1     no           yes           no
C   2     no           yes           yes
C   3     yes          no            no
C   4     yes          no            yes
C 海面溫度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
C   nbct=3
C-----
C
C   Surface salinity boundary condition, used in subroutine profit:
C
C   nbcs  prescribed  prescribed
C         salinity    flux
C   1     no           yes
C   3     yes          no
C
C   NOTE that only 1 and 3 are allowed for salinity.
C 海面鹽度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 1，請勿更動
C
C   nbcs=1
C-----
C
C   Step interval during which external (2-D) mode advective terms are
C   not updated (dimensionless):
C 對流項更新時間間距，單位為次數。其值可改善數值穩定性，預設值為 5
C
C   ispadv=5
C-----
C

```

```

C      Constant in temporal filter used to prevent solution splitting
C      (dimensionless):
C      平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性，預設值為 0.1
C
C      smoth=0.10e0
C
C-----
C
C      Weight used for surface slope term in external (2-D) dynamic
C      equation (a value of alpha = 0.e0 is perfectly acceptable, but the
C      value, alpha=.225e0 permits a longer time step):
C      權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性，預設值為 0.225
C
C      alpha=0.225e0
C
C-----
C
C      Initial value of aam:
C      起始水平擴散項之值，預設值 500
C
C      aam_init=500.e0
C
C      End of input of constants
&end

&bc_type
C
C      bc2d_type 表示外模式邊界條件型式，3 表示輻射邊界條件
C
C      bc2d_type = 3,
C
C      bc3d_type 表示內模式邊界條件型式，3 表示輻射邊界條件，5 為 nudging
C
C      bc3d_type = 5,
&end

&inflow
C
C      inflow_n 表示河川入流數目
C
C      inflow_n = 2
C
C      inflow_i 表示河川於模式格網之 X 方向編號，筆數與入流數目需相同
C
C      inflow_i = 243, 220,
C
C      inflow_j 表示河川於模式格網之 Y 方向編號，筆數與入流數目需相同
C
C      inflow_j = 336, 359,
C
C      inflow_q 表示河川入流量 (CMS)，筆數與入流數目需相同

```

```

C
inflow_q = 27.63, 54.95
C
C
inflow_s 表示河川入流之鹽度，筆數與入流數目需相同
C
inflow_s = 34.0, 34.0,
C
C
inflow_r 表示河川入流之漂沙濃度 (ton/s)，筆數與入流數目需相同
C
inflow_r = 0.0048, 0.0101,
C
C
ttte 表示漂沙臨界剪應力(侵蝕，N/m^2)
C
ttte = 10.0,
C
C
tttd 表示漂沙臨界剪應力(堆積，N/m^2)
C
tttd = 10.0,
C
C
d50 表示中值粒徑 (m)
C
d50 = 0.00002
C
C
rbias 表示漂沙濃度基準
C
rbias = 0.0
C
C
nbcr 表示漂沙模式海面邊界條件型式，僅有 1 可設定
C
nbcr = 1
&end

```

以上為 *namelist.pom* 設定之說明。而 *namelist.pom* 設定中，除了 *dte* 與 *isplit* 兩個參數必須隨著計算方案的不同進行更改之外，在本計畫中並未進行大幅修改。

而執行 *pom.exe* 程式時，程式需 *pomin.nc* 與 *namelist.pom* 進行計算，在非成批處理模式情況下請將 *pomin.nc* 資料檔連結至計算方案主目錄 *project* 中。在一般的情況下 *pomin.nc* 會經由 *prepom.exe* 程式自動輸出後放置於計算方案之 **inp** 目錄中，使用者只需進行連結方式將資料檔連結至計算方案主目錄。可在命令模式下輸入，

```
> ln -f -s ./inp/pomin.nc pomin.nc
```

則會將 **inp** 目錄中之 *pomin.nc* 利用捷徑(連結)的方式連接到計算方案主目錄。而 *pom.exe* 放置於計算方案中 **bin** 目錄中，如欲單獨執行

*pom.exe* 程式，則在計算方案主目錄中輸入下列指令：

```
> ./bin/pom.exe > pom.prn
```

則會依照相關設定進行 *pom2k.exe* 的執行。模式執行後會輸出 *pom.prn* 與 *hotfile.nc* 與 *pom.nc* 等檔案。*pom.prn* 為程式輸出於螢幕的資訊，*hotfile.nc* 檔案為程式執行完成後所留存的重新啟動資料檔，若程式啟動時若有 *restart.nc*(由 *hotfile.nc* 更名)存放於計算目錄中則 *pom.exe* 程式會自動讀入，使用者不須設定。而 *pom.nc* 檔案為模式輸出的 NetCDF 資料檔案，其中包含各種變量資料，可供使用者進行分析所需。

### 3. 後置處理程式

後置處理程式處理由 IHMT-POM 模式所輸出的 NetCDF 格式之工具程式，包括 *ncread.exe* 與 *ncmean.exe* 兩程式。首先說明 *ncread.exe* 程式主要目的為將 NetCDF 格式轉換為文字檔格式以方便使用者進行其他後置的處理，該程式需要命令資料檔進行輸入，而其檔案為 Fortran 程式語言之 namelist 格式撰寫，其說明如下：

```
# ncread.nml 檔案說明
#
# CGRID 段落為描述之 IHMT-POM 模式之 NetCDF 格式輸出檔案資訊
# NCFILE 為檔案名稱
# TSKIP 為讀取時間間距
# IDATE 為起始時間，格式為 YYYYMMDDHH
# TOFST 為平移時間，可用於 UTC 時間與台灣時間之轉換
# OUT3D 為 3D 變量輸出選擇，其值為.TRUE.表示輸出三維變量
#
&CGRID
  NCFILE = 'pom2k.nc',
  TSKIP = 1,
  IDATE = '1995120100',
  TOFST = 0,
  OUT3D = .FALSE.,
&END
#
# SITE 段落為單點測站輸出，程式會自動找尋最靠近測站座標的格網點輸出資訊
# SITENO 測站點數，如設定為 0 表示不輸出
# SITEX 為測站 x 方向座標，請依序測站排列
# SITEY 為測站 y 方向座標，請依序測站排列
# SITEN 為測站名稱，請依序測站排列，可自由輸入字串表示該測站，程式會依該測站
```

```

#名稱作為檔名輸出
#
&SITE
  SITENO = 4
  SITEX = 121.40 120.85 120.25 120.07
  SITEY = 25.40 24.75 23.90 23.21
  SITEN = 11 12 13 14
&END
#
# S2LEVEL 為垂直方向座標變換選項，會將 sigma 座標變量內插輸出於 z 座標上
# NLEV 為 z 座標層數，如設定為零表示不使用
# LEVELS 為水深值，單位為公尺
#
&S2LEVEL
  NLEV = 25
  LEVELS = 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0,
           70.0, 80.0, 90.0, 100.0, 110.0,
           120.0, 130.0, 140.0, 150.0, 160.0,
           170.0, 180.0, 190.0, 200.0, 210.0,
           220.0, 230.0, 240.0, 250.0, 260.0,
&END
#
# NESTOUT 為巢狀格網輸出選項，可利用該選項輸出子格網的流速與水位邊界條件
# NGRID 為子格網地形格網，與母網格使用相同格式
# IM 為子格網 x 方向格網點數
# JM 為子格網 y 方向格網點數
# KB 為子格網 z 方向格網點數
# IUA 表示是否輸出流速邊界，1 表示輸出，0 表示不輸出
# DELT 表示輸出時間間距，單位為天
# NGFILE 為輸出之邊界檔名
#
&NESTOUT
  NGRID = 'topo.inp'
  IM = 201,
  JM = 201,
  KB = 16,
  IUA = 1,
  DELT = 31,
  NGFILE = 'nested.inp',
&END

```

則執行時請於命令模式下輸入，

```
> ncread.exe < ncread.nml
```

則會依照 *ncread.nml* 檔中的設定將 *pom2k.nc* 檔案轉換為 Tecplot 格式之文字檔，使用者可依照需求進行分析與繪圖。而 *ncmean.exe* 程式目的為進行計算 NetCDF 資料格式中所有與時間變量有關的變數，將其平均進行輸出。該程式利用命令方式即可使用並不需要任何命令資

料檔，請於命令模式下輸入，

```
> ncmean.exe -Ipom2k.exe -Opom2k.mean.exe
```

其中-I 參數後為輸入之資料檔名，-O 參數後為輸出檔名。

#### 4. 命令腳本

命令腳本為進行作業化系統所開發，其利用 Linux 作業系統中 shell script 與工具程式所撰寫，其放置於安裝目錄 **bin** 子目錄中，其中成批模擬之 *runpom.sh* 腳本使用方式是在命令模式下進行操作。而 *runpom.sh* 命令腳本使用方式如下，

```
> runpom.sh project 2001 1 2001 2 4 mother-nested-project
```

其中 *project* 為欲進行之計算方案名稱，2001 1 2001 2 為計算起始與結束時間，其代表由 2001 年 1 月 1 日開始計算至 2001 年 2 月 28 日為止，4 表示分割數，由於格網數增加會導致輸出入檔超過 4GB 大小，造成處理上的不便，故 4 即表示將每個月份分割成 4 等份的時間進行計算，*mother-nested-project* 為母領域計算方案名稱，其表示 *project* 計算方案為 *mother-nested-project* 計算方案之子領域，需要由 *mother-nested-project* 提供邊界條件，而子領域計算方案名稱為選擇性參數，可選擇性輸入。在成批模擬時，由於 *runpom.sh* 命令腳本需要一樣本命令資料檔進行作業，在 *createproj.sh* 時會於計算方案目錄中 **inp** 子目錄下建立 *project.copy* 檔案，其內容如下：

```
#  
# 計算起始時間，請設定為 SSSSSSSS.SSSSSS  
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)  
#  
SSSSSSSS.SSSSSS  
#  
# 計算模擬時間，請設定為 DD.D  
# SIMULATING DURATION (DAYS)  
#  
DD.D  
#  
# MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB ICORD ANGLE)  
#  
115.0 15.0 0.05 301 301 21 1 0.0  
#
```

```

# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME SLMAX)
#
ETOPO2.nc topo.inp 2.0
#
# ETA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_INTERVAL)
#
nao99b eta.inp 0.041666
#
# SLP (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday slp.inp 0.25
#
# WIND (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday wind.inp 0.25
#
# SST DATA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
noaa_oisst_mon sst.inp 7.0
#
# STATE
# (SALINITY_DATASET TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1 t00an1 state.inp
#
# INIT (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
none init.inp
#
# NEST (INPUT_NC IUA I3D IHALO)
#
pom.nested.nc 1 1 10
#
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET OUTPUT TIME_DURATION)
#
ncep_4xday sflx.inp 0.25
#
# END OF CONFIG
#

```

該檔案內容與執行 *prepom.exe* 程式所需之檔案設定相同，但起始時間與計算模擬時間需以 SSSSSSSS.SSSSSS 與 DD.D 字串代替，成批執行命令腳本會自動找尋該字串進行代換。如輸入以上指令模式會自動進行檔案的處理，模擬完成後，在計算方案主目錄下可發現，如 *pom.20010101.nc* 等以日為最小時間單位之模擬結果。

## 四、繪圖與分析程式

本計畫書內大部分的圖形都是透過 NCL (NCAR Command Language)繪圖程式進行繪製，其為一命令解譯式科學資料分析與可視畫軟體，該軟體亦是自由軟體，其支援 NetCDF3/4、GRIB1/2、HDF-SDS、HDF4-EOS、binary、ascii 等資料格式，該軟體並包含許多內建函數可供使用者分析資料，且具高品質圖形輸出與眾多圖形元素可供使用者調整，使該軟體常用於海洋與大氣學界中。

而為了本計畫所建立的 NCL 繪圖命令腳本皆放置於 IHMTpom 目錄中之 NCLscripts 目錄，其執行方式可由命令列中輸入：

```
> ncl ncl_script.ncl
```

如此可以繪製出相對應的圖形，此一部份命令腳檔將於計畫成果轉移與技術移轉時送交於港研中心。而 NCLscripts 目錄中之 NCL 繪圖命令腳本與報告中相對應的圖形如附表 1 中所述，使用者可以選擇相對應的命令腳本來進行圖形的繪製，而 NCL 命令腳本中的內容亦可以參考命令腳本中的說明自行調整。

附表 1 NCL 命令腳本與圖形對照表

NCL 命令腳本名稱	報告中之圖號
<i>pom_pltHeight_velocity.ncl</i>	圖 4-6~4-10
<i>pom_pltHeight_velocity_temperature.ncl</i> <i>pom_pltHeight_velocity_salinity.ncl</i>	圖 4-12
<i>pom_pltSection_taiwan_current.ncl</i>	圖 4-23
<i>pom_pltHeight_TS_sediment_monthly.ncl</i> <i>pom_pltHeight_TS_sediment_srho_monthly.ncl</i>	圖 5-1~5-4

## 附錄二 期末簡報

### 「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」- 期末簡報

計畫主持人：廖建明 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心 副研究員

協同主持人：許朝敏 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心 副研究員

兼任助理：楊文昌 蔡原祥 劉紹勇 楊文榮 曾瓊蓉 陳思樺  
國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

#### 摘要

本計畫「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」為四年期研究主計畫「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第四分年研究計畫，各分年研究重點如下：

- 第一分年「POM海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」，完成台灣附近海域洋流模擬架構。
- 第二分年「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」，完成台灣附近海域洋流與水文特性模擬、浮標追蹤、綜合潮流與洋流效應模擬。
- 第三分年「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」，針對五大商港海域，建立平行化模擬程式、正交曲線座標之高解析度模式，了解各商港海域海流特性。
- 第四分年「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」，透過本計畫研究成果能了解台灣海域各種尺度的海流變化特性，探討大尺度恆常海流的優勢流速與流向特性，進而討論與評估海流所引致之海岸長期性沖淤潛勢。

## 研究動機 (1/1)

- 根據莊(2009)指出，近岸海域漂沙輸送運移不平衡將導致海岸沖淤變遷，而影響近岸海域漂沙輸送運移不平衡之因素，依據其時空尺度變化型態通常可分為三類：
  - (一)大尺度變遷，如全球氣候暖化導致平均海面上昇，地下水超抽導致地層下陷，及潮流長期攜運等所引致之長期大規模海岸與近岸海域地形變化；
  - (二)中尺度變遷，如海岸或海埔地過度開發或過當保護、港灣超限擴建利用、港灣大規模防波堤等結構物興建、與河川流域經理與砂石開採盜挖導致河流供沙減少等，由於局部近岸海域漂沙之輸送平衡被阻隔破壞，以致引起近岸海域地形水深產生變化；
  - (三)小尺度變遷，如海岸受颱風暴潮巨浪衝擊與季風波浪作用，由於近岸海域近岸流系統之短期變化，以致引起海岸前灘之沖蝕。

P.3

## 研究動機 (2/2)

- 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。
- 本計畫將利用前三年度之計畫成果，在已經建置之模式基礎與操作經驗上，針對台灣近岸海域進行洋流與潮流綜合模擬，持續利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度，並利用模擬結果分析台灣環島近岸海域之優勢海流流速與流向，評估台灣近岸海域輸沙潛勢。

P.4

## POM模式之控制方程式

溫度狀態方程式

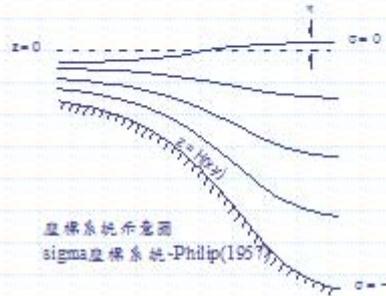
$$\frac{\partial \delta \theta}{\partial t} + \frac{\partial U \delta \theta}{\partial x} + \frac{\partial V \delta \theta}{\partial y} + \frac{\partial \omega \delta \theta}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_w}{D} \frac{\partial \delta \theta}{\partial \sigma} \right] + DF_\theta$$

鹽度狀態方程式

$$\frac{\partial \delta S}{\partial t} + \frac{\partial U \delta S}{\partial x} + \frac{\partial V \delta S}{\partial y} + \frac{\partial \omega \delta S}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_w}{D} \frac{\partial \delta S}{\partial \sigma} \right] + DF_S$$

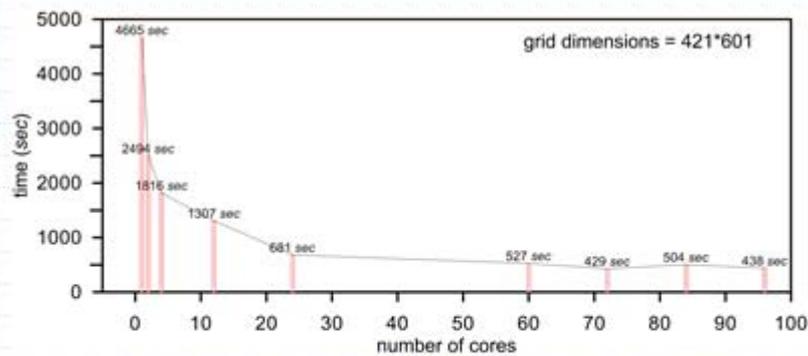
紊流方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial q^2 U D}{\partial x} + \frac{\partial q^2 V D}{\partial y} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_t}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) & \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial q^2 U D}{\partial x} + \frac{\partial q^2 V D}{\partial y} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_t}{D} \frac{\partial (q^2)}{\partial \sigma} \right] \\ &+ \frac{2K_w}{D} \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] & &+ \frac{E_1}{D} \left[ K_w \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \right] \\ &+ \frac{2g}{\rho_*} K_w \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2q^2 D}{B_1 l} + DF_{q^2} & &+ E_1 \frac{g}{\rho_*} K_w \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{q^2 D}{B_1} \bar{w} + DF \end{aligned}$$



## 平行化POM模式

利用MPI(Message Passing Interface)程式庫進行POM模式平行化計算，可大幅改善計算效率，增加未來擴充性。



計算格點421x601x21之三維POM模式利用不同數量計算核心計算1天所需時間比較圖

## 漂沙傳輸擴散模式

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

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} + \frac{\partial (U C_s)}{\partial x} + \frac{\partial (V C_s)}{\partial y} + \frac{\partial (W + w_s) C_s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_v \frac{\partial C_s}{\partial z} \right) + F_s$$

其中  $C_s$  為底質濃度， $w_s$  為底質沉降速度， $K_v$  為底質垂直渦流混合擴散係數， $F_s$  為水平擴散項。底床邊界條件表示為：

$$K_v \frac{\partial C_s}{\partial z} = E_s \quad z = -H$$

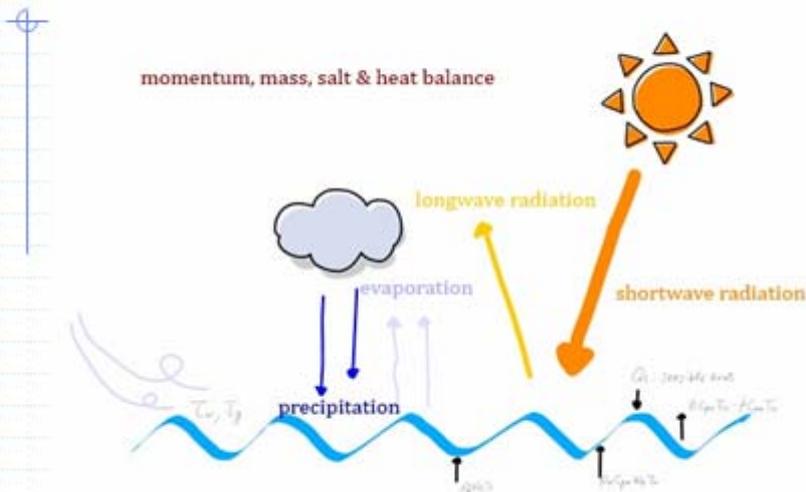
其中  $E_s$  為底質傳輸通量，其為底質沉積與再懸浮之淨通量：

$$E_s = \begin{cases} E_s \left( \frac{|T_b|}{\tau_c} - 1 \right) & \text{if } |T_b| > \tau_c \\ C_{s,b} w_s \left( \frac{|T_b|}{\tau_c} - 1 \right) & \text{if } |T_b| < \tau_c \end{cases}$$

其中  $E_s$  為徑蝕參數， $\tau_c$  為再懸浮與沉積之臨界剪應力， $C_{s,b}$  為底床層之剪應力與底質濃度。

P.7

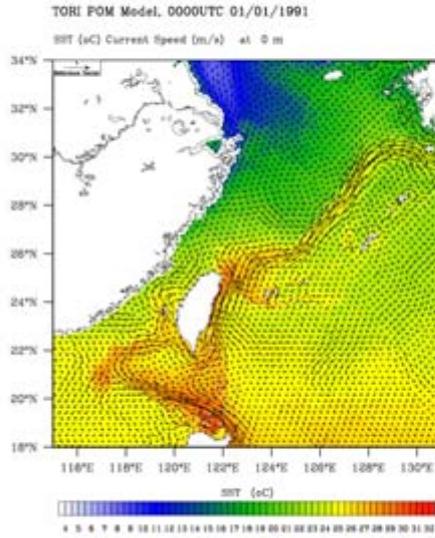
## 海氣交互介面邊界條件



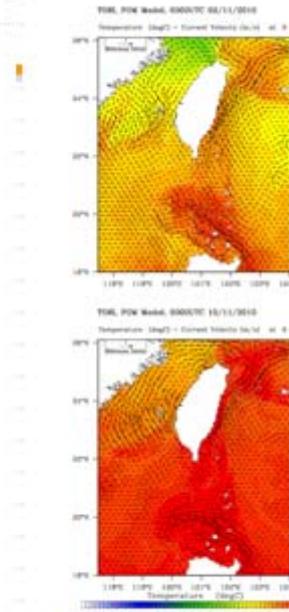
P.8



### 台灣海域海流模擬結果



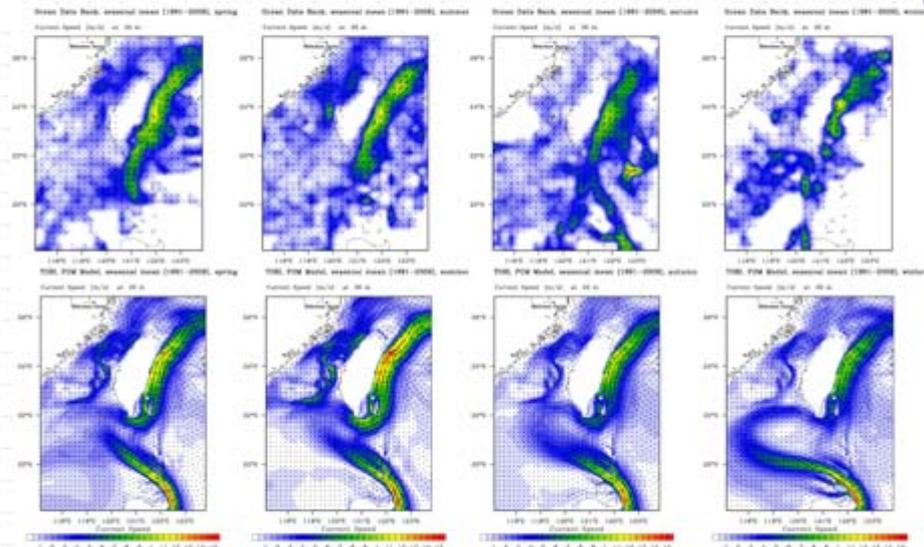
西北太平洋表面洋流與溫度逐日變化 (1~12月)



台灣海域表面綜合洋流與潮流與溫度逐時變化(2月、10月)

P.12

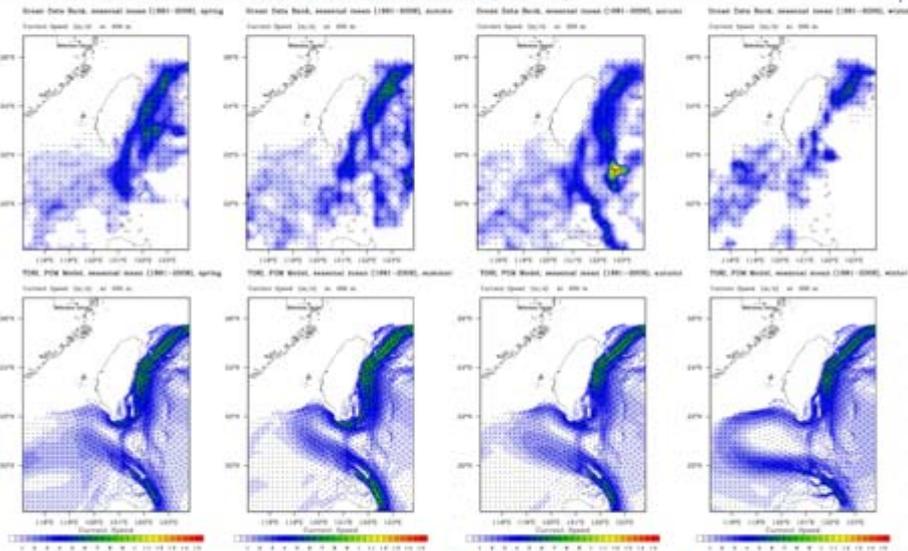
### 台灣海域洋流模式驗證 (1/4)



資料台灣海峽門海峽資料與台灣海域模式結果之春、夏、秋、冬各季平均流速與向位圖 (上側 - 資料庫; 下側 - T3; 水深0公尺)

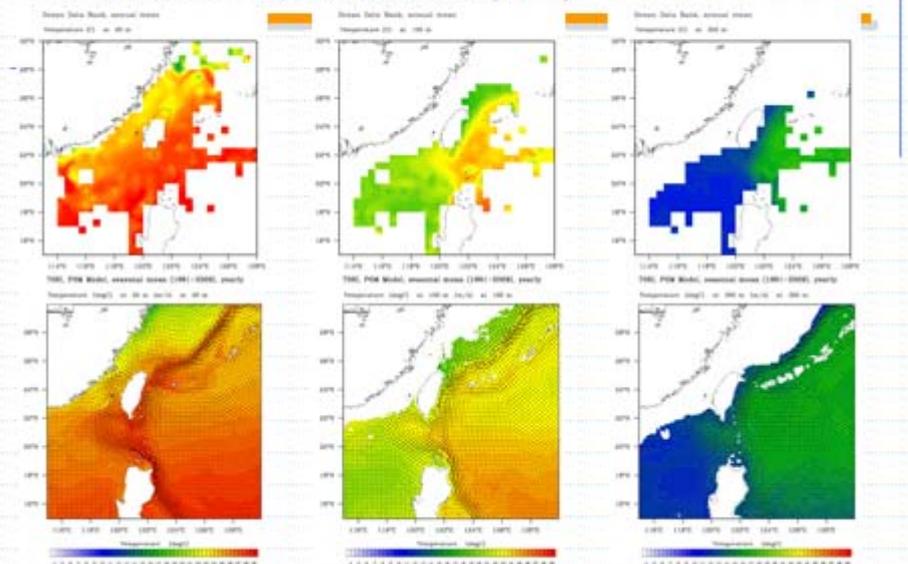
P.13

### 台灣海域洋流模式驗證 (2/4)



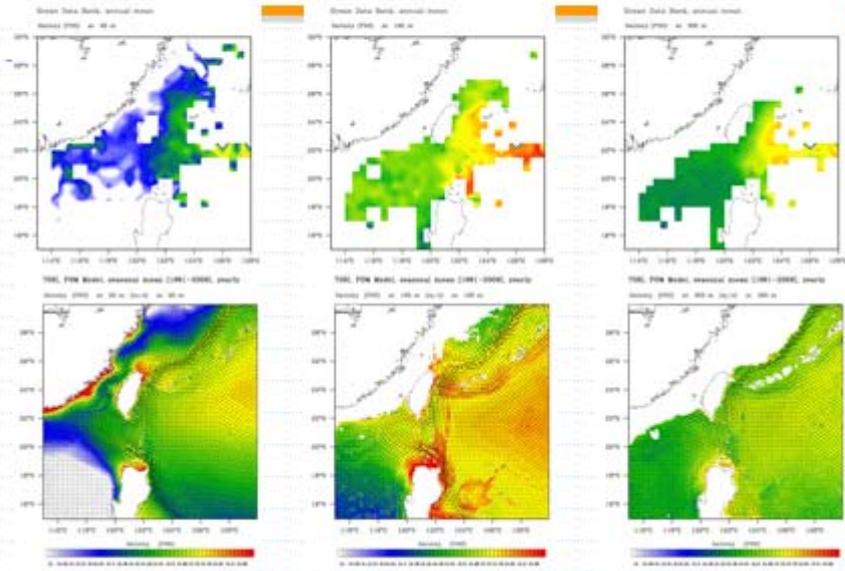
圖科會海洋學門海濱資料庫與台灣海域模式結果之春、夏、秋、冬季平均流速向量比較  
(上例：資料庫；下例：T3；水深200公尺)

### 台灣海域洋流模式驗證 (3/4)



圖科會海洋學門海洋水文資料庫(上例)與台灣海域模式(T3-下例)結果之年平均溫度比較圖(水深20、100、300公尺)

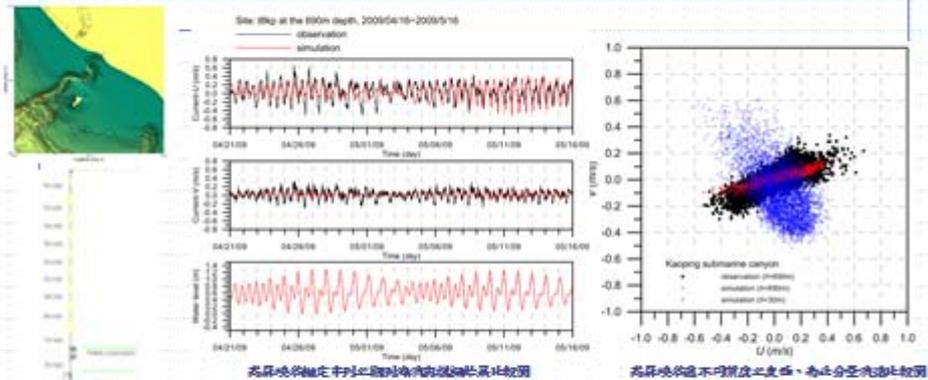
### 台灣海域洋流模式驗證 (4/4)



圖科會海洋學門海洋水文資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1下側)結果之年平均鹽度比較圖(水深20、100、300公尺)

P.16

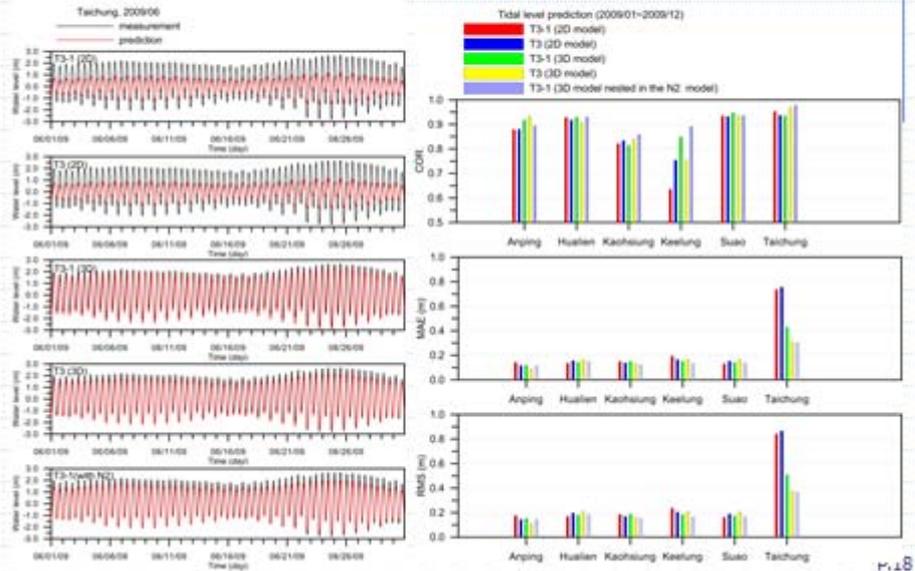
### 台灣西南海域模擬結果



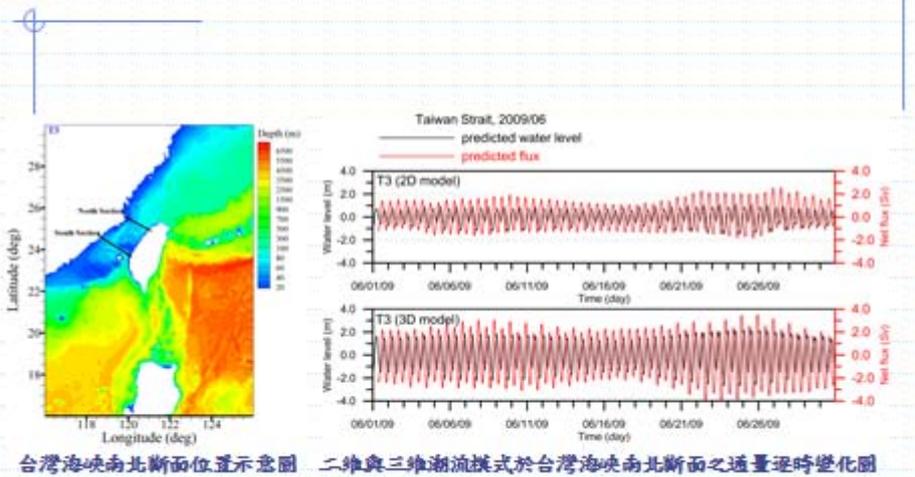
由圖中可知，東四與南北向流速度化趨勢具有合理之一致性，其流向方向與高屏峡谷為東北-西南向一致，且流速大小尺度比較亦有一致性。由不同深度之東四、南北分量流速比較，模擬結果可合理的表現與實測值一致的流向與流速。模式可合理的表現高屏峡谷門之流向為沿峡谷方向，由圖中藍色點可知，表面流向為沿基隆港東北-東南走向。

海洋中心穩定中尺度流場位置與時間圖

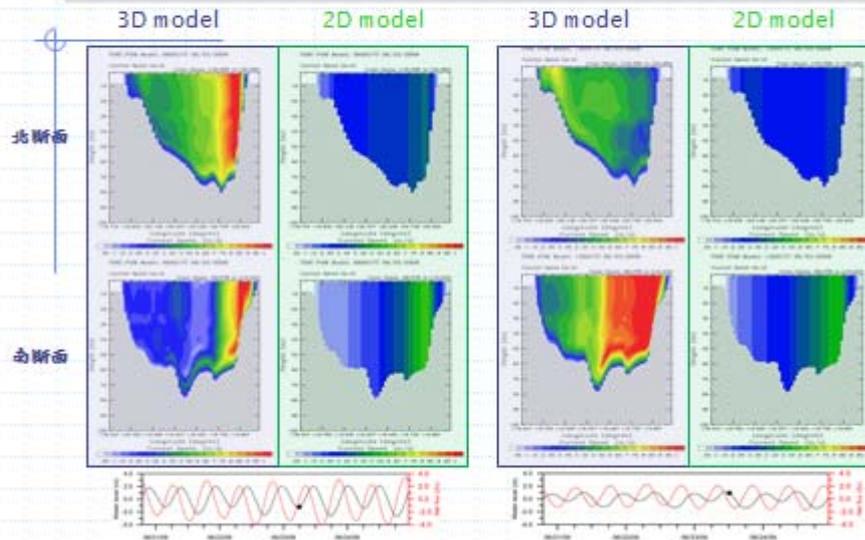
## 潮位模擬準確度改善



## 三維與二維潮汐模式特性探討(1/2)



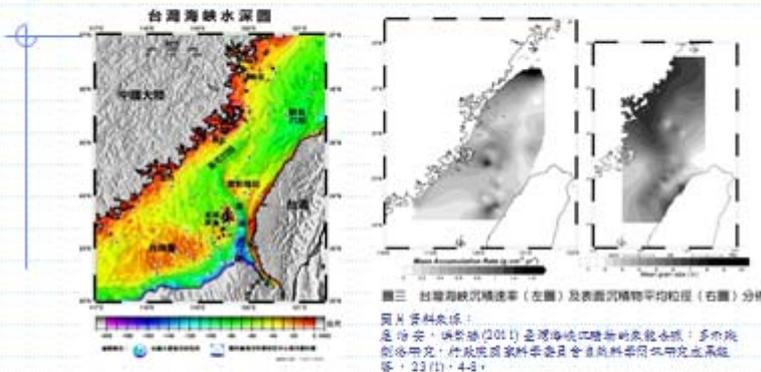
## 三維與二維潮汐模式特性探討(2/2)



三維潮汐模式於台中港漲、退潮位時段之南北断面流速分布圖

P.20

## 台灣海峽沉積物分布



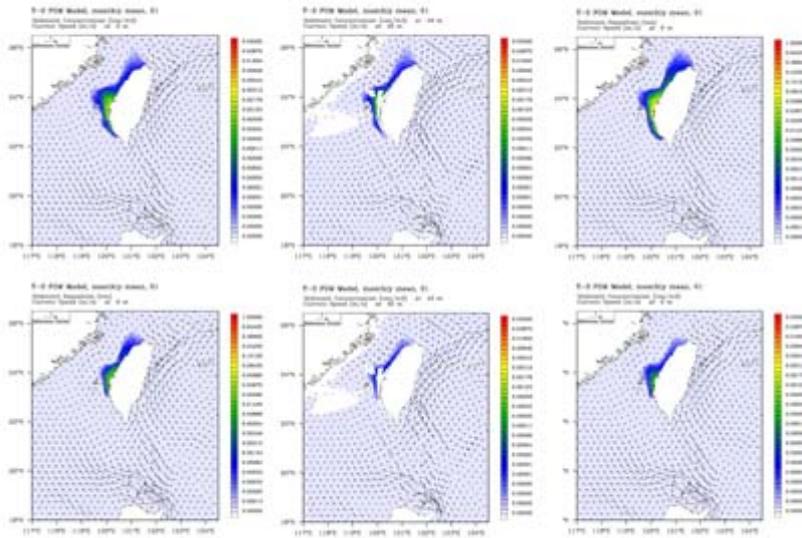
圖三 台灣海峽沉積速率(左圖)及表面沉積物平均粒徑(右圖)分佈  
圖片資料來源：  
吳怡宏，謝新雄(2011) 臺灣海峽口噴無的成因分析：多角度的  
討論與分析，行政院國家科學委員會自然科學學術交流高級  
研討會，23 (1)：4-8。

有源就有匯，若陸地徑流為源，必形成海域沉積之匯，根據經濟部水資會歷年來河川輸沙量之估計，台灣島上河系流域每年每平方公里平均流失土時超過一萬公噸，徑流速率高居世界第一(風和洪，2011)。

- 臺灣海峽流場與沉積物之關係!?
- 近岸海流對近岸工程之影響性!?
- 以臺灣海流特性在維護海岸穩定所具有的輕重角色!?

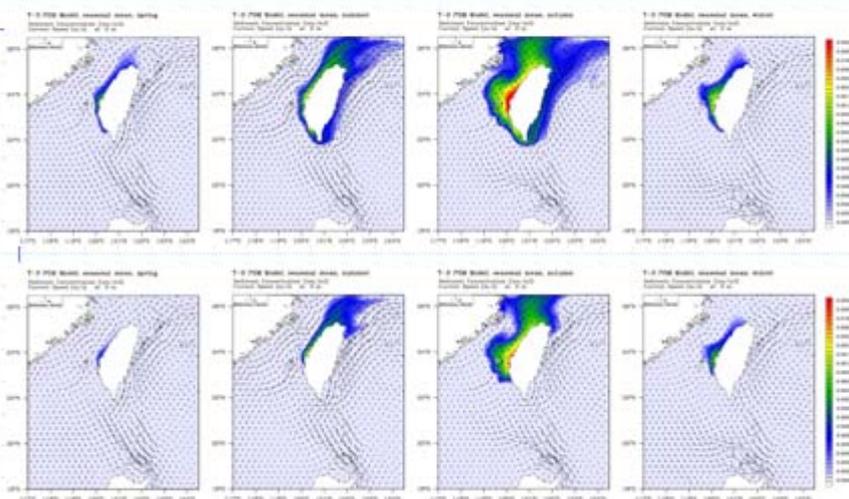
P.21

### 輸沙潛勢模擬結果(1/3)



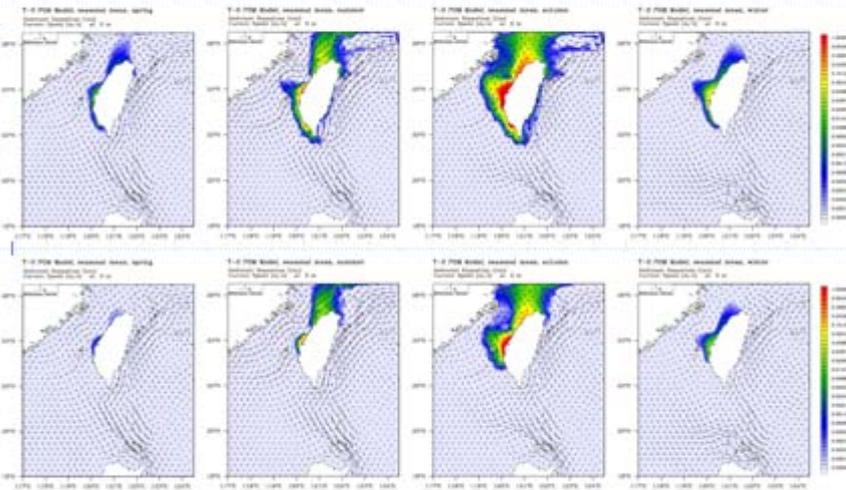
月平均輸沙潛勢 - 泥粒量與表面海流規模變化(上側: 20條主要河川; 下側: 僅有淡水河)

### 輸沙潛勢模擬結果(2/3)



季平均輸沙潛勢與表面海流規模變化(上側: 20條主要河川; 下側: 僅有淡水河)

### 輸沙潛勢模擬結果(3/3)



各季平均輸沙沉積量與表面海流模擬變化(上列：20 樣本量河川；下列：僅有河水湧)

### 台灣環島漂沙特性分析

1. 台灣西側海域之台中至嘉義一帶海域漂沙濃度最高，並在此處海域漂沙濃度明顯呈現一三角狀分布，其與台灣中西部河川流量與輸沙量較大與潮流流速較小(莊興化, 2002)應有明顯相關性。
2. 台灣西側外海流速強勁，異潮分支繞過彰隆起向北流動，於台中海域再反接近岸處，故帶來台灣西側漂沙向北移動，形成台灣海峽西部與西北部兩處明顯堆積現象。
3. 由於台南至屏東外海為大陸棚交界，水深亦超過100公尺，漂沙若遠離海岸後可能下降至陸棚或峽谷深處，故多數漂沙都停滯於台南至屏東一帶海岸堆積。
4. 三月份後由於西南海域之西南向流動海流流速漸強，漂沙會隨海流繞過墾丁海域，造成台灣東南部海域出現明顯漂沙濃度現象，且從三月份後墾丁海域開始出現沉積現象，至十一月份後進入枯水期此處海域之沉積現象逐漸消失。
5. 台灣東部受南河川為年向流，且台灣東部終年都有明顯向北流動之異潮主流，故可再證明台灣東部海域之漂沙濃度沉積應是來自西南部河川輸沙所致，由於東部海域地形較陡水深，故除了在豐水期間在沿岸有明顯堆積現象外，漂沙現象皆是隨著異潮由南向北移動，在夏季時漂沙隨著異潮流往北方。
6. 而繞潭宜蘭外海，由於異潮在蘇澳西側海域即轉向西北方流動，造成宜蘭一帶沿海由於海流與潮流流速較小，故隨隨流所輸出之漂沙可呈三角狀分布沉積。



台灣環島近岸海域之水下沙隨潮流引令部別量圖(1995年所製)

## 工作項目 (1/2)

### 延續前三年計畫項目：

- 1) 改善貴所個人電腦環境下，Linux作業系統之POM海洋數值模式作業流程與環境。
- 2) 國內外海流數值模擬計算相關文獻收集與海氣象資料庫之引進更新、建置及應用。
- 3) 建置臺灣環島近岸海域綜合洋流與潮汐效應之大尺度海流模擬計算系統。
- 4) 臺灣環島近岸海域實測海流之年月季平均特性探討。
- 5) 臺灣近海冬、夏季季風期及特定颱風期間，綜合洋流與潮汐效應之海流模擬、模式參數調校、成果檢核與驗證及水動力特性探討。
- 6) 模擬計算臺灣環島近岸海域綜合洋流與潮流效應之大尺度海流。
- 7) 臺灣環島近岸海域長期海流流場之模擬計算。

P.26

## 工作項目 (2/2)

### 本年度新增工作項目：

- 8) 臺灣環島近岸海域年月季平均之優勢海流流速流向確認。
- 9) 臺灣環島近岸海域年月季輸沙潛勢評估。
- 10) 針對本計畫研究成果，撰寫並提交前述(1)至(9)項之實際研究應用報告，報告內容並應包含POM模式洋流數值模擬計算之建置、操作及應用等中文化手冊。
- 11) 本合作研究所建置之數值模擬系統移轉本所使用，包含系統作業化程式、自由軟體、商業軟體(如有購置)、相關電子檔案文獻、圖表及海氣象資料庫等。
- 12) 擇摘本研究之重要成果或重大突破於國內外研討會發表論文至少一篇。
- 13) 依據國科會「科技計畫績效管考平台」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本研究成果之特性，選擇合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明重要之成果及重大之突破。

P.27

## 預定進度甘特圖

工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	備註
相關資料收集與分析	■	■	■	■	■	■	■	■	
改善 POM 海洋模式模擬系統	■	■	■	■	■	■	■	■	
近岸海域長期海流模擬	■	■	■	■	■	■	■	■	
模式邊界條件之調整	■	■	■	■	■	■	■	■	
以實測資料進行模式驗證	■	■	■	■	■	■	■	■	
期中簡報									
整理分析台灣海域長期海流特性									
分析台灣海域長期輸沙帶特性									
報告與模式條件之調整									
技術轉移									
期末簡報									
提交正式報告及辦理結案									
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	70	80	100	
預定里程碑	第 1 季：資料收集與改善 POM 海洋數值模式模擬系統					第 2 季：長期海流模擬，驗證模式與實數比較			
	第 3 季：整理分析海流與輸沙帶特性與模式報告撰寫								
說明(1)	工作項目標視計畫性質及重要程度研究計畫綱要說明訂定，預定進度以組織表及其他說明。								
說明(2)	「工作進度百分比」欄係為配合管理作業所需，累積百分比情況，非性質說明以下圖表逐一詳述(1)：作大數目經費之分配(2)：作業之重要里程碑或目標之具體數字。								
說明(3)	每季之「預定里程碑」，請在標形圖上標明分數，並在「預定里程碑」欄具體說明關鍵性工作進度。								

P.28

## 結論

- 在模式建置方面，本年度增加海氣介面邊界條件，考量綜合洋流與潮流效應，透過海洋學門海流資料庫、水文資料庫之年與季平均比較中，驗證本計畫所建置之台灣附近海域洋流模式可適切呈現台灣附近海域洋流流動特性，對溫鹽等海洋水文特性亦可合理掌握。
- 在模式精度改善中發現，本年度模擬結果可以改善台灣海峽中段(如台中港潮汐水位)模擬不佳的現象，從台灣海峽流入入通量判斷，三維模式流透明顯大於水深平均二維模式。
- 本計畫以潮流與洋流綜合效應之海流場驅動深沙傳輸擴散模式，以台灣20條主要河川流量與輸沙量為來源，藉以探討由河川輸沙所引致之深沙傳輸擴散現象，從結果中可發現：
  - 台灣中西側海域在之沉積量最高，此沉積現象與雲彭隆起之海底地形具有一致性。
  - 台灣西南沿海、西北沿海、南部墾丁沿海及宜蘭沿海亦有明顯之堆積現象。
  - 台灣西部沿海大尺度深沙趨勢大致上為由南向北。
  - 深沙來源可以台南為分界，台南以北海域深沙主要來源為濁水溪，以南則由高屏溪為主。

P.29

## 建議

- 本計畫利用三層巢狀模擬海流方式與漂沙傳輸擴散模式，可以合理模擬台灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流特性與漂沙傳輸擴散特性，但由於巢狀計算方式雖可以提供合理的模擬結果，但作業程序複雜，需要大量計算資源，對於後續應用與推廣可能有執行上的困難。
- 本計畫僅考慮大尺度漂沙傳輸模式之模擬，而沿岸漂沙仍須考慮近岸波浪所引致之沿岸流系統，若要更進一步模擬沿岸漂沙堆積與侵蝕現象，應要建置波浪模式，藉由波流耦合模擬，配合高解析度漂沙傳輸擴散模式以模擬沿岸地形侵淤變化趨勢。



## 附錄三 期中報告審查意見處理情形表

### 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估

計畫編號：MOTC-IOT-101-H3DB004a

執行單位：財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

參與審查人員及其所提意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p><b>林銘崇 委員</b></p> <p>1. 臺灣海域模式潮位、流速模擬結果大致合理良好，但為得較佳結果，二維潮汐或三維潮汐模式是否可綜合歸納選用參考標準或指標？</p> <p>2. 近岸海域輸沙潛勢模擬結果甚具參考意義，但建議可能的話，亦可針對重要河川計算模擬，將有助了解河川輸沙流入海域後之漂移過程與分佈。</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 由期中報告結果可知，若於本計畫模擬條件下，需要考慮台灣環島潮流模擬條件，三維模式可於台灣海峽中段獲得較佳之潮位模擬結果，期末報告將持續探討其可能原因與適用情況。</p> <p>2. 感謝委員的肯定，期末報告將採納委員建議，針對某些重要河川，如濁水溪等輸沙量較高之河川單獨進行模擬。</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p>
<p><b>許泰文 委員</b></p> <p>1. 報告在短期內完成大尺度輸沙潛勢評估，內容豐富，實屬難得。</p> <p>2. 臺中港潮汐模擬，精度似乎有所改善，建議再做更詳細分析。</p> <p>3. 漂沙演算過程似乎不夠清楚，建議能更詳細說明。</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 台灣海峽中段潮汐為何於三維潮汐模式中可獲得較佳結果，將會在期末報告中持續探討。</p> <p>3. 漂沙演算過程之相關公式與參數將會於期末報告中一併更新與加強說明。</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p>
<p><b>滕春慈 委員</b></p> <p>1. 主持人 6.2 建議中提及「作業程</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 由於本計畫利用高解析度格網</p>	<p>審查同意並確認處</p>

<p>序複雜，對於後續應用推廣可能有執行上的困難」，但沒有提出解決方案，可否提出說明？</p> <p>2. 第3年5大商港使用300公尺解析度，今年以1公里解析度代表，是否有任何決定條件，決定1公里值。</p> <p>3. 4-19頁、4-20頁，(4-1)、(4-2)、(4-7)、(4-8)請修正。</p> <p>4. 冬季為枯水期，輸沙量結論是否過大？</p> <p>5. 完成期中需求，通過驗收標準。</p>	<p>探討台灣附近海域海潮流與輸沙潛勢特性，需要大量計算資源，本計畫所建立之模式與相關資料處理流程應可作為作業化系統，若港研中心需要作業化需求將需要採購平行計算主機，或者朝向修改格網解析度以符合作業化時間的需要。</p> <p>2. 由於去年度計畫重點在於五大商港之海潮流模擬，其港外地形與結構物為重要影響因子，故使用50至200公尺之可變間距格網以減輕計算需求，由於本年度計畫為台灣環島之海流引致輸沙潛勢，考量計算需求、地形資料庫解析度及計畫需要，故採用1公里解析度之台灣近海格網模擬結果進行探討，期末報告將加強此一說明。</p> <p>3. 感謝委員指正，相關統計參數公式將於期末報告中修正。</p> <p>4. 由於期中報告未考慮河川流量與輸沙量之月季變化，僅以年平均流量、輸沙量作為輸入條件，可能會造成冬季偏高現象，期末報告中將採用月季變化之條件輸入進行探討。</p> <p>5. 感謝委員肯定。</p>	<p>理說明。</p>
<p><b>溫志中 委員</b></p> <p>1. 研究成果結合潮流與海流，成果豐富。</p> <p>2. 河川輸沙量，圖3-21大甲溪與表3-28是否有對應？</p> <p>3. 以流速分量探討，Keelung流速較臺中差？<math>U</math>、<math>V</math>分量探討是否具有代表性？</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員指正，圖3-21之年平均流量座標標示容易造成誤解，將於期末報告中修改。</p> <p>3. 去年度報告中指出若要準確模擬商港外流速，港外高解析度地形與格網是不可或缺的條件，此處僅以1公里格網進行比較，目</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p>

<p>4. 為何整島計算，臺中誤差較其它地區大？</p>	<p>的在於討論潮位模擬的改善，流速的比較結果僅供參考比較，並不具任何改善模擬的意義。</p> <p>4. 由期中報告中可知，三維模式可改善台中海域潮位推算結果，其原因為何？將於期末報告中進行討論，希望能提出相關建議與結論。</p>	
<p><b>簡仲璟 委員</b></p> <p>1. 雲彰隆起推論是沉積量最高所造成，在邏輯上合理，但沉積量最高是雲彰隆起所造成的推論請再斟酌。</p> <p>2. 由漂沙濃度如何計算求得漂沙沉積量？（由圖 5-2 得圖 5-3），其中牽涉之懸浮質之沉降率及再懸浮率如何設定？</p> <p>3. 河川一般習慣用輸砂，海岸一般則用漂沙。因此建議用辭作修正。</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員指教，期末報告將持續探討台灣海域輸沙潛勢特性，以釐清沉積量與雲彰隆起地形之間的關係。</p> <p>2. 關於沉積量的計算是由式(2-63)所計算，關於懸浮質沉降速度則是由經驗公式所提供，相關計算公式與條件將於期末報告中加強說明。</p> <p>3. 由於本計畫題目為輸沙潛勢之評估，文中相關說明與名詞將於期末報告中進行統一。</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p>
<p><b>林柏青 委員</b></p> <p>1. 2.4 漂沙傳輸擴散模式中探討臺灣近岸海域輸沙是以濃度擴散方程式為主，因為是近岸海域所以不考慮岸邊受波浪作用之沿岸漂沙。臺灣西岸多河川，離岸稍遠的近岸區仍受河川輸沙沉積影響，也就是說臺灣海峽近岸區由南到北底質地形實際上仍有相當大變化。為了簡化輸沙模式僅考慮單一粒徑之黏絮性黏土底質，如果是 cohesive sediment 就不是單一粒徑，而且其漂沙特性及輸沙模式也非文中簡單公式可以表示，所以文中請拿掉 cohesive sediment 或黏絮性黏土等字眼。另外請問模式中</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 本計畫主要探討台灣海域海流所引致之輸沙現象，為了簡化漂沙模擬故無法針對不同河川變化底質粒徑，方程式的說明將依委員建議修改相關敘述。另外，文章中臨界剪應力會影響漂沙沉積與再懸浮效應，將於期末報告中探討此參數於本計畫應用之較佳選擇，而懸浮質沉降速度所使用的相關公式，亦於期末報告中加強說明。</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p>

<p>臨界剪應力<math>\tau_c</math>值多少？<math>w_s</math>值多少？怎麼來的，根據什麼？<math>\tau_c</math>、<math>C_b</math>如何得到？</p> <p>2. 2-63 公式中沒有<math>C_{sb}</math>，底床層之底質濃度是指底床內還是底床上懸浮質濃度，與<math>C_b</math>及<math>C_s</math>有何不同？</p> <p>3. 2-61 公式，<math>\partial C/\partial z</math>更正為<math>\partial C_s/\partial z</math>。</p> <p>4. 圖4-10中AQUAscatt1000是測量懸浮質濃度剖面，為何要橫著擺？如果只是測單點濃度，可以放較便宜濁度計就好。</p>	<p>2. 式(2-63)符號有所誤植，其中應為<math>C_{sb}</math>，表示底質沉積與再懸浮通量為底床層底質濃度函數。</p> <p>3. 感謝委員指正，式(2-61)右側應為<math>\partial C_s/\partial z</math>。</p> <p>4. 圖4-10中錨定串列之相關圖形將進行查證，於期末報告中加強說明或修正。</p>	
<p><b>莊文傑 委員：</b></p> <p>1. 感謝合作研究單位的協力配合，並如期繳交提送期中報告。</p> <p>2. 第一章第1-1頁所陳明本合作研究之主要工作項目，請與第1-9頁所陳明本合作研究之本年度計畫工作項目作整合，並請於後續合作研究期間加強執行，再請於期末報告中，依所列主要工作項目，逐項成立專章，並分別予以充分詳細之陳述、討論及評析。</p> <p>3. 第一章第1-8頁關於臺灣海峽近岸底質沉積特性之文獻引述，扈和洪(2011)之文獻內容，請再詳細補充；並請列入錢樺等人(2011)文獻之內容評述；又莊(2009)有關「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)」報告之部分內容與圖表，建請考量收納、補充於第1.1研究動機及第1.2計畫背景之相關內文或評述中。</p> <p>4. 第二章第2-17頁第2-4節漂沙傳</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 將依委員建議，加強說明第1-1節研究動機說明，使內容與本年度計畫工作項目能吻合，並依委員建議編排章節。</p> <p>3. 將依委員建議，加強說明第1-2節背景說明之內容，增列委員建議之參考文獻等與本計畫相關之內容評述。</p> <p>4. 關於第2-4節漂沙傳輸擴散模式</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p>

<p>輸擴散模式，請對相關理論及所應用及定義之參數，再作更詳細之補充說明，例如：式(2-61)應缺少河川輸沙與沉積之源-匯項；所稱單一粒徑之沉泥，應補充註明其粒徑，並考量式(2-61)對黏性沉積物質之適用性；垂直擴散項 <math>K_v \partial C / \partial z</math> 與式(2-61)濃度符號之使用不一致；水平擴散項 <math>F_c</math>，請明示定義並說明；式(2-61)與式(2-62)間內文述及「側向邊界在漂沙擴散模式中不考慮」，該論述似與河川輸沙之源項考量具衝突性，請考量修正或補充說明；式(2-63)所陳現之底質傳輸通量，其中多項參數或符號，如：<math>\tau_c</math>、<math>\tau_b</math>、<math>C_b</math>、<math>C_{sb}</math> 等均未明確定義及說明，另外，<math>E_0</math> 之設定與應用，請補充參考文獻。</p> <p>5. 第三章第 3-19 頁以後有關引用水利署相關水文年報或圖表等內文及圖資，請明確補充參考文獻並加註文獻出版資訊。第 3-25 頁「水利署(2010)」之文獻，未見於參考文獻中。</p> <p>6. 第三章第 3-26 頁式(3-1)陳明懸移質輸砂量與流量之迴歸關係，其中，參數 a 與 b，其在本研究中所設定使用之數值為何，請陳述表明。又式(3-1)所陳明其係應用流量估算懸移質輸砂量，是以僅考量懸移質輸砂量，應尚無法充分陳現本研究之輸沙潛勢、甚或沉積量之研究重點(參見第 5-4 頁圖 5-3)，此外，僅考量懸移質輸砂量，其如何與式(2-61)在數值模式中作整合計算，請強化相關論述及作補充說</p>	<p>之相關說明，部分內容為誤植與需要加強說明部分，將會於期末報告中一併改善，相關符號說明亦會增加，而側向邊界在文章中所指的是模式之開放邊界，其亦會修改相關敘述。</p> <p>5. 將依委員建議修正與補註相關資料之出處與參考文獻。</p> <p>6. 本計畫利用經濟部水利署之水文年報中懸移質實測紀錄，將河川日平均流量與日懸移質輸砂量以冪次關係之回歸分析，可得到每條河川自己的率定曲線(參數 a、b)，再將河川每月平均流量帶入回歸公式可求出每月平均河川懸移質輸砂量。而河川含沙量主要可分為細粒之懸移質與粗粒之推移質，因此，本研究考慮懸移質和推移質加總合做為河川輸砂量之代表，其中推移質量約為懸移質 25%，而相關參</p>	
--	--	--

<p>明。</p> <p>7. 第三章第 3-50 頁圖 3-21 之垂直座標軸標，請分別修正為：「年平均輸砂量(百萬立方公尺)」、「年平均流量(秒立方公尺)」；又該圖若非本研究自行整理繪製，應註明引用文獻。</p> <p>8. 第四章第 4-11 頁表 4-3 請增列本研究之水深分層參數(<math>z_b</math>)與設定之數值。第 4-19 頁式(4-1)與(4-2)，請檢視其正確性。第 4.3 節內文，請充分說明研究背景，至於對圖 4-14 至圖 4-17 研究成果之比較、分析與討論，請再強化並補充相關之評述，並作出研究結語與建議。</p> <p>9. 第五章內文中，建請考量收納補充莊(2009)有關「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)」報告之部分內容與圖表，並請於期末報告中多作具體探討與建議。第 5-4 頁圖 5-3 中，由圖觀察似乎僅見年平均漂沙沉積量，而無年平均漂沙沖蝕量，相關年平均漂沙沖蝕量之計算與評估，建請於期末報告中多加強化與探討。</p>	<p>數將會增列於期末報告中。</p> <p>7. 感謝委員指正，關於圖 3-21 將修正座標軸表示，而該圖為本計畫綜合歸納經濟部水利署水文年報之資料推算而得，並無引用圖表文獻。</p> <p>8. 將於期末報告增列模式計算之水深分層參數，而 4-19 頁之統計參數將檢討其正確性。關於第 4-3 節將增列去年度報告結果，說明其背景。關於三維模式可改善台中海域潮位推算結果，其原因為何？將於期末報告中進行討論，希望能提出相關建議與結論。</p> <p>9. 將依委員建議參考貴所過往研究成果莊(2009)之報告內容，摘錄與本計畫相關內容進行探討。由於臨界剪應力之設定造成期中報告無法呈現沖蝕量，其臨界剪應力參數設定亦將在期末報告中進行探討。</p>	
---	--	--

## 附錄四 期末報告審查意見處理情形表

### 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估

計畫編號：MOTC-IOT-101-H3DB004a

執行單位：財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

參與審查人員及其所提意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p><b>林銘崇 委員</b></p> <p>1. 颱風洪水之河川輸沙影響甚鉅，故針對颱風期間之漂沙潛勢模擬應可考慮探討。</p> <p>2. 經由漂沙傳輸擴散方程式，如何處理推求沉積量及漂沙傳輸方向？</p> <p>3. 結論指出三維模式流速大於水深平均二維模式，有必要釐清其真義。</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 台灣河川坡陡短急，颱風洪水期間河川輸沙量佔所有總輸出之大部分，單一洪水事件的河川輸沙亦可能造成鄰近海域大量漂沙現象產生。本計畫內容針對海域長期漂沙現象來探討，但所建立之相關模擬能力亦可進行單一事件之漂沙潛勢模擬，其有待於後續研究或計畫進行。</p> <p>2. 漂沙沉積量估算透過式(2-73)進行，若流速所產生的底床剪應小於臨界剪應力時，表示該處流速變小會產生沉積現象，利用 <math>C_{sb} w_s ( \tau_b /\tau_c - 1)</math> 來估計可能之潛勢沉積量。另外，漂沙傳輸方向透過海流模式所提供之三維流速流向，進行三維漂沙濃度傳輸與擴散計算，而漂沙濃度為純量並無方向性，相關敘述於2.5節中加強說明。</p> <p>3. 在本計畫測試結果，分別利用 POM 模式之二維與三維計算模組，在模式格網設定與參數不變</p>	<p>審查同意處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>

	<p>動之下，三維計算所得海峽中段流量較大，在相同斷面積下亦表示其流速較大，於 4.3 節與結論中加強說明。</p>	
<p><b>陳炫杉 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在一年期限完成臺灣海域的輸沙報告，實屬難得不易。這份報告已達驗收標準，雖然有些地方有待更進一步詳細分析與陳述。</li> <li>2. 模式中的底床輸沙(bed load)、沉積和侵蝕(deposit and scour)有待更詳細的陳述。</li> <li>3. 在驗證比較中，大多數為定性分析，除了部份潮位外，鮮有定量分析。水流、水位、和輸沙的定量分析有待清晰陳述。</li> <li>4. 圖 4-6 建議增加差別圖(difference plot)。圖 4-19 建議增加散佈圖(scatter plot)。</li> <li>5. 考慮實境及極端氣象海象事件，在模式中用週平均或日平均來替代月平均應該比較恰當。</li> <li>6. 建議此研發繼續改良進行，以利作業化之用。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定與指出報告中錯誤之處，定稿中亦修正相關錯誤與加強說明。</li> <li>2. 本計畫所建置之漂沙傳輸擴散模式僅考慮懸浮載之傳輸、擴散、沉積等計算，並未考慮底床載，故模擬結果僅用來評估探討台灣海域大尺度之漂沙傳輸潛勢，尚無法進行地形變遷模擬，相關陳述於 2.4 節中加強說明。</li> <li>3. 關於海潮流驗證比較，在 100 年計畫(廖等人, 2012)中曾針對五大商港海域進行流速的統計誤差定量分析，本計畫僅探討前幾年度誤差較大之台中潮位改善過程。而本年度計畫重點之漂沙潛勢模擬，尚無法收集台灣環島地形變遷趨勢資料，故僅利用地形水深圖與模擬結果之關聯性，探討定性的特性。</li> <li>4. 感謝委員的建議，已增加差別圖於圖 4-6 中，與圖 4-19 之散佈圖於定稿報告中。</li> <li>5. 如委員所述，極端事件應以較短延時來描述事件變化，由於本計畫目的為大尺度長時間之台灣海域漂沙潛勢評估，故以月平均來加以探討分析。</li> <li>6. 感謝委員的肯定，本計畫相關模式建置時期已經考量未來作業化之需求，由於作業化仍須考量軟硬體作業環境與人員編制等</li> </ol>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>

	問題，其有待於後續需求與計畫繼續執行。	
<p><b>滕春慈 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>計畫資料收集、模式建置、驗收、結果分析均十分完整，成果豐富。</li> <li>有左、右圖，請在圖說中增加左圖、右圖。</li> <li>圖說中請增加模式解析度(G1、N2、T3)，以利閱讀。</li> <li>圖 4-24、4-23 漲退潮速度(通量)有差異，請增加淨通量計算，以釐清是否有水位堆積的現象以及是否合理的討論。</li> <li>圖 4-19，在小潮期間，半日潮的模擬較大潮間為差，這和報告中提到潮汐模擬誤差小是否有矛盾地方，建議以後研究要加強。</li> <li>請增加斷面淨通量，藉以瞭解水位變化和通量間是否合理。</li> <li>圖 5-2 左、右圖說放錯，請修正。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員的肯定。</li> <li>感謝委員的指正，相關圖說皆已增加說明於定稿報告中。</li> <li>感謝委員的指正，相關圖說皆已增加說明於定稿報告中。</li> <li>感謝委員的建議，已在圖 4-23 中增加台灣海峽中段淨通量變化之 25 小時移動平均曲線，由圖中可看出在計算時間內淨通量平均並無明顯變化，而圖 4-23 與 4-24 增加紅色曲線表示淨通量，相關說明亦增加於定稿報告中。</li> <li>已於定稿報告中加強說明，並增加流速比較散布圖 4-19，由圖 4-17 中可看出於高屏峽谷 690 公尺處之流速流向模擬結果，於小潮期間的模擬較為不佳，模擬的流向與實測的流速皆不具週期性，而大潮期間的模擬則較具合理性，其可能與大潮期間天文潮驅動力較強形成週期性較明顯，模式仍有研究加強之處。</li> <li>如第 4 點建議之修正，增加南北斷面通量變化、25 小時移動平均淨通量變化，與原有之水位變化一起比較，由圖中可知，25 小時移動平均淨通量變化並無明顯增加或減少趨勢。</li> <li>感謝委員指正，定稿報告中已修正相關錯誤。</li> </ol>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>
<p><b>溫志中 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>圖 3-6、3-7 誤植，1-6、1-7「第</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員指正，定稿報告中已修</li> </ol>	<p>審查同意並確認處</p>

<p>一分年」還是「第一年分」。</p> <p>2. 比對國科會海洋學門海流資料庫與研究結果，呂宋海峽之洋流特性有計算出黑潮一分為二之現象。國科會之資料庫則無此現象，原因為何？</p> <p>3. 於第四章資料比對時，擬建議增加資料庫之解析度之比值。</p> <p>4. 比對二維模式與三維模式以全島方式計算，可得出二維模式計算所得之通量明顯小於三維之 flux，此結果原因為何？</p> <p>5. P5-2，第 16 行「在者」更正為「再者」。</p> <p>6. 第五章結構建議修正章節比重，文章 5-2 頁，位置放置錯誤。</p> <p>7. 文章字體建議符合港研中心規定。</p> <p>8. 內容成果豐富，值得肯定。</p>	<p>正相關錯誤。</p> <p>2. 如報告中說明，由於資料庫之實測資料為研究船多年量測平均結果，觀測資料亦有相關特性出現，雖不如高解析度模式資料明顯，但亦可發現黑潮分支之特性。</p> <p>3. 資料庫之解析度為 0.25 度，比較 N2 模式解析度為 0.04 度，相關說明亦增加於定稿報告中。</p> <p>4. 由本計畫測試結果，分別利用 POM 模式之二維與三維計算模組，在模式格網設定與參數不變動之下，三維計算所得海峽中段流量較大，在相同斷面積下表示其流速較大，其已於定稿報告 4.3 節與結論中加強說明。或許三維模式可以表現出垂直方向上的變化，但更明確之原因仍有待後續研究進行探討。</p> <p>5. 感謝委員指正，報告定稿中已修正相關錯誤。</p> <p>6. 如委員建議，第四章中增加 4.4 節台灣海域月季年平均優勢海流特性探討，可與第五章之海域漂沙現象做為對照。</p> <p>7. 感謝委員指正，定稿報告亦遵守港研中心相關規定辦理。</p> <p>8. 感謝委員肯定。</p>	<p>理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意。</p>
<p><b>簡仲璟 委員</b></p> <p>1. 沿岸漂沙淨移動方向與海流流動水體淨流動方向不一定相同，因此單以海流進行漂沙潛勢評估，宜有適當之假設條件作說明。</p> <p>2. 建議以河川不輸砂時，則模式所</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員指正，本計畫重點在於大尺度漂沙現象，考慮之驅動力為綜合洋流與潮流，小尺度局部性之沿岸漂沙仍需考慮波浪引致近岸流，相關假設與說明已清楚說明於第五章與結論中，避免誤導讀者。</p> <p>2. 定稿報告第四章 4.4 節中已增加</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>

<p>計算出漂沙趨勢如何？假設模式可以進行計算。</p> <p>3. 設定較大漂沙臨界剪應力之目的，宜再補充詳細說明，並考量其合理性。</p> <p>4. 臺灣西南、西北及宜蘭沿海有明顯之堆積現象，單純由海流引致之推論宜再考量，例如僅是因濁水溪、高屏溪及蘭陽溪等河川輸砂有關。</p> <p>5. 三維模式的流速是以何處水深資料與二維模式（水深平均）作比較？</p> <p>6. 報告中有部分文字誤植及缺漏，請檢視後修正。</p>	<p>臺灣海域月季年海流優勢方向說明，應可與漂沙趨勢有所呼應。</p> <p>3. 關於本計畫設定較大漂沙臨界剪應力之考量，希望能單純討論河川輸沙量造成海域漂沙與堆積現象趨勢，其海域地形侵蝕現象並不加以考慮。</p> <p>4. 本計畫針對大尺度海流所引致漂沙現象加以討論，海岸小尺度局部性之侵淤仍需考慮波浪所引致之近岸流，其有待後續研究加以討論，相關假設已於定稿報告中加強說明。</p> <p>5. 三維模式之流速具有水深方向變化，二維模式則為水深平均，斷面通量計算則由每一格網中之流速乘以面積來加以計算。</p> <p>6. 感謝委員指正，定稿報告中已修正相關誤植與缺漏部分。</p>	<p>審查同意處理說明。</p> <p>審查同意處理說明。</p> <p>審查同意處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>
<p><b>林柏青 委員</b></p> <p>1. 本研究以臺灣外海洋流、潮流帶動懸浮沙之擴散、沉降探討大尺度漂沙趨勢，與海岸地區受波浪碎波、沿岸流、地形構造物影響的沿岸漂沙無關，甚至趨勢相反，所以摘要中臺灣海岸請更正為臺灣海域。</p> <p>2. 表 3-16~3-19，請註明流量單位（CMS）。</p> <p>3. 表 3-23~3-44，輸沙量單位為公噸，非體積量，請更正。</p> <p>4. 由圖 3-21 建立的迴歸模式，各河川每年 a、b 值不同，如何應用？應整合 3 年數據，求各河川 a、b 值。</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員指正，近岸漂沙與地形變化主要外力仍是以小尺度局部性波浪為主，相關敘述與說明已針對大尺度海域作為修正，避免誤導讀者。</p> <p>2. 已於表 3-16 至 3-19 中增加流量單位為 CMS。</p> <p>3. 已於表 3-23 至 3-44 中修正河川輸沙量為公噸。</p> <p>4. 利用水文年報所回歸出的輸沙量與流量的迴歸模式與參數，僅利用於每一年每一條河川的輸沙量計算，再將三年輸沙量與流量作為平均值代入漂沙傳輸擴散模式計算。依委員建議方式亦</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意處理說明。</p>

<p>5. 河川底移質為懸浮質 1/4，請提供依據。</p> <p>6. 河川輸沙大部分在河口沉降成沿岸漂沙，只有極少量會漂至外海被潮流或洋流攜帶擴散，所以不應以河川總輸沙量為 input。</p>	<p>可獲得平均輸沙量與流量結果，兩者結果之間的差異，則有待後續研究繼續進行。</p> <p>5. 本計畫假設河川底移質為懸浮質之 1/4 乃參考許等人(2010)之研究結果。</p> <p>6. 誠如委員所述，大部分的河川輸沙應沉積於河口附近海域，僅有較細顆粒會受海流帶動至遠處海域，由於本計畫僅考慮定性海域漂沙現象，故漂沙濃度應與河川總輸沙量有一定比率之關係，相關假設與說明已增列於定稿報告第五章中，避免誤導讀者。</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>
<p><b>莊文傑 委員：</b></p> <p>1. 感謝合作研究單位的協力配合，並如期繳交提送期末報告。</p> <p>2. 第一章第 1.3.1 節所述本年度新增工作項目第 1 項及第 2 項，請增列章節並分別討論及評析。</p> <p>3. 請於相關內文中強化第 1.3.2 節所列各重要研究成果的陳現。</p> <p>4. 請於相關內文中強化、補充期中報告各審查委員之意見並作具體回應，例如：網格空間解析度之選擇考量說明；誤差統計公式(式 4-1、4-2、4-7、4-8)之勘誤；冬季輸沙量過大之檢討；輸沙模式及其應用參數依據、定義與說明；計畫背景說明及文獻回顧；懸移質輸砂量與流量之迴歸關係中，參數 a 與 b 在各河川所設定使用之數值；水深分層參數 (<math>k_b</math>) 之數值設定等。</p> <p>5. 第 4.2 節之海流模擬系統建置內文及附圖中，末見表 4-1 所列</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 將依委員建議，於第四章中增加 4.4 節說明新增工作項目之第 1 與 2 項。</p> <p>3. 已於定稿報告 1.3.2 節中加強說明相關成果與章節的對應，以利讀者閱讀。</p> <p>4. 期中報告修正內容如期中報告審查意見回覆中說明，定稿報告亦有加強說明。</p> <p>5. 關於 T3-1 格網僅用於潮位改善中之測試模擬，尚未應用在其他</p>	<p>審查同意處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>

<p>T3-1 格網之地形水深；圖 4-2 亦未標示 T3-1 之格網範圍與位置；圖 4-5 與上列格網地形之聯結示意，亦未一致，建請檢視、修訂及補充。</p> <p>6. 請於第 4.2.1 節及第 4.3 節進行海流模式驗證前，增列一節以陳示各巢狀格網(G1、N2、T3-1、T3)，尤其是 T3-1 及 T3 格網範圍之綜合洋流及潮流效應之詳細(分季_1-4-7-10 月、一日、逐時；參見 100 年度”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”計畫成果)海流模擬計算結果，俾作年-月-季平均優勢海流流速、流向之論述說明依據。</p> <p>7. 第 4.3 節內文請強化二維及三維潮流計算模式之差異說明，並補充討論分析說明可能造成模擬計算結果差異之可能原因。</p> <p>8. 請於第 4 章中，配合上述增列 T3 格網範圍綜合洋流及潮流效應之海流模擬計算結果，增列章節以補充陳示並強化探討第 1.3.1 節所述本年度新增工作項目第 1 項及第 2 項之研究成果。</p> <p>9. 第五章內文中，“磨擦”、“土時”、“在者”、“非現性”等誤植，請修訂。</p> <p>10. 圖 5-1 陳示月平均漂沙濃度及月平均漂沙沉積量，請於圖說內作左、右圖標示；內文中亦請強化圖面色階及箭尺等標示之說明。</p> <p>11. 第 5-1 節，月平均漂沙濃度及漂沙沉積量是否僅為當月平均？</p>	<p>模式中，定稿報告已增列與圖 4-5 中。</p> <p>6. 已於定稿報告中增加 4.4 節說明 T3 格網月季年平均海流模式結果，說明台灣海域綜合洋流與潮流效應模擬結果。而 T3-1 格網如意見回覆第五點所述，並未進行長期模擬，故無法進行討論。</p> <p>7. 已於定稿報告中加強說二維與三維計算方式，兩者計算結果差異如文中所述，可能是二維模式利用與三維模式之相同模式參數，形成模擬流速過小，造成台灣海峽潮流通量較小，導致潮差較小。</p> <p>8. 如意見回覆第 6 點所述，已於定稿報告中增加 4.4 節，說明台灣海域綜合洋流與潮流效應模擬年月季結果。</p> <p>9. 感謝委員指正，相關文字誤植已於定稿報告中修正。</p> <p>10. 已於 5.1 節中加強說明圖 5-1 之色階、流矢標示說明，並於圖 5-1 圖說中表示各小圖所表示內容。</p> <p>11. 已於 5.1 節中說明本節所用之月平均為當月平均量，並不是逐月</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意處理說明。</p>
--	--	---

<p>抑或是逐月累積量？或是前一個月的延續？請於內文清楚說明“月平均”之計算統計方法。</p> <p>12. 第 5-1 節，高雄、屏東、墾丁等西南部海岸之漂沙沉積說明，請與東南部海岸之漂沙沉積應該是由西南部河川輸沙所致之論述，作統一及整合，並請再明確引據相關圖示作補充說明。</p> <p>13. 圖 5-2 陳示季平均漂沙濃度及漂沙沉積量，請於圖說內作左、右圖標示；內文中亦請強化圖面色階及箭尺等標示之說明，並請於內文清楚說明“季平均”之計算統計方法。</p> <p>14. 圖 5-2 至圖 5-5 之左(濁水溪)、右(主要河川)圖標註與內文說明似有誤植，請作修訂。</p> <p>15. 建請增列第 5-3 節，綜合月、季平均之漂沙濃度及沉積量以進行長年平均計算，俾配合研究主題，充分詳細探討並評估臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢。</p> <p>16. 第 6.1 節第 5 點結論與第 5.2 節段末內文似完全重複，且第 1 至第 4 點結論，均與流場計算相關，建請針對本研究之研究主題及研究目的，對結論要點再作補充調整與修訂。</p> <p>17. 請更新並強化附錄一 POM 模式操作手冊之詳細度與完備性。</p>	<p>累積之之計算方式。</p> <p>12. 已於定稿報告中加強說明台灣西南與東南海域漂沙濃度變化情況，並連結月平均漂沙濃度變化進行說明。</p> <p>13. 已於定稿報告 5.2 節中，說明圖 5-2 之季平均漂沙濃度與沉積量之計算方式，並加強說明圖中符號意義與圖說。</p> <p>14. 感謝委員指正，圖 5-2 至圖 5-5 之圖說誤植部分已經修正於定稿報告中。</p> <p>15. 於定稿報告 5.2 節已加強說明年平均漂沙濃度與沉積量之計算結果與探討。</p> <p>16. 如委員建議，修正結論重點於漂沙傳輸擴散模擬之結果，增列第五章模擬結果於結論中。</p> <p>17. 附錄一 POM 模式操作已增列本年度所建置之漂沙傳輸擴散模式之設定與參數說明。</p>	<p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p> <p>審查同意並確認處理說明。</p>
---	---	---