

102-66-7697
MOTC-IOT-101-H3DA004b

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對 近岸海流之影響評估(4/4)

— 臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響 —



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

102-66-7697
MOTC-IOT-101-H3DA004b

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對 近岸海流之影響評估(4/4)

— 臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響 —

著 者：莊文傑、廖建明、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估.
(4/4)：臺灣近岸海域海流對岸長期沖淤之影響 /
莊文傑，廖建明，李俊穎著．-- 初版．-- 臺北市：
交通部運研所，民 102.04
面；公分

ISBN 978-986-03-6419-4(平裝)

1.海流 2.潮流

351.9

102005427

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4/4)
— 臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響 —

著者：莊文傑、廖建明、李俊穎
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 (中文版>中心出版品)
電話：(04)26587185
出版年月：中華民國 102 年 4 月
印刷者：承亞興企業有限公司
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：1010200552

ISBN：978-986-03-6419-4 (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分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4/4)
 — 臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響 —

國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-6419-4(平裝)	政府出版品統一編號 1010200552	運輸研究所出版品編號 102-66-7697	計畫編號 101-H3DA004b
---	-------------------------	---------------------------	----------------------

主辦單位：港灣技術研究中心

主管：邱永芳

計畫主持人：莊文傑

共同主持人：廖建明、李俊穎

研究助理：馬維倫、錢爾潔、陳正義、張麗瓊

聯絡電話：(04)26587185

傳真號碼：(04)26564415

研究期間

自 101 年 01 月

至 101 年 12 月

關鍵詞：海流、潮流、臺灣海域、POM 模式、黑潮、輸沙潛勢、漂沙沉積、影響評估

摘要：

臺灣的河川，坡度陡峻，颱風期間，強而集中的雨量，不僅會對陸地造成嚴重的沖蝕，更會使河川移運入海之輸沙量大幅增加。海流是海洋的動脈，更是海域漂沙的主要輸運配送動力。區域局部性大尺度海流所引起的海域漂沙輸運配送不平衡，將導致漂沙路徑與沉積形態的恆常變化，進而造成海岸長期性的沖淤變遷。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，本研究從臺灣海域大尺度海流之模擬計算著手，首先，掌握恆常海優勢海流之流速與流向特性，接著，配合河川輸沙，並以海流對海域漂沙所引致之輸沙潛勢與漂沙沉積形態作依據，進而探討海流對海岸長期沖淤之影響。

本研究之目的，主要在促進海洋資源與能源之永續經營及利用，厚植近岸防災預警與風險管理機制之基礎資訊，深耕推行近自然工法以落實海岸保育的關鍵課題。主要研究成果及結論包括：(1)應用 POM 三維海流水動力模式，綜合洋流與潮流效應，充分有效地模擬計算臺灣海域之擬真海流；(2)自綜合洋流與潮流效應之擬真海流中，以逐時對應方式，扣除具週期性而往復流動之潮流，可具體準確地地掌握臺灣海域之恆常海流特性；(3)確認臺灣海域之恆常海流，不分季節性且不論潮位之高低漲退影響，海流流向皆具有由南向北之恆常優勢特性，不過，在臺灣海峽之南北兩端海域，恆常海流流速會受潮流影響而隨潮位之高低漲退分別作強弱消長之變化；(4)臺灣海域之漂沙，在大尺度擬真海流輸運下，主要之輸沙與沉積潛勢，均與恆常海流之流向一致，皆具有由南而北的特質；(5)臺灣海域海流對海岸長期沖淤之影響，可藉大尺度擬真海流輸運河川輸沙之漂沙沉積形態陳現，故而在臺灣西部海岸，僅管普遍存在嚴重之海灘沖蝕現象，但配合輸沙潛勢與漂沙沉積形態可知，臺灣西部海域，在河川輸沙影響下，實際上仍具有淤積趨勢，只是淤積趨勢係以大規模的水下沙體沉積形態陳現而已；(6)依據大尺度擬真海流輸運河川輸沙之總體漂沙沉積形態研判，濁水溪之河川輸沙，應對存在臺灣西部海域之大規模水下沙體形成具有極重要且關鍵的影響。

研究成果之效益：

- (1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 7 篇；出版研究報告 2 冊。
- (2) 技術創新(科技整合創新)方面：引進及應用國際培訓資源，建置專業整合環境，強化國際互動機制，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，提昇海洋科技—藍色科技之科研能力，落實跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，統合國科會海洋學門海洋水文資料庫、NCEP/NCAR 海表面分析風場、NCEP/NCAR 海平面大氣壓力、NOAA OI SST 及 ERSST 海面溫度、及 NODC WOA 海洋溫、鹽度等 5 大類型之海洋物理資料庫，並將相關資料應用於臺灣近岸海域的擬真海流模擬計算，提供詳細地優勢恆常海流與漂沙沉積資訊。
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：掌握臺灣近岸海域詳細、全面的海流月、季變動特性與隨潮位高低漲退之時變特性，可促進海流能源開發利用之相關產

業，提昇品管及經理效能，強化海洋資源與能源資訊，敦節實施全面監測之人力及物力投注，提供政府及業界有關臺灣近岸海域海流與深層海水水溫與水質之月季變動資訊，輔助海洋資源與能源開發利用之有效經理，強化防災效能，樽節應變、減災、救災的成本。

- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：透過臺灣近岸海域大尺度恆常海流特性的研究，可充分掌握大尺度長期性之海岸輸沙優勢方向與沉積趨勢，從瞭解與順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運特性著手，避免對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，進而可配合採行「自然工法」策略，減少海岸災害防救各項人力、物力及財力等社會資源之投注，達成海岸保育與永續利用目標。
- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：本研究結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，強化跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，在國內自力完成臺灣海域擬真海流與優勢恆常海流流場之模擬計算，相關成果可提供交通部、本所、各港務分公司、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。具體配合政府推展「海洋國家」之策略目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海岸侵蝕治理之決策資訊，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，提升近岸海域災害應變與預警能力，精進災害風險評估系統，強化救災及預警科技之評估效能及應用。

可供本所或其他政府機關後續應用情形：

- (1) 針對臺灣近岸海域，本研究完成之綜合洋流與潮流效應之擬真海流數值模擬系統；探討之大尺度、長期性優勢恆常海流特性；評估之大尺度漂沙輸運及沉積趨勢，皆可應用以有效掌握臺灣海域季節性海流與漂沙沉積之變化特性。其中，優勢恆常海流、漂沙輸運及漂沙沉積趨勢等成果，尤其可提供交通部、環資部、內政部、各港務分公司、縣市政府、及各工程顧問公司等產、官、學、研單位，從事海岸開發與保育、港灣規劃、設計、擴建及維護等相關先期評估之應用依據。
- (2) 在臺灣四周海岸，本研究完整詳細地掌握擬真海流所導致大尺度之優勢輸沙潛勢，從順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運特性著手，減少對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，藉以厚植長期性大尺度海灘保育之關鍵技術，落實行政院推動採行「近自然工法」(郭金棟，2004)之海岸保育策略，順應自然海灘沖淤變遷趨勢，總體性、全面性(大尺度)的「永續」保育海岸。
- (3) 配合行政院構建海洋國家的目標，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；依據國家科學技術發展計畫，補充既有地球環境科技監測體系的完整，推進本土化監測及評估關鍵技術之發展，推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
102 年 4 月	198	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：

☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密

(解密條件：☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，
☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密)

☒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**

TITLE: Simulating the ocean circulation and evaluating its impacts on near shore currents on the seas around Taiwan (4/4) – The effects of ocean currents on long-term trend of sediment transportation and deposition around the coastal seas of Taiwan.			
ISBN 978-986-03-6419-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200552	IOT SERIAL NUMBER 102-66-7697	PROJECT NUMBER 101-H3DA004b
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Juang Wen-Jye PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liao Jian-Ming, Lee Chun-Ying PROJECT STAFF: Ma Wei-Luen, Chien Er-Jier, Chen Cheng-Yi, Chang Lee-Chung PHONE: 04-26587185 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO December 2012
KEY WORDS: Ocean Circulation, Tidal Currents, Seas around Taiwan, POM, the Kuroshio, Impacts Assessment, Submerged Sandy Topography, Sediment Transportation and Deposition.			
Currents and circulations are the artery of oceans. It mainly responses for not only the upwelling of generating fish farms, but also transporting the coastal and ocean material such as the coastal sedimentations, the suspended loads, chlorophylls, phytoplankton, the ocean nutrients, and so on. The study of ocean circulations adjacent to country, therefore, is the key program to promote the ocean resources into sustainable managements and utilizations. The total period of the study had scheduled to be 4 years. The main goal set on simulating the ocean circulation, in particular the Kuroshio, and evaluating its impacts on both the near shore currents and the long-term trend of sediment transportation and deposition around the coastal seas of Taiwan. For this last year research, besides computing the pseudo-true currents that combined the effects of both the ocean circulation and tides, also, the prevail flow patterns and the potential trend of transportation and deposition of the sediments discharged from 20 main rivers are simulated by applying the 3-D ocean model of POM, the Princeton Ocean Model. On modeling, the nested grids scheme that composed of three layers of the global ocean, the Pacific Ocean, and the seas around Taiwan is implemented. The well-known and commonly used ocean databases such as the global topography of ETOPO1, the locally topographical database of the National Science Council, the wind and atmospheric pressure of NCEP/NCAR, the sea surface temperature of NOAA/OISST, and the climatologically fields of temperature and salinity of NODC/WOA05 are successfully linked. Furthermore, the large-scale submerged topographies accreted by sandy sediments are introduced and then adopted for verification. Throughout this study, the mainly conclusions are list following. (1) From the verifications of flow patterns, the simulated pseudo-true currents that combined the effects of both the ocean circulation and tides show good consistency with currents investigated on the coastal seas around Taiwan. (2) The seasonal and yearly permanent flows, eq., the prevailing currents, in coastal seas can be concretely derived and accurately obtained by directly subtracting the tidal currents from the pseudo-true currents. (3) No matter the flooding or ebbing effects of tides, the flow directions of the prevailing currents are mainly from south to north; however, the change of magnitude of currents velocity closely depends on the tidal levels. (4) Basing on the transporting effects of the pseudo-true currents, the long-term trend of sediment deposition are mainly from south to north. (5) Although most of the coasts reported on status of erosion, the sediments discharged from rivers still own the potential of deposition on the coastal seas so that there is much large-scale submerged sandy topography exhibited. (6) The sediment discharged from Zhuoshui River seriously affect the formation of the large-scale submerged sandy topographies that appeared on the central western coasts of Taiwan			
DATE OF PUBLICATION April 2013	NUMBER OF PAGES 198	PRICE 300	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之 影響評估(4/4)

— 臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響 —

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目 錄	IV
圖目錄	VI
表目錄	XII
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 文獻回顧	1-3
1.3 工作項目	1-8
1.4 研究成果之預期應用	1-8
第二章 臺灣海域大尺度的水下地形沖淤	2-1
2.1 臺灣環島海域的地形水深與沖淤變遷	2-1
2.2 臺灣環島海域的水下大型沉積沙體	2-2
2.3 臺灣環島海域優勢海流研判	2-4
第三章 大尺度海流之計算模式	3-1
3.1 海流水動力模式_POM 簡介	3-1
3.2 控制方程式	3-2
3.3 數值方法	3-14

3.4 乾溼格網	3-19
3.5 軟硬體設備建置	3-22
3.6 海氣象資料庫之應用	3-25
第四章 臺灣海域海流之模擬計算.....	4-1
4.1 臺灣海域大尺度海流特性概述	4-1
4.2 海流模擬之計算海域範圍與巢狀格網建構	4-8
4.3 巢狀格網架構之邊界條件處理	4-9
4.4 模擬計算之時空參數設定	4-10
4.5 臺灣海域大尺度海流之模擬計算	4-12
4.6 臺灣海域大尺度之優勢恆常海流	4-34
第五章 臺灣海域之大尺度海岸沖淤.....	5-1
5.1 河川輸沙與大尺度海流引致之漂沙傳輸與沉積	5-1
5.2 臺灣河川之水文	5-1
5.3 臺灣主要河川之流量與輸沙量	5-7
5.4 海域漂沙傳輸擴散模式	5-9
5.5 臺灣海域海流輸沙潛勢模擬	5-11
5.6 臺灣海域海流對海岸長期性沖淤之影響	5-16
第六章 結論與建議.....	6-1
參考文獻.....	參-1
附錄 1 期末報告審查簡報資料.....	附 1-1
附錄 2 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表.....	附 2-1

圖目錄

圖 2-1 臺灣環島近岸海域的水深地形(詹森，2002).....	2-5
圖 2-2 臺灣環島海岸的沖淤趨勢分佈(資料來源：張、黃，1997)	2-5
圖 2-3 臺灣海峽海域應用 1999-2001 年 SB-ADCP 觀測資料分析所得之 平均流(王玉懷，2002)	2-6
圖 2-4 臺灣環島海域實測之年平均表層海流形態(國家海洋科學研究中 心資料庫).....	2-6
圖 2-5 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台 中港乾潮後漲潮，2002/11/21 08:00)	2-7
圖 2-5(續) 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港漲潮期近滿潮，2002/11/21 10:00)	2-8
圖 2-5(續) 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港滿潮後退潮，2002/11/21 14:00)	2-9
圖 2-5(續) 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港退潮期近乾潮，2002/11/21 16:00)	2-10
圖 2-6 臺灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續 15 日逐時潮流作用下綜 合以輸沙潛勢(色階)及輸沙運移方向(箭矢)所表示之潮殘餘流流 場	2-11
圖 2-7 存在於臺灣環島近岸海域之大尺度水下大型沈積沙體(聯合勤務 總司令部測量，1998)	2-12
圖 3-1 POM 模式所採用之 σ 座標系統 (MELLOR，2003)	3-9
圖 3-2 內外模式相嵌示意圖 (MELLOR，2003)	3-15
圖 3-3 二維外部模式網格配置圖 (MELLOR，2003)	3-15

圖 3-4 三維內部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003)	3-16
圖 3-5 POM 內外模式之計算流程圖	3-18
圖 3-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖	3-20
圖 3-7 POM 模式建置與資料處理流程	3-26
圖 3-8 POM 模式採行 MPI 平行化計算之效率評估圖	3-27
圖 4-1 全球主要洋流的分布	4-2
圖 4-2 臺灣四周海域春季(上左)、夏季(上右)、秋季(下左)、冬季(下右) 表層實測之季平均海流流場(國科會海洋學門海洋資料庫)...4-14	
圖 4-3 臺灣海域 0 至 200 米等水深層 1982 至 2005 年間春(A)、夏(B)、 秋(C)、冬(D)之季平均計算流場流態(HSIN ET AL., 2008).....4-15	
圖 4-4 西北太平洋(左)及臺灣四周(右)海域自 1991 年至 1996 年之年平 均海表面計算海流流場(廖 等, 2010-2013).....4-15	
圖 4-5 臺灣四周計算海域自 1991 年至 1996 年之春季(M-A-M)(上左) 與夏季(J-J-A)(上右)及秋季(S-O-N)(下左)與冬季(D-J-F)(下右)之 季平均海表面計算海流流場(廖 等, 2010-2013).....4-16	
圖 4-6 臺灣四周海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖(黑：同振幅線； 紅：同潮時線)(莊、江, 2006).....4-17	
圖 4-7 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台 中港乾潮後漲潮, 2002/11/21 08:00).....4-18	
圖 4-7(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港漲潮期近滿潮, 2002/11/21 10:00).....4-19	
圖 4-7(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港滿潮後退潮, 2002/11/21 14:00).....4-20	
圖 4-7(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:	

台中港退潮期近乾潮，2002/11/21 16:00)	4-21
圖 4-8 蘇澳港(上)與花蓮港(下)2010 年實測海流之分月集散圖	4-22
圖 4-8(續) 基隆港(上)與臺北港(下)2010 年實測海流之分月集散圖	4-23
圖 4-8(續) 臺中港 2010 年實測海流之分月集散圖	4-24
圖 4-8(續) 安平港(上)與高雄港(下)2010 年實測海流之分月集散圖	4-25
圖 4-9 全球海域(G1)之計算範圍與地形水深	4-26
圖 4-10 西北太平洋海域(N2)之計算範圍與地形水深	4-26
圖 4-11 東亞海域(T3-1)之計算範圍與地形水深	4-27
圖 4-12 臺灣海域(T3)之計算範圍與地形水深	4-27
圖 4-13 巢狀格網配置架構下之母子層邊界條件萃取與應用	4-28
圖 4-14 巢狀格網邊界(紅)及邊界緩衝區(藍)示意圖	4-28
圖 4-15 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間在 20 米等水深層之表層年平均黑潮洋流流場	4-29
圖 4-16 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層之表層年平均黑潮洋流流場(箭矢)與海溫(色階)	4-30
圖 4-17 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層之表層年平均黑潮洋流流場(箭矢)與鹽度(色階)	4-31
圖 4-18 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層在春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)季之季平均黑潮洋流流場	4-32
圖 4-19 臺灣海域 2009/07/11 13:00 起每二小時隨台中港計算潮位作逐時變化的漲潮期潮流流場	4-36
圖 4-20 臺灣海域 2009/07/11 21:00 起每二小時隨台中港計算潮位作逐時變化的退潮期潮流流場	4-37

圖 4-21 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 13:00).....	4-38
圖 4-21(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 15:00).....	4-39
圖 4-21(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 17:00).....	4-40
圖 4-21(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 19:00).....	4-41
圖 4-22 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/11 21:00).....	4-42
圖 4-22(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/11 23:00).....	4-43
圖 4-22(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場 (參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/12 01:00)	4-44
圖 4-22(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場 (參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/12 03:00)	4-45
圖 4-23 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 13:00).....	4-46
圖 4-23(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 15:00)	4-47
圖 4-23(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 17:00)	4-48
圖 4-23(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 19:00)	

.....	4-49
圖 4-24 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/11 21:00).....	4-50
圖 4-24(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/11 23:00).....	4-51
圖 4-24(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/12 01:00).....	4-52
圖 4-24(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/12 03:00).....	4-53
圖 5-1 臺灣之主要河川與水資源分區圖(經濟部水利署，2010)	5-7
圖 5-2 臺灣重要河川自 2008 年至 2010 年之年平均流量與輸沙量 ...	5-8
圖 5-3 濁水溪自 2008 年至 2010 年間之月平均流量與輸沙量	5-9
圖 5-4 高屏溪自 2008 年至 2010 年間之月平均流量與輸沙量	5-9
圖 5-5 臺灣海域 1 月至 3 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖	5-28
圖 5-5(續) 臺灣海域 4 月至 6 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖	5-29
圖 5-5(續) 臺灣海域 7 月至 9 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖	5-30
圖 5-5(續) 臺灣海域 10 月至 12 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖	5-31
圖 5-6 臺灣海域春季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個	

別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之春季平均漂沙沉積量(下)分布圖5-32

圖 5-7 臺灣海域夏季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之夏季平均漂沙沉積量(下)分布圖5-33

圖 5-8 臺灣海域秋季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之秋季平均漂沙沉積量(下)分布圖5-34

圖 5-9 臺灣海域冬季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之冬季平均漂沙沉積量(下)分布圖5-35

圖 5-10 臺灣海域之年平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之年平均漂沙濃度(色階)及底床之年平均漂沙沉積量(下)分布圖5-36

圖 5-11 臺灣海域海表層春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)四季之季平均海流(箭矢)與輸沙潛勢(色階)5-37

圖 5-12 臺灣海域海表層春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)四季之季平均海流(箭矢)與底床之漂沙沉積潛勢(色階)5-38

表目錄

表 3-1 NCEP/NCAR 氣象場再分析資料格式	3-27
表 3-2 NCEP/CFSR 海氣象場氣候預測分析資料格式	3-28
表 3-3 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式	3-29
表 3-4 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式	3-29
表 3-5 NODC WOA09 海洋溫鹽資料庫格式	3-30
表 3-6 NGDC ETOPO2v2G 全球地形水深資料庫格式	3-31
表 3-7 NGDC ETOPO1 全球地形水深資料庫格式	3-31
表 3-8 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料	3-32
表 3-9 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料	3-32
表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式	3-33
表 4-1 巢狀格網計算海域範圍與計算條件	4-11
表 4-2 巢狀格網計算海域不同時空解析度之海氣象資料庫應用	4-11
表 4-3 POM 模式之重要計算參數設定	4-12
表 5-1 臺灣 20 條河川自 2008 至 2010 年懸移質輸沙量與流量之迴歸關係式	5-19
表 5-2 臺灣 20 條河川 2008 月平均流量統計表(CMS)	5-20
表 5-3 臺灣 20 條河川 2009 年月平均流量統計表(CMS)	5-21
表 5-4 臺灣 20 條河川 2010 年月平均流量統計表(CMS)	5-22
表 5-5 臺灣 20 條河川 2008 年至 2010 年之月平均流量統計表(CMS)	5-23

表 5-6 臺灣 20 條河川 2008 年月平均河川懸移質輸沙量(公噸)	5-24
表 5-7 臺灣 20 條河川 2009 年月平均河川懸移質輸沙量(公噸)	5-25
表 5-8 臺灣 20 條河川 2010 年月平均河川懸移質輸沙量(公噸)	5-26
表 5-9 臺灣 20 條河川 2008 年至 2010 年月平均之河川懸移質輸沙量(公噸).....	5-27

第一章 緒論

1.1 研究緣起

在地球物理流體力學中(Pedlosky, 1979)，羅斯畢數(Rossby Number) ε 通常被用以作為衡量海域水體流動受地球自轉效應影響程度之指標。其定義為

$$\varepsilon = \frac{U}{2\Omega L} \dots\dots\dots(1-1)$$

式中， U 、 L 分別為流體運動之特徵速度與長度； $\Omega = 7.3 \times 10^{-5}$ rps 為地球自轉角頻率。從上列羅斯畢數(ε)之定義可知：當 $\varepsilon > 1$ ，即當流體以特徵速度通過特徵長度之時間(L/U)遠小於地球自轉之週期($T = 1/\Omega$)時，則在時間尺度上，顯示地球自轉效應對水體流動之影響程度將甚微弱，或水體之流動無法感知(sense)或無視於地球自轉效應之影響時，此種流體之運動狀態，即稱為小尺度；反之，若 $\varepsilon < 1$ ，或在空間尺度上，當流體運動之特徵長度足夠大，致使水體流動特性必須考量地球自轉效應之影響時，則在此一狀態下之流體運動，即稱為大尺度(large-scale)。

對於海洋中各種不同時空大、小尺度的水體流動，海流通常泛指或包括洋流、潮流、結構物與灣澳地形近旁的潮餘流、河口的颱風洪流、風趨流、及碎波帶內波浪碎波衍生的近岸流等。它是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海域漂沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。當海域中海流對所攜運輸送之漂沙物質運移不平衡時，將導致海灘甚至海岸之沖淤變遷。故而與各種時空尺度的海流相對應，造成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也可區分為三類：(一)大尺度變遷，如全球氣候暖化導致平均海面上升、地下水超抽導致地層下陷、及潮餘流長期攜運等所引起之長期性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，由於區域性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，由於近岸海域局部近岸流系統之短期變化，以致引起海岸前灘之沖蝕(歐 等，2001)。

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮與其支流，全年皆由南而北分別流經東、西部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南流經臺灣海峽；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，常年有潮波的近似無潮點存在，因此，導致潮流的流速普遍甚強勁，洋流、強勁潮流與河口颱風洪流交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性或漂沙移運沉積形態陳現特殊變化特性，例如：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(莊、江，2002)；而在臺灣西部近岸或河口海域，於水深 50 米等深線內，常明顯可見形態甚特殊之大型水下沉積沙體(莊，2009)。此外，臺灣為一典型之海島國家，除本島外，另有 85 個離島，海岸線全長約 1,520 公里 (臺灣環島海岸線全長約 1,200 公里；澎湖等離島海岸線總長約 320 公里)(經濟部水利處，2001)。但是，由於地理位置—東亞大陸棚架緣、天然海氣象條件—潮汐、潮流與季風、颱風波浪、以及過去數十年間之海岸開發利用與河川整治等因素影響，政府雖曾為防治海岸災害而自民國六十二年以來即由臺灣省水利局(經濟部水利署前身)釐訂全國海堤整建計畫，並陸續於臺灣環島沿岸海岸災害較嚴重地區，採行興建海堤、突堤、及離岸堤等硬性海岸保護工法，惟部分海岸依舊面對嚴重之沖蝕問題，原來綿延 1,520 公里長之海岸線，現今 80%仍顯現侵蝕趨勢(Hou et al., 2000)。這些大規模受波浪與海流作用而陳現嚴重沖蝕的海灘及海岸之漂沙，從「物質不滅」的觀點出發，究竟其主要的輸運路徑為何？會在何處沉積？皆是國內海岸保育必須優先面對(郭、簡，2001)且甚值得深入研究探討的相關課題。

近年來，我國政府與民間在海岸保育之趨勢策略中，常見採行「近自然工法」(郭金棟，2004)之呼籲，而所謂「近自然工法」，其最主要的重點與特性，即在順應「自然環境」，讓「自然景觀」及「自然生態」，保有或維持其「大尺度」之「永續」(長期)性，減少並避免人為局部性及短期性之介入及干擾。因此，對海岸之自然環境、自然景觀及自然生態而言，從順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運作用著手，詳實考量海流之特性，將可大幅度、有效地減少對自然海灘沖淤變遷過程之局部性及短期性之人為(非自然及小尺度)因素介入或非適切的干擾，亦即在「大尺度」之「永續」性上，充分掌握海流長期性全平面大尺度之優勢流向、優勢輸沙方向與漂沙沉積趨勢，應更可提供長期性大尺度自然海灘沖淤變遷趨勢之評估資訊(莊，2009；莊、廖，2010；2011)，落實「近自然工法」策略之推展與實行。

鑑此，為海岸國土之永續經營利用，近岸海域環境之保育與防護，本研究_「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」，配合四年期主研究計畫_「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4/4)」之目標，首先，將依據大比例尺海圖，介紹臺灣環島近岸海域的地形水深及存在於水深 50 米以內的大尺度水下沉積沙體，並從水下沙體的沉積形態與發展規模，篩檢對應的主要大尺度海流輸運動力；其次，針對臺灣環島近岸海域之大尺度海流，應用三維水動力數值模式_POM，綜合洋流與潮流效應，進行海流輸運特性模擬；接著，結合臺灣主要河川之輸沙，透過輸沙模式的應用，掌握臺灣環島近岸海域之優勢海流特性與其所衍生之優勢輸沙潛勢；最後，以定性方式，闡釋臺灣環島沿岸海域的長期漂沙沉積趨勢與海岸的自然沖淤趨勢，從而完成探討「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」之研究目標。

1.2 文獻回顧

大尺度海流模式之研究與應用，主要可分為潮流與洋流兩方面。而隨著模擬區域範圍大小的差異及不同水理特性的陳現需求，數值模

式一般尚可分為二維和三維模式。而常見的二維模式又有水平二維模式和垂直二維模式兩種。其中，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，其控制方程式大多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，常以有限差分法，求解連續方程式和動量方程式，如 Leendertse (1967)、Stelling (1986)、黃(2001)等曾投入潮流的水動力特性研究；莊(2000)亦曾蒐集整理臺灣環島及中國大陸沿岸之潮汐實測資料，並就實測潮汐特性與陸架水深地形之關聯性，進行臺灣海峽海域之潮波協振盪理論解析，其後，應用水深積分後的二維水動力計算模式，探討臺灣環島海域潮波與潮流之水動力及運動特性(莊、江，2002；2003；2004；2005)，進而闡釋臺灣海峽海域潮差特別顯著之原因及潮波之總體運動方向。至於，投入垂直二維模式之研究者，有 Bouden 和 Hamilton (1975)、Park 和 Kuo (1993)等，其中 Park 和 Kuo 所發展的模式稱為 MODEL-2D，其係以定蓋(rigid lid)假設，配合 Munk-Anderson 之紊流模式，將其應用範圍，擴展至河川水質模擬。

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 Lardner 和 Cekirge (1988)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。

近二十年來，廣為海洋研究接受並最常被採用的三維海洋環流數值模式，當屬由美國普林斯頓大學所發展的 POM (Princeton Ocean

Model)模式，其初始係緣起於 Blumberg 和 Mellor (1983)在大西洋南方海灣所進行之連串數值模擬預測，當時，該數值模式僅包含一個時變三維動量方程式系統，水深方向並使用 σ 座標，同時，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 Hudson-Raritan 河口所獨特展現時間獨立之三維速度和鹽度場結構，並描述複雜的河口海域循環和混合過程；直到 1987 年，Blumberg 和 Mellor 再將過去幾年來所發展的三維海洋環流模式進行統整，並將其定名為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM。其後，Ezer 和 Mellor (1991)即曾使用 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，進行大範圍海域之水動力特性計算，並延伸海域範圍，使其包括墨西哥灣流，同時並模擬溫度、鹽度等海洋物理特性之變動。而 Oey (2005；2006)進一步擴展 POM 模式之功能架構，增加一乾溼格網技巧，藉以達成該模式可應用於具海水漲退或水位潮升之近岸海域。

應用三維海洋環流數值模式，可充分詳細地全面掌握模擬海域的海流時變水動力特性與溫鹽度等物理特性變化。如 Zavatarelli 和 Mellor (1995)曾進行地中海環流之實際模擬，並與各種觀測結果作驗證比較；Aikman 等(1995)曾將 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；Ezer 和 Mellor (1997；2000)及 Ezer (1999)，不僅首先將 σ 座標模式應用在整個大西洋海域之大範圍水理特性數值模擬上，同時藉由模式計算結果，探討海洋環流循環特性；另外，Mellor 等 (2002)曾比較 POM 模式之 σ 座標及其他模式之 z-level 座標之模擬結果，並與觀測值對照，結果顯示兩種不同的水深座標，模擬結果略有差異，最主要的原因，在於 z-level 模式在有坡度的底層，無法只做一層的模擬，而在多層的模擬下，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；Wang 和 Oey(2008)為綜合考量波一流效應，曾應用 WW3(Waves Watch III)波浪模式，結合以 POM 模式為基礎的 PROFS(the Princeton

Regional Ocean Forecast System)海洋環流模式，探討卡催納(Katrina)颶風在墨西哥灣(Gulf of Mexico)近岸海域所引起的極端大波浪，並與現地浮標(buoys)之實際監測紀錄，成功準確地驗證比對。

對於臺灣附近海域大尺度潮波與海流的研究，葉(2002)為建立適合臺灣海域之作業化潮汐預報模式，曾利用 POM 模式，找尋該模式之最佳化參數；盧、吳(2005)；張 等(2006)；江 等(2006)；盧 等(2007)及林、張(2010)皆曾利用 POM 模式，針對臺灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究；Hsin 等(2008)曾利用 POM 模式，建置 $1/8^\circ$ 解析度之東亞邊緣海模式，並利用模式結果，探討 1982 至 2005 年間的黑潮變化，從而發現黑潮流經臺灣東岸時，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，而黑潮於臺灣東岸之平均流量約為 $32.7 \pm 4.4\text{Sv}$ ；Wu 等(2007)曾配合高解析度水深地形及風場與海面溫度資料，應用 POM 模式模擬臺灣海峽之海流變化，從而發現：夏季黑潮支流或西南風吹送流會直接越過彰雲隆起由南往北流動，而在冬季，由於東北季風及中國沿岸流的阻擋影響，海峽中原向南向北流動的黑潮支流或西南風吹送流，於彰雲隆起北側，將形成一逆時針方向的渦環流；而為研究臺灣鄰近海域洋流對近岸海流之影響，廖 等(2009；2010；2011)及莊、廖(2010；2011；2012)曾針對臺灣鄰近海域，引進建置 POM 海洋數值模式，並應用巢狀格網之計算海域架構，建構作業化流程，模擬綜合洋流與潮流效應之海流水動力特性，並探討初始條件、邊界條件與計算海域範圍對大尺度海流模擬計算準確性之影響；林、張(2010)亦曾針對臺灣鄰近海域，以 POM 為基礎，建構作業化海洋模式，並藉實際漂流浮標軌跡之比對，探討臺灣東部海域海流模擬計算之準確性；關於 POM 模式之進一步應用，林 等(2010；2011)曾藉以計算臺灣四周上層海域之海流能量，並擴展研究成果以評估澎湖海域之海流潛能。

在實測海流特性方面，台大海洋研究所莊文思、王甯等教授曾使用錨碇海流儀直接進行臺灣海峽海流的量測，並依據量測分析結果證實臺灣海峽的海流經年向北流，惟於冬季東北季風強盛時，偶而有南

流的現象(王，2002)。在 1999~2001 年期間，海研一、二、三號研究船曾進行臺灣海峽的海流觀測，國家海洋科學研究中心王玉懷博士針對觀測結果分析(王，2002)，並繪製平均流場；同期間，台大海洋研究所唐存勇教授等依據測量黑潮洋流，彙整分析得到臺灣環島海域冬、夏季之年平均海流流場(劉，2002)。由臺灣海域海流之平均流場圖綜合觀察可清楚看出，除黑潮洋流以甚強的流速順著臺灣東部海域由南往北流外，臺灣海峽的年平均海流也確實是由南往北流動，流速在臺灣這一側明顯比靠大陸側強，在澎湖水道中較強流速可達 40 cm/s，海流北上通過雲彰隆起處，會受淺灘阻擋而偏流，之後又貼回臺灣西北部海岸。另由平均流及水深計算，可得臺灣海峽全年的平均流量為 1.8 Sv($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)，其中約有一半是流經寬約 30 公里的澎湖水道，另一半則流經寬度超過 130 公里的臺灣淺灘，因此，前者水流湍急，而後者水流則較為和緩(王，2002)。

有關臺灣環島中、小尺度之海岸侵蝕變遷課題及相關之保育、防護對策，國內已有甚多學者專家，如：郭(1990)；許、溫(1997)；張、黃(1997)；黃 等(2000)；歐 等(2001)；郭、簡(2001)；溫 等(2012)曾從事精闢之調查與深入之研究，但對於大尺度之海岸侵蝕變遷及其保育、防護對策課題，近年來，除中國大陸學者林琿 等(2000)曾針對「東中國海陸架水下沙體與潮流作用」進行研究探討外，國內研究人員莊、江(2002)及莊(2009)亦曾針對臺灣環島海域潮流與潮殘餘流所引致的輸沙潛勢進行系列研究，錢 等(2011)則利用現場觀測濁水溪所輸送之懸浮沉積物，探討臺灣海峽海流之輸送影響，廖 等(2012)最近期更針對臺灣環島近岸海域大尺度海流所引致之輸沙潛勢及由海流引致之漂沙傳輸現象進行評估探討，其他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尚無高解析度地形水深可供應用、海床底質粒徑分佈調查與漂沙濃度(concentration)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海氣象與海潮流等資訊可供研究應用應為最重要之原因。

目前，欲有效地評估海岸長期性的沖淤潛勢，國內外普遍依賴於國內學者許榮中教授 1989 年旅居西澳洲大學時所發表的岬頭控制之「靜態岬灣經驗式」。不過，靜態岬灣經驗式，主要係針對具岬頭之海岸或在近岸海灘構建適當人工構造物，藉以達成保育、穩定海岸之目的，至於對近岸海域長期性的水下漂沙沉積特性及其運移潛勢的衝擊影響評估，國內相關的研究成果尚甚有限。

1.3 工作項目

本研究為四年期總研究計畫_「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之最後分年研究課題，研究重點在延續前三年針對臺灣近岸海域大尺度海流之模擬經驗與結果(莊、廖，2010；2011；2012)，再結合綜合考量洋流與潮流共同作用效應所引致之輸沙潛勢，探討「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」。主要之年度研究重點工作項目如下：

- (1) 改善 POM 模式應用於大尺度海流模擬計算之效能與準確性。
- (2) 依據臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之計算海流特性，探討並掌握大尺度海流之優勢流向。
- (3) 結合颱風期間主要河川之輸沙量，再依據大尺度海流對海域漂沙之輸運潛勢，確認優勢之輸沙方向。
- (4) 綜合優勢海流及優勢輸沙方向，評估臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響。

1.4 研究成果之預期應用

本研究成果之預期應用，綜整條列如下：

- (1) 有效瞭解並全面掌握臺灣鄰近海域大尺度海流對漂沙輸運之水動

力特性。優勢海流及優勢輸沙方向之成果，可提供交通部、環資部、內政部、各港務分公司、及縣市政府等作為從事海岸保育相關評估之應用依據。

- (2) 在臺灣四周海岸，完整詳細地建立綜合洋流與潮流水動力效應之優勢海流資訊，並掌握長期性全平面大尺度之優勢輸沙方向，從順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運特性著手，減少對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，藉以厚植長期性大尺度海灘保育之關鍵技術，落實採行「近自然工法」(郭金棟，2004)策略，順應自然海灘沖淤變遷趨勢，總體性、全面性(大尺度)的「永續」保育海岸。
- (3) 本研究之推展與深化，不僅有助於適合本土性近自然工法及先期水海環境資源保育技術之研發，最重要的，尚可有效提昇近岸海域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。
- (4) 配合行政院構建海洋國家的目標，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；依據國家科學技術發展計畫，補充既有地球環境科技監測體系的完整，推進本土化監測及評估關鍵技術之發展，推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。
- (5) 探討港灣及海岸水理，改善港灣環境，維護海岸穩定，厚植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，強化海岸災害預警之評估效能及應用，促進領海資源之「永續經營及利用」。

第二章 臺灣海域大尺度的水下地形沖淤

2.1 臺灣環島海域的地形水深與沖淤變遷

依據國家海洋科學研究中心測量及整理所得之數位化水深資料，臺灣環島近岸海域之地形水深如圖 2-1 (詹，2002)所示。由圖上色階或水深等值線變化可看出，在臺灣環島近岸海域存在有海脊、海谷、深溝、隆起等複雜的地形構造。其間，在臺灣海峽之中北部，明顯可見兩個呈東北－西南走向的凹陷，在桃園外海的凹陷稱為「觀音凹陷」，最深處水深超過 80 米；鄰近烏坵海域南側的凹陷稱為「烏坵凹陷」，水深較淺；在海峽中間，由彰化、雲林海岸向西北延伸約達臺灣海峽中線附近且呈東西走向的水下隆起沙體地形稱為「雲彰隆起」，水深約在 50 米以內；在臺灣海峽的南部海域，於澎湖群島與嘉義海岸間存在有俗稱黑水溝的「澎湖水道」，此海溝水道北由「雲彰隆起」南側起，向南呈喇叭狀開口，水深由北端 60 米起往南驟增，水道開口端水深可約達 1000 米；於澎湖水道以西及臺灣海峽西南端海域尚有一片淺灘地形，俗稱「臺灣灘」，淺灘上水深僅約 20 米左右。以上所述存在於臺灣環島近岸海域的凹陷、深溝、淺灘、及水下隆起沙體等地形，在海流為海中漂沙之主要輸運動力認知下，預期漂沙之輸運沉積特性，應與臺灣海峽的大尺度海流型態具有甚大的關聯性，其中，特殊的地形構造型態與其上的沉積物及沉積層厚度等，更是本研究據以探討臺灣環島海岸沖淤變遷及長期漂沙移運優勢方向的重要指標。

另外，依據實際調查及測量資料統計分析顯示，臺灣環島海岸，除部分礁岩海岸外，其餘大部分皆因颱風期間河川輸沙減少或因近岸波浪作用而陳現沖蝕趨勢(張、黃，1997；歐 等，2001；郭、簡，2001)，如圖 2-2 所示。惟從近岸海域之輸沙平衡觀點出發，卻難以發現具有淤積趨勢之海岸及海灘，或明顯陳現堆淤的近岸地形水深！再次回復至海流為海中漂沙之主要輸運動力認知下，近岸受沖蝕的大量海灘沙質，究竟在各種海流構成中，主要的輸運動力成分是什麼？它對漂沙

的主要輸運路徑為何？漂沙將會沉積至何處？這些皆是臺灣環島海域大尺度海灘地形沖淤變遷所必須面對的重要課題，也是本研究亟待深入探討的重點主題。

2.2 臺灣環島海域的水下大型沉積沙體

為更全面深入地掌握臺灣環島近岸海域大尺度的海灘沖淤趨勢，配合圖 2-3、圖 2-4 所示臺灣環島近岸海域經實測分析所得的平均海流流場(王，2002；劉，2002；詹，2002)及圖 2-5、圖 2-6 所示模擬計算所得的潮流及潮殘餘流特性(莊、江，2000~2005；Juang et al., 2001；莊，2009；莊、廖，2010)，依據 1998 年我國聯合勤務總司令部測量署製繪五十萬分之一比例尺之「臺灣省全圖」，如圖 2-7 所示，從圖中由南而北以順時針方向圍繞臺灣環島近岸海域，觀察白色階所代表之 50 米內等深線水下地形可發現：

- (a) 在臺灣南部懇丁南灣海域，存在有一朝西之魚尾型水下沙體，此魚尾型之水下沙體，由於其存在之水深深達 50 米，應遠非波浪作用所能影響，故本研究推論其應係臺灣南端海域因潮流衍生地形殘餘流之恒常運移作用所造成。
- (b) 在臺灣南部高屏溪及東港溪河口，於聯結高雄港一港口、枋寮、及小琉球島之三角形海域內，存在有一寬敞之弧形水下沙體，由於本區海域潮流流速甚弱(莊、江，2000)，故本研究推論此弧形水下沙體應與高屏溪及東港溪河流之輸沙沉積直接相關，只是受高屏溪口外之高屏峽谷影響，致使陳現弧形之水下沙體，因此於小琉球島北側顯現一海溝形態之缺口，此外，沿著澎湖水道北上，自高雄港第一港口至嘉義濁水溪口間，水下沙體之寬度普遍甚大，且有由南向北遞增之趨勢，鑑於本區海域經常波浪之波高一般並不大，因此，本研究推論自台南七股海岸以北海域，黑潮支流或西南風吹送流與潮流應為影響水下沙體沉積形態之主要因素，且因黑潮支流或西南風吹送流與潮流

衍生地形殘餘流之優勢運移方向應是由南而北。

- (c) 在臺灣中西部海域，於彰化、台中海岸外，非常清晰地可見到一陳現三角形形狀的大型水下沙體，此即為「雲彰隆起」。就其地理位置而言，依據臺灣環島半日型潮波之共振理論(Lin et al., 2000)及共振潮波顯現之部分重複駐潮形態(莊、江，2000；Juang et al., 2001)可知，雲彰隆起恰約位在部分重複駐潮之腹點(anti-node)海域，雖然本海域冬季風浪較大，但因季風與波浪所共同引起之近岸流與風趨流，勢皆甚難以影響水深及於 50 米之水下沙體沉積，因此，本研究由臺灣海峽中段海域之駐潮腹點潮流應具弱流速且應充分展現輻散聚合特性，推論「雲彰隆起」水下沙體之形成，應係河川(濁水溪)輸沙受黑潮支流或西南風吹送流及駐潮腹點潮流之恒常輻散匯聚運移作用所直接造成，此外，「雲彰隆起」水下沙體之存在規模與其變化，應可作為臺灣西部海岸發生沖淤，而究竟「沙從那裡來」、「沙往那裡去」等相關海岸沖淤平衡疑問之闡釋輔助。
- (d) 在臺灣西北部淡水河口海域，甚至南達桃園以至新竹海域，50 米等深線以內之水下沙體，其寬度普遍較臺灣西南部海域狹窄，尤其是在颱風期間具有高河川輸沙量的淡水河口海域外，原應有發達之沙舌型(salient)水下沙體存在，不過，在本海域內卻未明顯陳現，海流對漂沙輸運之最主要的殘存遺蹟，僅可見於「觀音凹陷」與桃園之北部海域間。因此，本研究推論臺灣西北部海域之黑潮支流或西南風吹送流與潮流所共生之強勁海流，應為影響本區段海域水下沙體沉積及存在形態之重要因素，且該強勁海流之優勢運移方向，與臺灣西南部海域相同，也應是由南往北。
- (e) 在礁岩型之臺灣北部海域，50 米等深線以內之水下沙體，與臺灣東部海域類似，皆不發達，儘管如此，在鼻頭角北部海域，於 200 米等深線內，仍清楚可見大規模之沙舌型水下沙體沉積。綜合臺灣環島近岸海域經實測分析所得的平均海流流場(圖

2-3 及圖 2-4)特性，並將其與基隆海域恰約位處臺灣海峽北區段之部分重複駐潮近似結點(node)或無潮點(amphidromic point)特性(莊、江，2005；2006)相對照，依據部分重複駐潮結點海域潮流所具有之強盛輻散流速之移運作用，外加黑潮洋流之牽引，本研究因此推論，臺灣北部基隆海域外 200 米等深線之沙舌型水下沙體，應係臺灣西北部及北部海域近岸海灘漂沙，受黑潮洋流及潮流衍生地形殘餘流之優勢輸運作用所形成之總沉積，且該海域海流之優勢運移方向，與臺灣南部海域恰相反，主要應為由西向東。

- (f) 在臺灣東北部之宜蘭海域，雖然本海域經常遭受季風與颱風波浪之衝擊，但於正對蘭陽溪口外，即使從 200 米等深線觀察，仍明顯可見一形態發展完整之沙舌型水下沙體，可見本海域之黑潮洋流及潮流所衍生之地形殘餘流，其流速普遍應甚弱，對水下沙體之沉積形態影響勢必甚為有限，故而漂沙之優勢運移方向，因此主要取決於蘭陽溪在颱風期間之河口洪流作用。

2.3 臺灣環島海域優勢海流研判

海流是海域漂沙的主要輸運動力。在臺灣環島近岸海域，由於漂沙長年受海流輸運而沉積所形成的大規模水下沙體，因其存在的水深係在 50 米等深線的範圍，部分甚至深達 200 米，所以，因颱風巨浪沖蝕及因風浪作用所引起短期性、小尺度的近岸流輸送，勢必難以影響海域大尺度漂沙長年的沉積形態，又基於區域性海流水理特性之差異及部分河口海域沙舌型水下沙體之完整陳現，因此，在臺灣環島海域之各種足以影響漂沙輸運與沉積形態的可能因素中，包含黑潮洋流、潮流、及近岸地形引致之潮殘餘流等海流，方應是大尺度海域漂沙最為重要的輸運動力。可見，只要能適切地掌握大尺度優勢海流之流速大小及流向，應即可順應自然，準確地分析、研判並評估長期性的漂沙優勢輸運路徑與沉積區域，甚至是大尺度的海灘變遷趨勢。

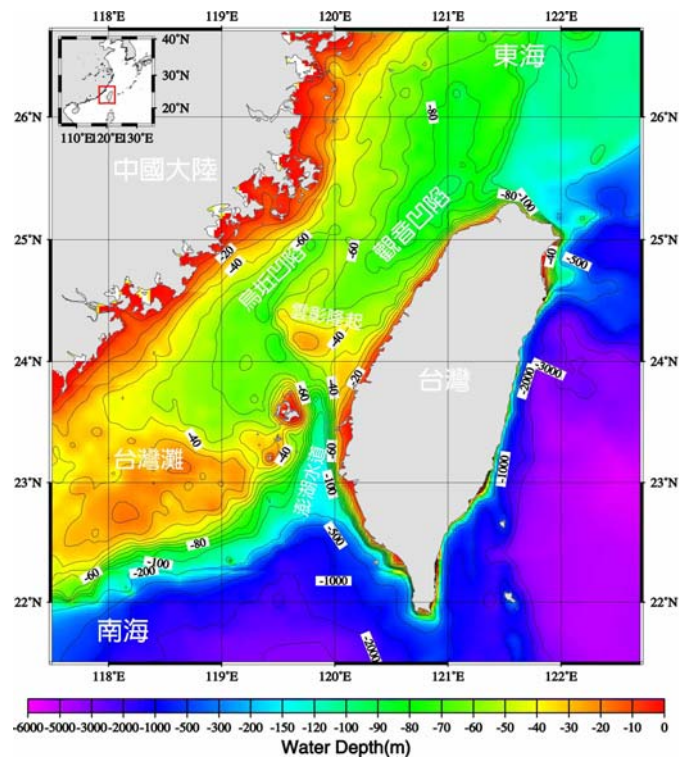


圖 2-1 臺灣環島近岸海域的水深地形(詹森，2002)



圖 2-2 臺灣環島海岸的沖淤趨勢分佈(資料來源：張、黃，1997)

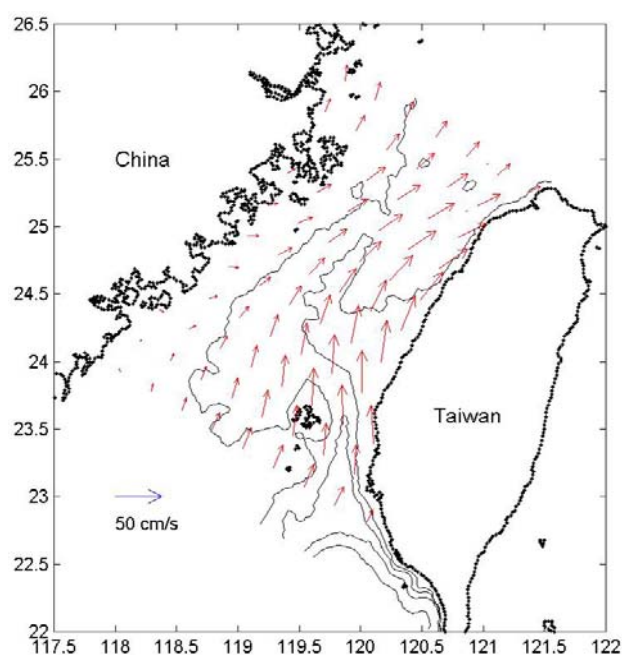


圖 2-3 臺灣海峽海域應用 1999-2001 年 Sb-ADCP 觀測資料分析所得之平均流(王玉懷，2002)

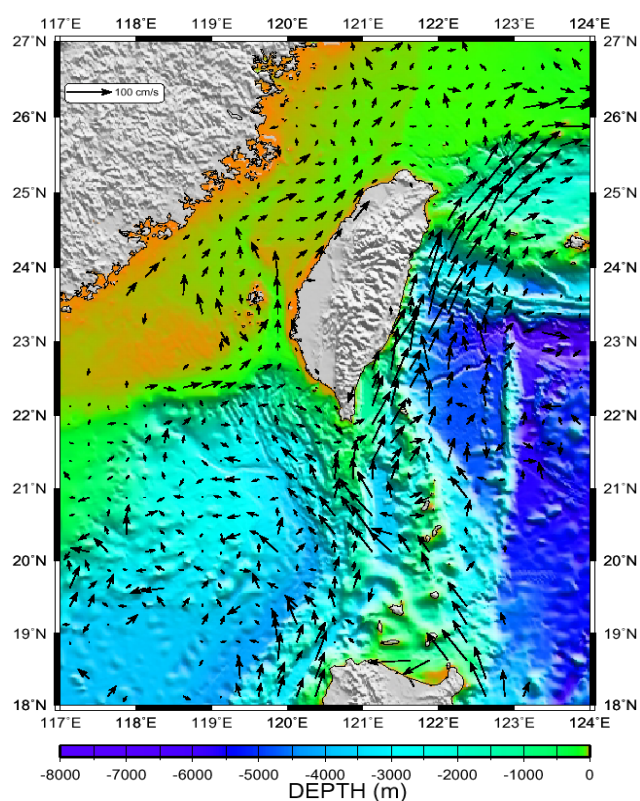


圖 2-4 臺灣環島海域實測之年平均表層海流形態(國家海洋科學研究中心資料庫)

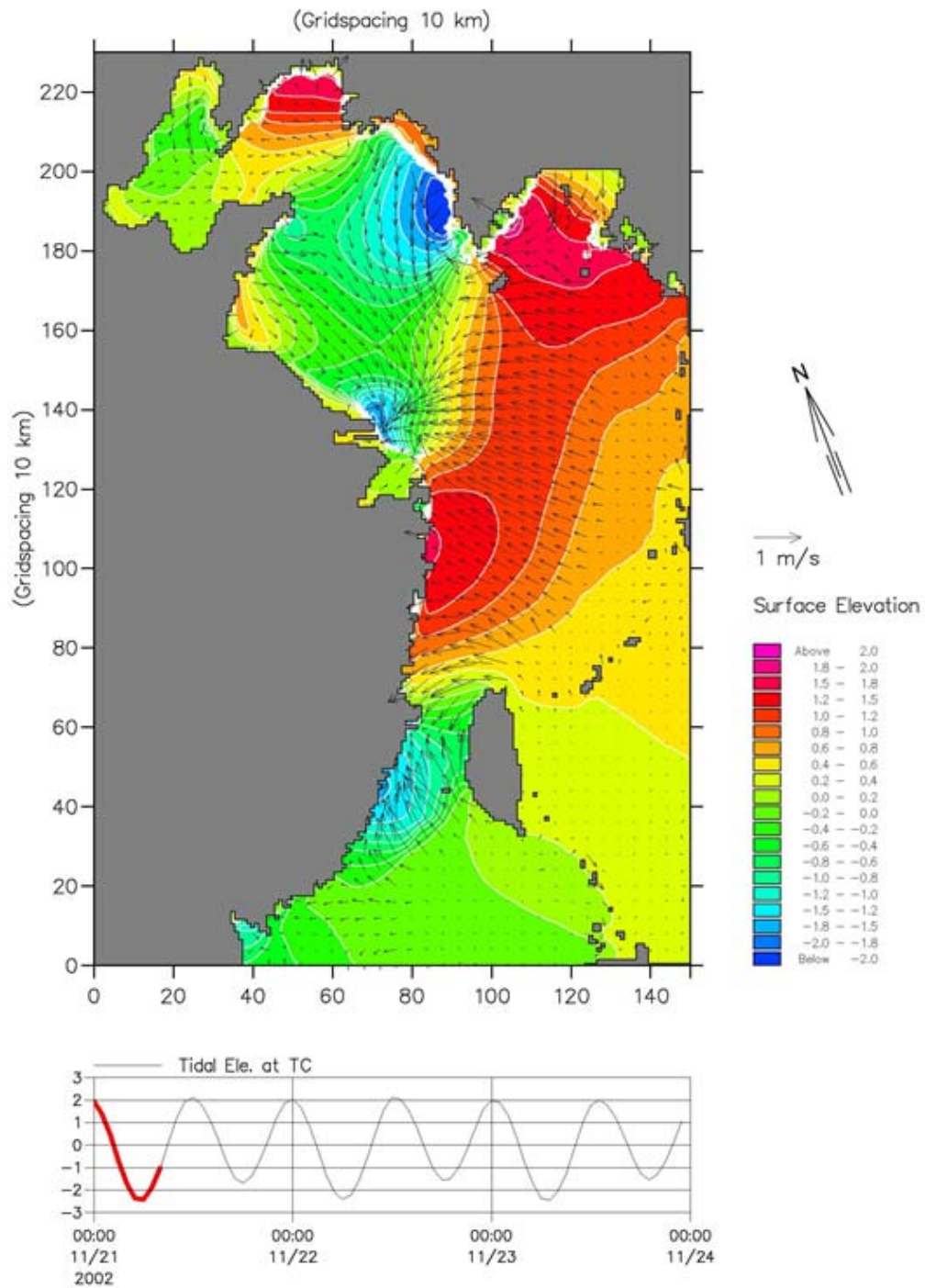


圖 2-5 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港乾潮後漲潮，2002/11/21 08:00)

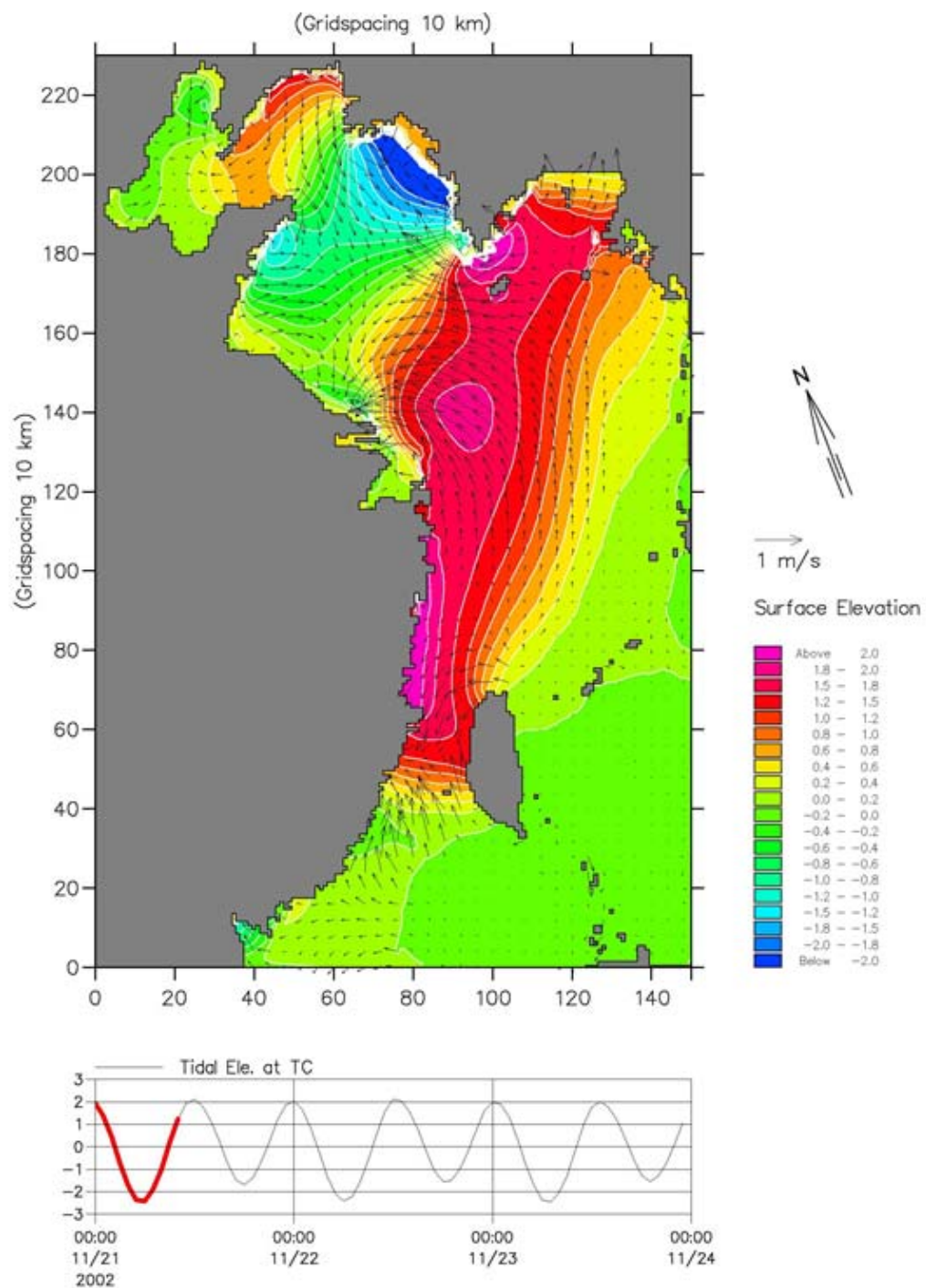


圖 2-5(續) 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位：
台中港漲潮期近滿潮，2002/11/21 10:00)

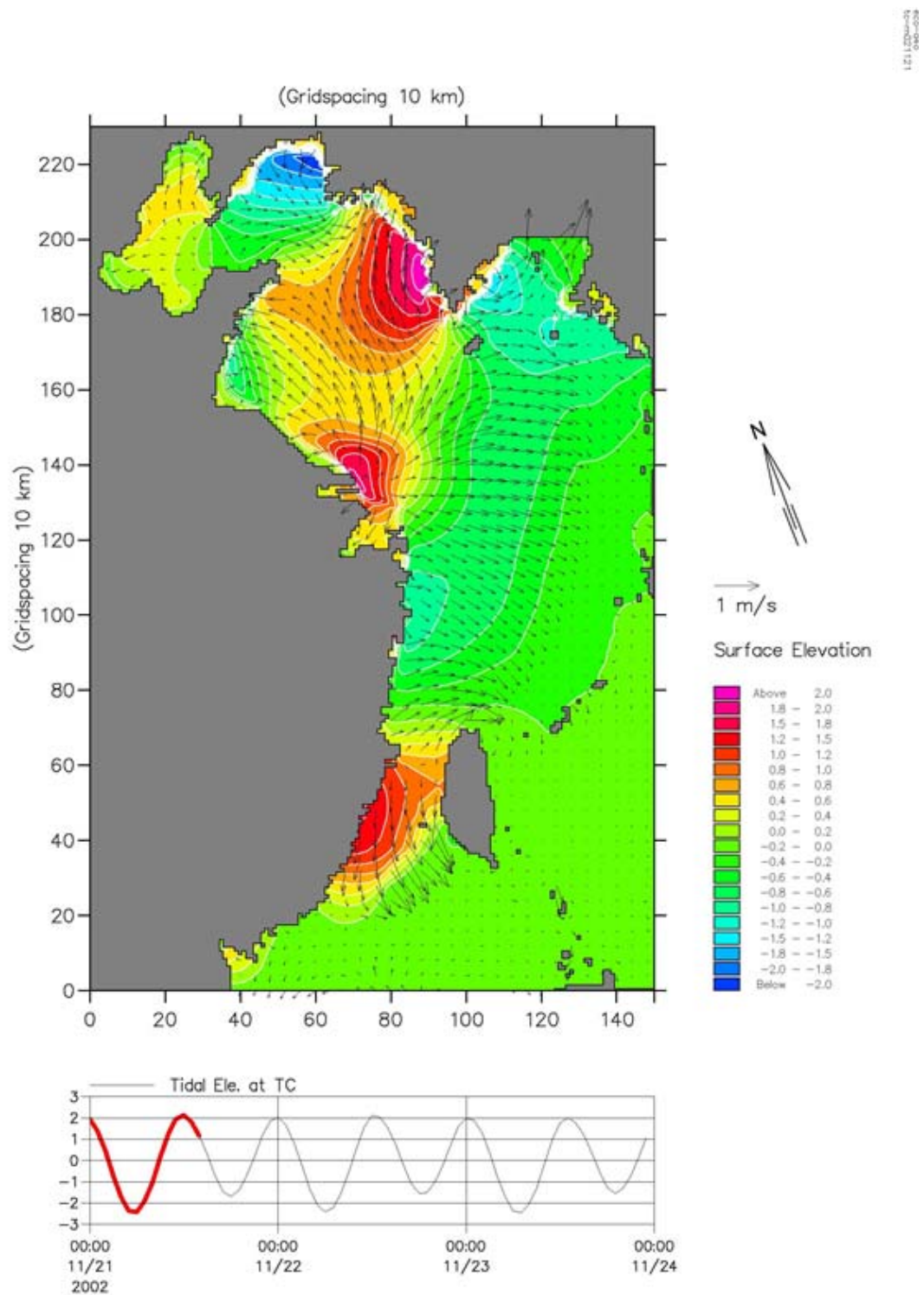


圖 2-5(續) 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位：
台中港滿潮後退潮，2002/11/21 14:00)

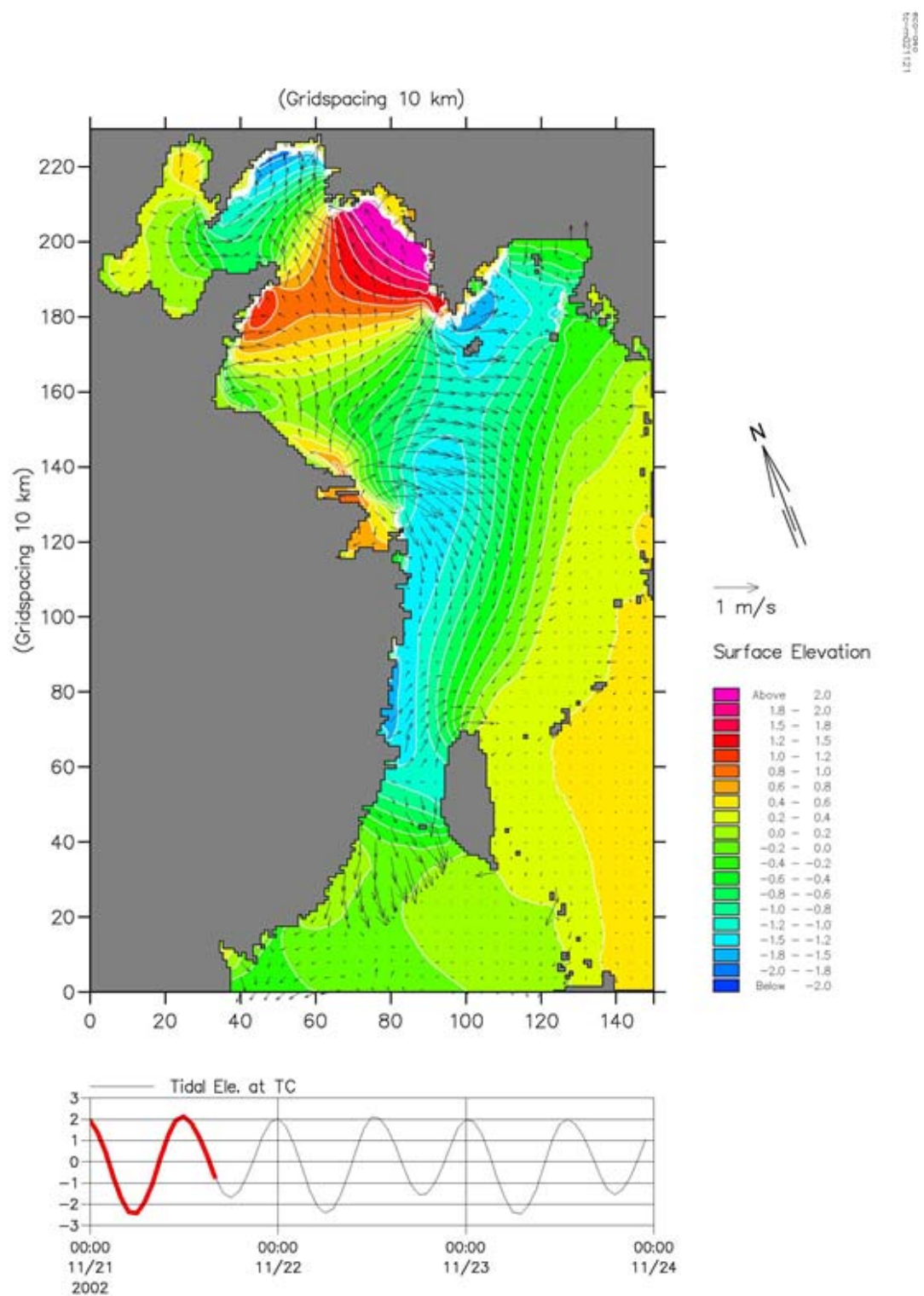


圖 2-5(續) 東亞海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:
台中港退潮期近乾潮, 2002/11/21 16:00)

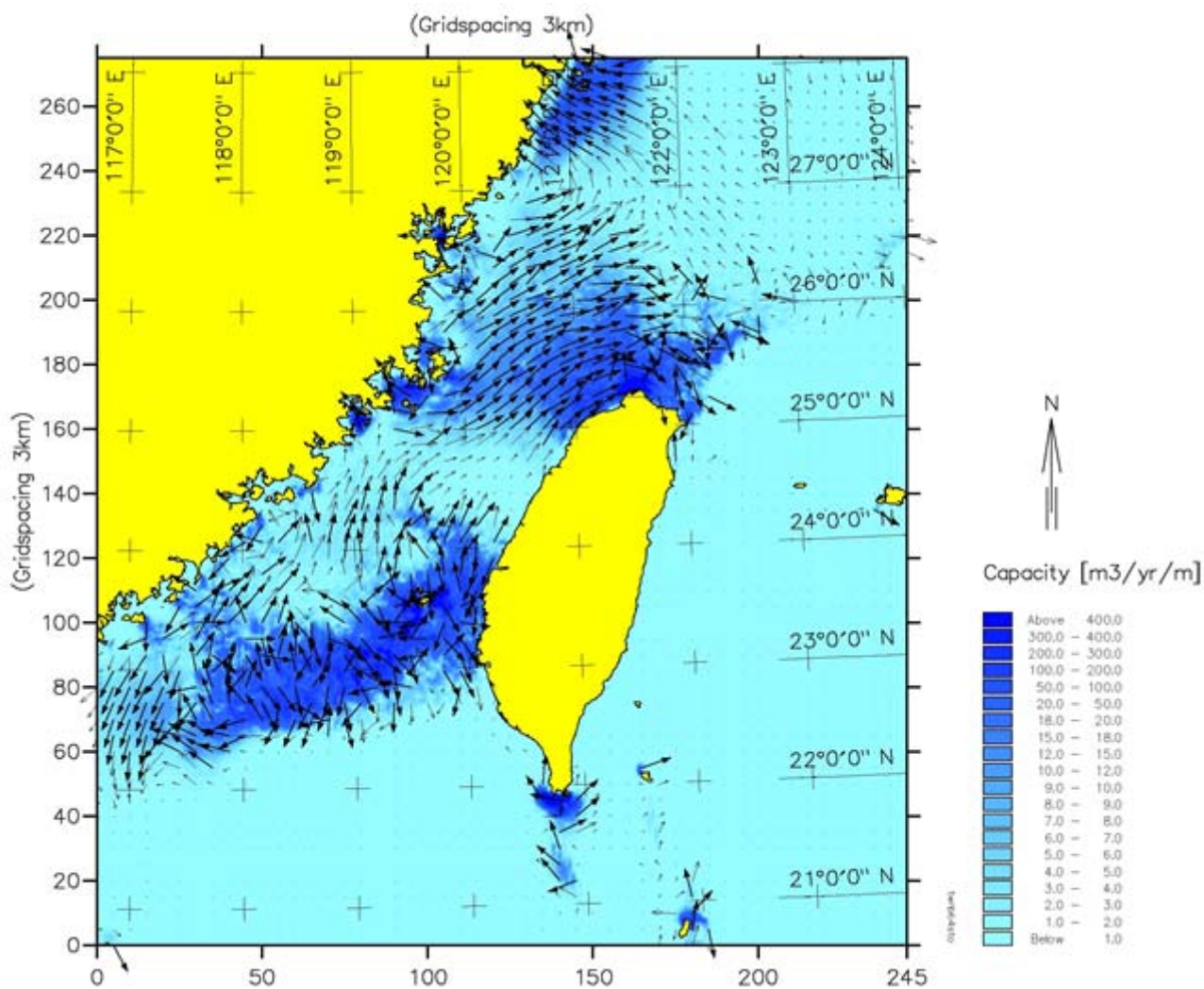


圖 2-6 臺灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續 15 日逐時潮流作用下綜合以輸沙潛勢(色階)及輸沙運移方向(箭矢)所表示之潮殘餘流流場



圖 2-7 存在於臺灣環島近岸海域之大尺度水下大型沈積沙體(聯合勤務總司令部測量，1998)

第三章 大尺度海流之計算模式

3.1 海流水動力模式_POM 簡介

海洋水動力數值模式，為節省計算時間，增加執行效率，於不失可充分掌握特徵水動力前提下，通常會採取水深方向平均方式進行模擬計算，惟若在水深方向的物理量，例如溫度、鹽度，具有較大變化情況下，此時仍必須使用三維模式來模擬。

針對臺灣鄰近海域大尺度之海流模擬計算，為能充分考量水深、地形、溫度、鹽度等三維海洋物理特性之變化，本研究經長年評估比較後，於第一年研究期間即決定引進建置美國普林斯頓大學研發之三維海洋環流數值模式_POM，該模式是由 Blumberg 和 Mellor (1987)所整理及撰寫，全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，藉以能詳細模擬計算海洋物理變量之三維變化現象。在數值技巧方面，POM 模式之水平格網尚可根據地形的需要，利用正交曲線格網，提高地形解析度；垂直(水深)方向的座標，採用 Philip (1957)創立之 σ 座標系統，藉以簡化三維模式處理底部邊界條件的複雜性；又為增進數值模擬計算之效率，POM 模式實際分為外模式(external mode)和內模式(internal mode)兩組不同的模式演算架構，模式啟動後，外模式首先計算二維的水平平均流場，因其流場變量變化較快，故所需之計算時距較短；接著，轉換至內模式，計算水深方向分層的三維流場，因其流場變量變化較慢，故可以使用較長之計算時距，藉此模式演算計算技巧的交互轉換運用，POM 模式因此可以節省大量電腦運算之時間。此外，POM 模式除可輸入邊界水位、邊界流速、或大尺度的風應力來驅動模式外，全模式亦包含熱動力學理論模式，可輸入或模擬計算熱含量和熱通量的變化，至於在河口海域，由於海、淡水在此交會，兩者密度不同，故存在海、淡水混合和海水入侵的問題，透過鹽度及漂沙傳輸擴散模式，POM 模式也可以加入河川流量與輸沙量，來模擬計算河口海域之鹽度與漂沙濃度之變化。

POM 三維海洋環流數值模式為一源碼開放軟體，模式總體具有后列的特點：1. 含有二階紊流閉合模式來處理垂直方向的混合作用，能描述三維複雜的海洋物理現象；2. 水平格網可根據地形的變化需要，利用任意正交曲線坐標及 Arakawa C 格網，提高局部解析度並增加計算效率；3. 垂直方向採用 σ 座標系統，可解析地形梯度具大變化的海域；4. 數值技巧分為計算二維流場的外模式和計算三維流場的內模式，水平及垂直方向的時間差分，分別採用顯式及隱式形式，可計算自由表面，且可大量節省電腦運算時間；5. 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；6. 模式可加入河流排放量來研究河口海域鹽度變化的物理動力機制；7. 動量、熱量與鹽度之水平渦旋擴散係數，可利用 Smagorinsky 參數化公式直接計算求出。相關領域有興趣的研究應用者，該模式可由其官方網站 (<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/PROFS/waddownload.html>) 下載、安裝、及修正。以下簡介該模式用以計算海流之控制方程式、邊界條件、與相關之數值方法。

3.2 控制方程式

3.2.1 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和動量守恆方程式。為了簡化 POM 的系統方程式，模式首先假設海洋流體為不可壓縮，則在右手卡式座標系統下，質量守恆(連續)方程式可表示如下：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (3-1)$$

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，且 z 垂直向上為正。另外，為簡化流體的動力方程式，採用包氏近似 (Boussinesq approximation)，水平方向動量方程式因此可表示為：

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

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

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下列的靜水壓方程式來代替表示：

$$\rho g = -\frac{\partial p}{\partial z} \dots\dots\dots (3-4)$$

式中， $\rho = \rho_o + \rho'$ 為海水混合密度， ρ_o 為平均海水密度， ρ' 為密度擾動量， K_M 為動量垂直渦旋混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent momentum mixing)， g 為重力加速度， f 為科氏力參數， F_u 、 F_v 分為 x 、 y 方向之雷諾應力(Reynolds Stresses)。

將式(3-4)的靜水壓方程式作垂直積分，因此可得流體中的壓力為：

$$p(x, y, z, t) = p_{atm} + g\rho_o\eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz' \dots\dots\dots (3-5)$$

溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \dots\dots\dots (3-6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \dots\dots\dots (3-7)$$

其中， θ 表示溫度， S 為鹽度， K_H 為溫度(熱能)和鹽度的垂直渦旋混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)，現階段兩者係採用相同之係數值， F_θ 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。

至於海水密度，因其為溫度與鹽度之函數，故可表示為：

$$\rho = \rho(\theta, S) \dots\dots\dots(3-8)$$

而在前列控制方程式中的 F_u 、 F_v 、 F_θ 、 F_s ，其分別可表示如下：

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} \dots\dots\dots(3-9)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(3-10)$$

$$F_\phi = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(3-11)$$

式(3-11)中， ϕ 分別用以表示 θ 和 S ； A_M 為動量之水平渦旋擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式(Smagorinsky et al., 1965)求得，其表示式為

$$A_M = C\Delta x\Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(3-12)$$

其中， C 為無因次參數，即 Horcon 之代表 C 值，一般值域介在 0.1 至 0.2 之間， Δx 、 Δy 分別為 x 和 y 方向的網格間距。至於溫、鹽度之水平渦旋擴散係數 A_H ，POM 模式係利用 Schmidt 數，藉以與 A_M 作相互之關聯，亦即設定 $A_H / A_M \equiv TPRNI$ ，並通常以設定該值為一個很小的數控制，例如：0.2 或甚至在某些例子取為零(Oey et al., 1985a; 1985b)。

3.2.2 紊流閉合模式

在式(3-2)、(3-3)、(3-6)及(3-7)中的渦旋混合擴散係數 K_M 、 K_H ，其係利用 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：

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

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

式中 F_q 、 F_l 為 q^2 與 $q^2 l$ 之水平渦旋擴散項如(3-11)式表示之。而 $\tilde{W}$ 為接近壁面函數(wall proximity function)，定義為：

$$\tilde{W} = 1 + E_2 \left(\frac{l}{\kappa L} \right) \dots\dots\dots (3-15)$$

其中 L 表示為：

$$(L)^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1} \dots\dots\dots (3-16)$$

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：

$$K_M = q l S_M \dots\dots\dots (3-17)$$

$$K_H = q l S_H \dots\dots\dots (3-18)$$

$$K_q = q l S_q \dots\dots\dots (3-19)$$

其中 S_M 、 S_H 、 S_q 定義為穩定函數，而以下式表示：

$$S_H [1 - (3A_2 B_2 + 18A_1 A_2) G_H] = A_2 [1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots (3-20)$$

$$S_M [1 - 9A_1 A_2 G_H] - S_H [(18A_1^2 + 9A_1 A_2) G_H] = A_1 [1 - 3C_1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots (3-21)$$

$$S_q = 0.20 \dots\dots\dots (3-22)$$

上二式中

$$G_H \equiv \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial z} \dots\dots\dots (3-23)$$

其中參數分別為

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

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

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

3.2.3 σ 座標轉換

由於傳統卡式座標系統 (x, y, z) 在地形水深變化複雜處計算上不方便，POM 模式於是採用 Phillips (1957) 所創立之 σ 座標系統，將控制方程式，自卡式座標系統轉換至 σ 座標系統。 σ 座標系統主要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，這在模式計算上將帶來很大的便利。相關 σ 座標系統 $(x^*, y^*, \sigma; t^*)$ 與卡式座標系統 $(x, y, z; t)$ 間的轉換關係，如下所示：

$$x^* = x \quad , \quad y^* = y \quad , \quad \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad , \quad t^* = t \dots\dots\dots (3-24)$$

式中， t 及 t^* 分別為不同座標系統內對應之時間；而 $H(x, y)$ 是靜水位下之地形水深， $\eta(x, y, t)$ 為自由水面高程。

應用上式之轉換關係，則任何物理變數 G ，其在兩座標系統間之微分式關聯將可建立如下：

$$\frac{\partial G}{\partial x} = \frac{\partial G}{\partial x^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] \dots\dots\dots (3-25)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial G}{\partial y^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] \dots\dots\dots (3-26)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{1}{D} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (3-27)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \dots\dots\dots (3-28)$$

式中， $D \equiv H + \eta$ 。將上列式(3-25)至(3-28)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 σ 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 3-1 所示。

假設一變量 ξ 是 σ 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：

$$W = \frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial t^*} + U \frac{\partial z}{\partial x^*} + V \frac{\partial z}{\partial y^*} + \omega \frac{\partial z}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (3-29)$$

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

$$\omega = W - U \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] - V \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] + \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \dots\dots\dots (3-30)$$

而轉換至 σ 座標系統之連續方程式可改寫為：

$$\frac{\partial DU}{\partial x^*} + \frac{\partial DV}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots (3-31)$$

動量守恆方程式則轉換為：

$$\frac{\partial UD}{\partial t^*} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x^*} + \frac{\partial UVD}{\partial y^*} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x^*}$$

$$+ \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial x^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + DF_u \dots\dots\dots (3-32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t^*} + \frac{\partial UVD}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + DF_v \end{aligned} \quad (3-33)$$

溫度守恆方程式可改寫為：

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t^*} + \frac{\partial U\theta D}{\partial x^*} + \frac{\partial V\theta D}{\partial y^*} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + DF_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (3-34)$$

鹽度守恆方程式可表示為：

$$\frac{\partial SD}{\partial t^*} + \frac{\partial USD}{\partial x^*} + \frac{\partial VSD}{\partial y^*} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + DF_s \dots\dots\dots (3-35)$$

至於紊流的動能 $q^2/2$ 及紊流的尺度參數 l ，則可轉換並改寫表示如下：

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

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

式中， U 、 V 與 ω 分別為 σ 座標系統上 x^* 、 y^* 與 σ 座標方向之流速。

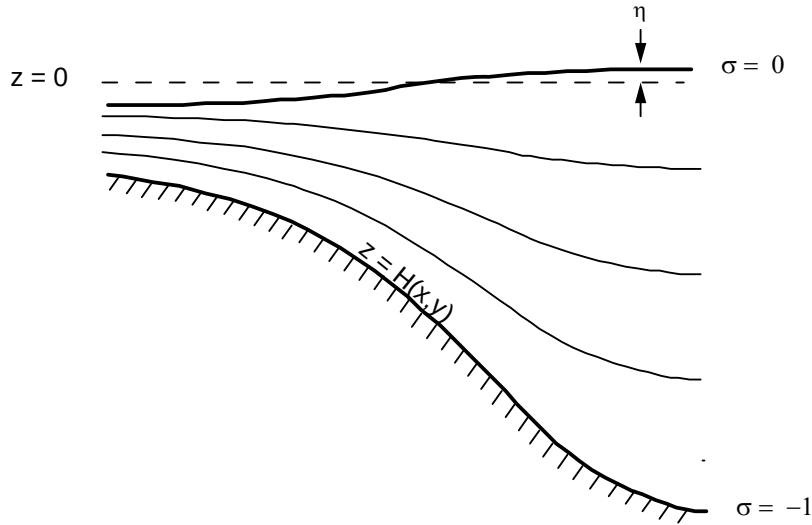


圖 3-1 POM 模式所採用之 σ 座標系統 (Mellor, 2003)

3.2.4 水深積分後之外模式方程式

由於海洋中的波動包含了快速變動的海表面慣性重力波與溫、鹽傳輸擴散等緩慢變化的內波，因此，為了可以有效率的模擬海洋中的波動，故將上述的三維方程式，利用水深積分技巧，將外模式轉換成水平二維模式，藉以用來模擬快速變動的慣性重力波；而內模式則仍以原三維模式之型態，用以模擬海洋水體中具有緩慢變化特性的內部波動或熱動力變化等。Simons(1974)及 Madala、Piacsek(1977)曾研究確認此種分割技巧可以有效率的解決三維模式模擬計算速度較慢的缺陷。因此將式(3-31)至(3-33)，採水深積分方式，由 $\sigma = -1$ 積分至 $\sigma = 0$ 以消除所有垂直方向的變化，則外模式之二維方程式可表示為

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (3-38)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} - \tilde{F}_x - f\bar{V}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\langle wu(0) \rangle + \langle wu(-1) \rangle \\ + G_x - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma} \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \end{aligned} \quad (3-39)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - \tilde{F}_y + f\bar{U}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\langle wv(0) \rangle + \langle wv(-1) \rangle \\ + G_y - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\partial D}{\partial y} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \end{aligned} \quad (3-40)$$

式中，

$$\bar{U} = \int_{-1}^0 U d\sigma, \quad \bar{V} = \int_{-1}^0 V d\sigma \quad \dots\dots\dots (3-41)$$

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 $\tilde{F}_y$ 分別定義為

$$\tilde{F}_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(2H\bar{A}_M \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[H\bar{A}_M \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (3-42a)$$

$$\tilde{F}_y = \frac{\partial}{\partial y} \left(2H\bar{A}_M \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[H\bar{A}_M \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (3-42b)$$

式中，若當 A_M 在垂直方向為常數，則 $\tilde{F}_x$ 與 $\tilde{F}_y$ 之值將為零；而 G_x 與 G_y 分別定義為

$$G_x = \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} - \tilde{F}_x - \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} - \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} + \tilde{F}_x \quad \dots\dots\dots (3-43a)$$

$$G_y = \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - \tilde{F}_y - \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} - \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + \tilde{F}_y \quad \dots\dots\dots (3-43b)$$

在 POM 模式中，當外模式運算時，式(3-39)與(3-40)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。至於若單獨執行二維模式，則設定 $G_x = G_y = 0$ 。

3.2.5 邊界條件

連續方程式，式(3-31)的水面及底床邊界條件可設定為

$$\omega(x^*, y^*, 0, t^*) = \omega(x^*, y^*, -1, t^*) = 0 \quad (3-44a,b)$$

動量方程式，式(3-32)、(3-33)兩式的表面邊界條件可寫為

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = (\langle \omega U(0) \rangle, \langle \omega V(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (3-45a,b)$$

而底部邊界條件則可寫為

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = C_z [U^2 + V^2]^{1/2} (U, V), \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (3-45c,d)$$

式中，

$$C_z = \text{MAX} \left[\frac{\kappa^2}{[\ln\{(1 + \sigma_{Kb-1})H / z_0\}]^2}, 0.0025 \right] \quad (3-45e)$$

κ 為 von Karman 常數，其值通常可設定為 0.4； z_0 為摩擦糙度參數； σ_{Kb} 為 σ 座標於垂直層 $K = Kb$ 分層時的值， K 表示垂直格網層數的值， Kb 表示最底層，而 σ_{Kb-1} 為 $Kb-1$ 層之 σ 座標值。

至於式(3-34)、式(3-35)的溫度和鹽度方程式，其水面和底床的邊界條件分別設定為

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = (\langle \omega \theta(0) \rangle, \langle \omega S(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (3-46a)$$

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = 0, \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (3-46b)$$

而紊流閉合方程式，式(3-36)、(3-37)的水面和底床邊界條件分別為：

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

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

其中 B_1 為紊流閉合常數， u_τ 為在表面與底部的摩擦速度。至於在開放

邊界處之流速邊界條件，其可依據線性淺水波理論設定為

$$H\bar{U} \pm c_e \eta = FBC \quad \dots\dots\dots (3-48)$$

FBC 為已知或設定之單位寬度物理變量之流通量(flux)，其通常可依據上層格網計算值設定而得知，而其上之水位邊界條件，則可設定為

$$\eta = BC \quad \dots\dots\dots (3-49)$$

式中， H 為總水深； g 為重力加速度； $\bar{U}$ 為垂直平均速度； η 為自由表面水位； BC 為開放邊界上已知或設定的水位值；而

$$c_e = \sqrt{gH} \quad \dots\dots\dots (3-50)$$

為線性一階之淺水波速。

3.2.6 海氣交接面之邊界條件

海氣交接面之邊界條件設定是三維洋流模擬中的重大課題，當面對並處理海氣交接面之邊界條件時，通常可利用通量交換或直接設定海面物理變動量。Ezer & Mellor (1997)即指出，直接設定海面溫度(SST)將可以加快模式之啟動速度(spin up)，但當海面溫度資料庫的解析度不足時，將會造成洋流模擬的差誤；而若採用通量交換以設定海氣交接面之邊界條件，其將可避免海面溫度資料庫解析度不足的缺點。

海氣交接面之邊界條件設定包括海面風剪應力、水體質量、熱通量、鹽度通量、及輻射通量等，其相關之處理方式分別說明如下：

(1) 由風剪應力所形成的動量平衡，可設定

$$\rho K_M (\partial U / \partial z, \partial V / \partial z) = (\tau_x, \tau_y) \quad \dots\dots\dots (3-51)$$

$$(\tau_x, \tau_y) = \rho_A C_D |\mathbf{U}_{10} - \mathbf{U}_w| (U_{10} - U_w, V_{10} - V_w) \quad \dots\dots\dots (3-52)$$

式中， C_D 為拖曳係數； ρ 為水密度； ρ_A 為空氣密度； (U_{10}, V_{10}) 分別為海面上 10 公尺高度之 x 、 y 方向風速分量； $\mathbf{U}_{10} = \sqrt{U_{10}^2 + V_{10}^2}$ 為 10

公尺高度之風速大小； (U_w, V_w) 為水面流速之 x 、 y 方向流速分量， $U_w = \sqrt{U_w^2 + V_w^2}$ 為水面流速大小，而 $(\tau_x, \tau_y) = (-wu(0), -wv(0))$ 。

(2) 水體交換之質量平衡，可設定

$$\rho w_I = \dot{E} - \dot{P} \dots\dots\dots (3-63)$$

$$\dot{E} = \rho_A C_E |\mathbf{U}_{10} - \mathbf{U}_w| (q_{10} - q_w) \dots\dots\dots (3-64)$$

式中， w_I 為海面垂直方向水體傳輸速度； $\dot{P}$ 為降雨通量；而 $\dot{E}$ 為蒸發通量； 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。

(3) 鹽度平衡，可設定

$$-\rho_w (K_H \partial S / \partial z) + \rho w_I S_w = 0 \dots\dots\dots (3-65)$$

式中， $-\rho_w (K_H \partial S / \partial z)$ 為海面鹽度擴散通量； S_w 為海面鹽度，並設定海面不會因降雨與蒸發作用而使鹽度改變。

(4) 熱量平衡，可設定

$$\rho C_{pw} (K_H \partial T / \partial z) = \dot{E}L - Q_s + LWR + (\dot{E} - \dot{P})C_{pw}(T_{10} - T_w) \dots\dots\dots (3-66)$$

$$Q_s = \rho_A C_{pv} C_H |\mathbf{U}_{10} - \mathbf{U}_w| (T_{10} - T_w) \dots\dots\dots (3-67)$$

$$LWR = 0.98\zeta(T_w + 273)^4(0.39 - 0.05e_{10}^{1/2})(1 - 0.8n) - [(T_w + 273)^4 - (T_{10} + 273)^4] \dots\dots\dots (3-68)$$

其中， C_{pv} 、 C_{pw} 分別為水蒸氣與水之比熱； T_{10} 為距海面 10 公尺高之氣溫； 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)； C_H 為熱通量係數； $\zeta = 5.7 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ 為 Stefan-Boltzman 常數； e_{10} 為水蒸氣壓力； n 為雲覆蓋率。

3.3 數值方法

3.3.1 格網配置

POM 模式為增進模式計算效率，減少三維模式之電腦運算時間，在模式運算之時間網格配置上，採用內、外模式交替轉換方法，其中，外部模式主要在計算速度變化較快的表面重力波，故計算時距必須較小，且流速依垂直方向取平均值以求得水平傳輸量，因此，只有計算正壓流的二維運算；至於內部模式，由於其主要在計算速度變化較慢的水體內部溫鹽傳輸擴散波，故可以取較大的計算時距，但是需要較高的空間解析度，藉以計算具三維空間特性的斜壓流。一般，在數值模擬計算上，具有此種區分內、外模式的數值方法，即是所謂的 mode splitting，而其內、外模式之相嵌轉換關係，如圖 3-2 所示。

在空間網格的配置設定上，內、外模式水平方向皆採用 Arakawa C-grid 交錯網格系統，分別如圖 3-3 與圖 3-4 所示。其中，水平速度 U 、 V 分別位於網格邊之中間，而其他的變量，如水位 η 、垂直方向的流速 W 、溫度 T 、以及鹽度 S 等，則位於網格中間。

3.3.2 數值離散

關於 POM 模式中的數值離散技巧，在三維模式計算中，係將其區分為垂直與水平傳導與擴散兩步驟，且將垂直方向分量以隱式(implicit)積分，而水平分量則以顯式(explicit)積分。故而溫度平衡方程式即可離散成

$$\frac{\partial DT}{\partial t} + Adv(T) - Dif(T) = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (3-69)$$

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分別如下式，

$$\frac{\tilde{D}\tilde{T} - D^{n-1}T^{n-1}}{2\Delta t} = -Adv(T^n) + Dif(T^{n-1}) \dots\dots\dots (3-70)$$

$$\frac{D^{n+1}T^{n+1} - \tilde{D}\tilde{T}}{2\Delta t} = \frac{1}{D^{n+1}} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T^{n+1}}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (3-71)$$

式中， n 表示積分時間。另外，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，

$$T_s = T^n + \frac{\alpha}{2} (T^{n+1} - 2T^n + T^{n-1}) \dots\dots\dots (3-72)$$

其中， T_s 是平滑化的解， α 一般設定為 0.05。在式(3-72)進行平滑化計算後，令 T_s 為 T^{n-1} 、 T^{n+1} ，然後再進行下一時刻的計算。

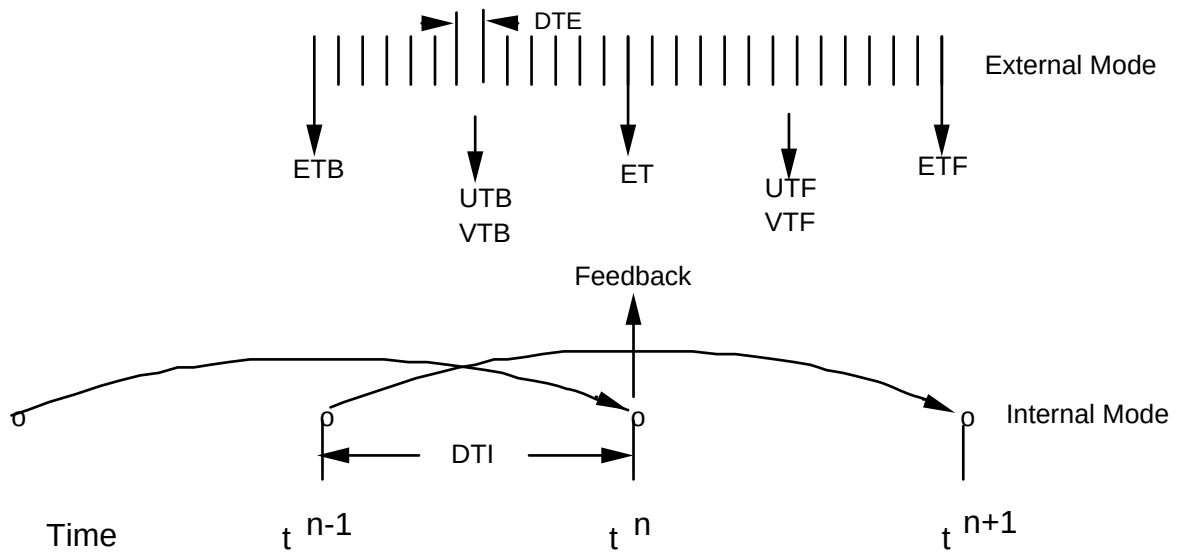


圖 3-2 內外模式相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

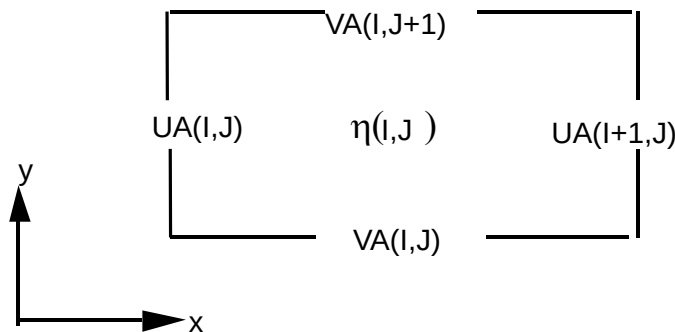


圖 3-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

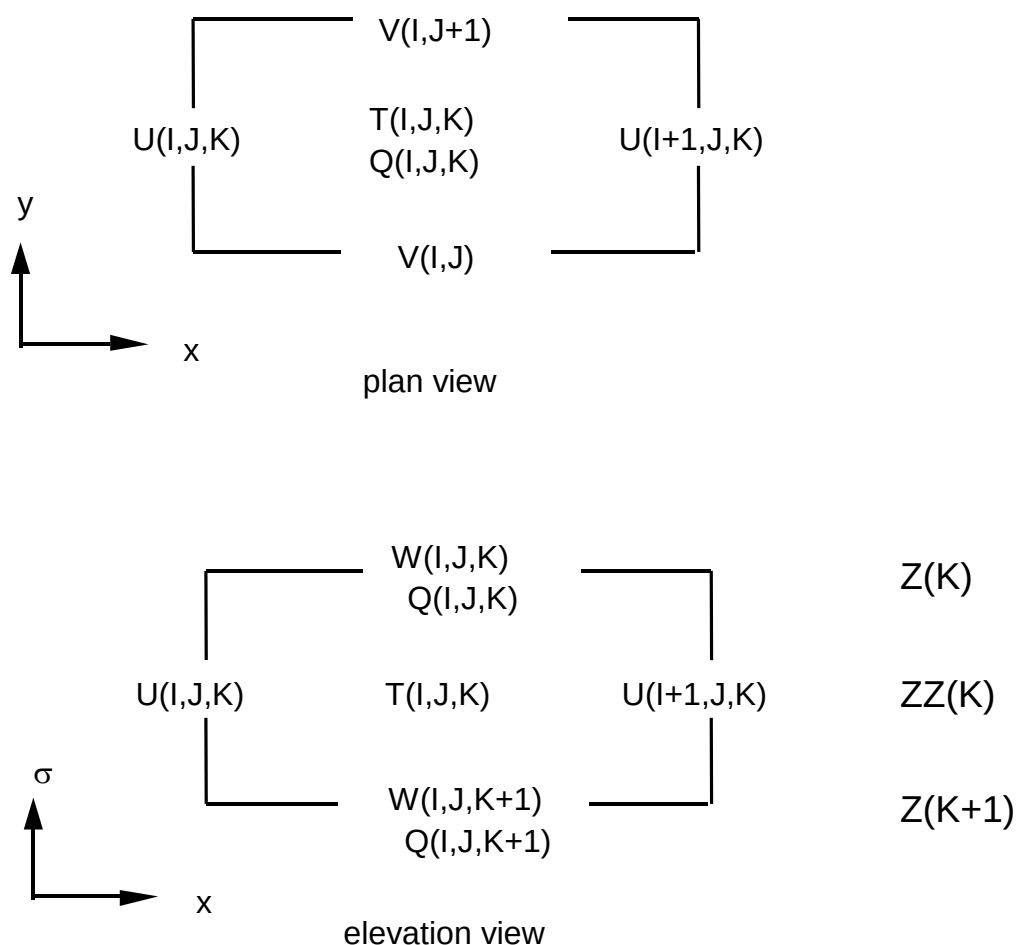


圖 3-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)
(Q 表示 K_m 、 K_h 、 q^2 或 $q^2 l$ ；T 表示 T 、 S 或 ρ)

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

$$-Adv(T)h_x h_y = \delta_x (Dh_y UT) + \delta_y (Dh_x VT) + h_x h_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\Delta\sigma} \dots\dots\dots (3-73)$$

式中， h_x 與 h_y 分別表示 x 與 y 方向網格間距； δ 表示不同方向之離散方法，其在 POM 模式中目前預設為中央差分法。至於模式的總體計算流程與相對應的重要處理程序，則可概要整理如圖 3-5 所示。

3.3.3 計算時距之穩定條件

在 POM 模式之水深積分外部模式與溫、鹽傳輸擴散之內部模式中，計算時距係根據下列相關 Courant-Friedrichs-Levy (CFL) 計算穩定條件之最小值而選定，其中

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_t} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots (3-74)$$

$$C_t = 2(gH)^{1/2} + U_{\max} \dots\dots\dots (3-75)$$

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

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{C_T} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots (3-76)$$

$$C_T = 2c + U_{\max} \dots\dots\dots (3-77)$$

C_T 代表最大內部溫、鹽傳輸擴散波速，一般尺度約為 2 m/s； c 為波速； $U_{\max}$ 是最大傳導速度。

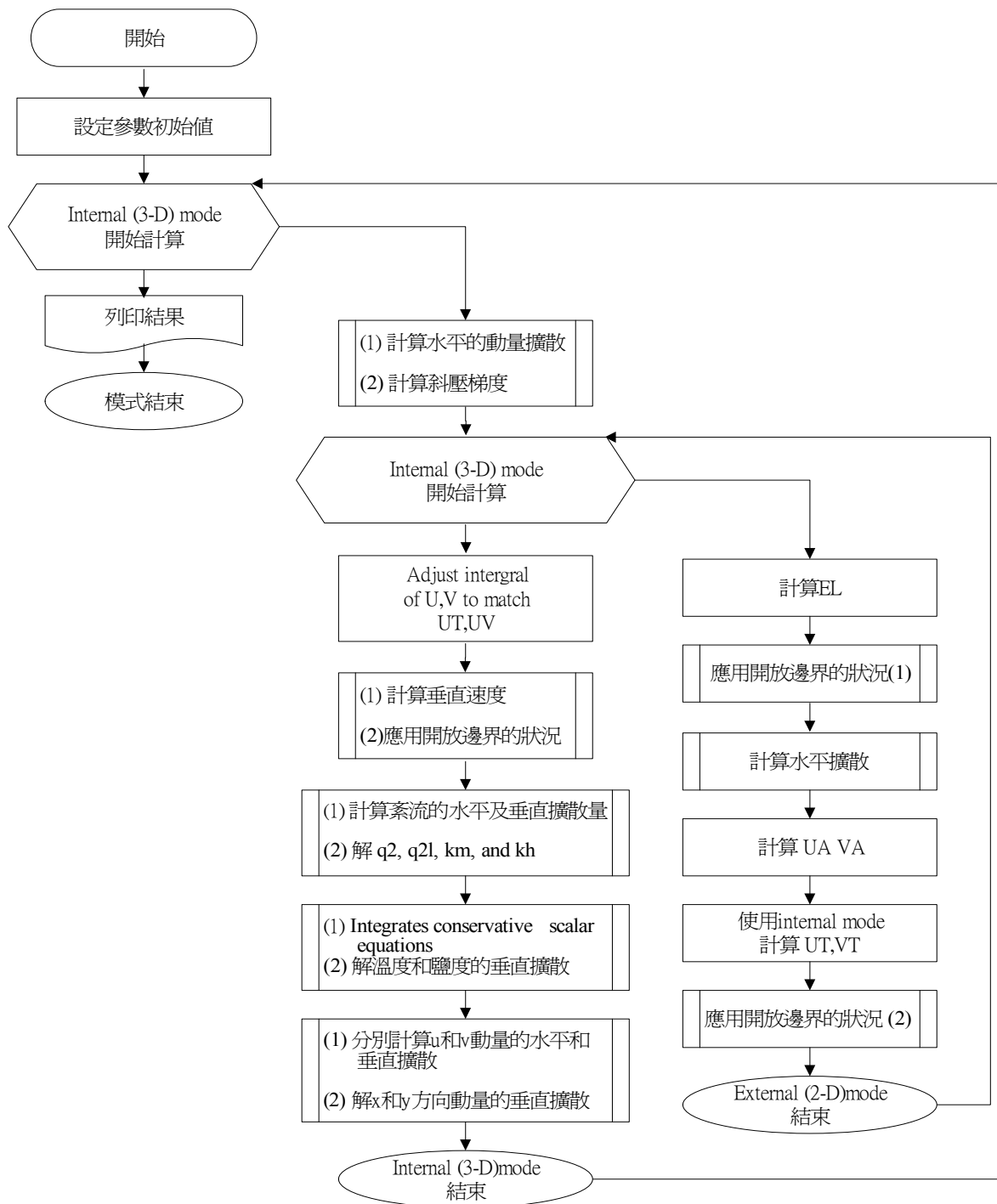


圖 3-5 POM 內外模式之計算流程圖

式(3-74)與式(3-76)之穩定計算時距，在應用於一般海域之海流模擬計算情況下， $\Delta t_I / \Delta t_E$ 的比率約介於 30 至 80 之間。

除上述條件之外，尚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，可推導其條件為：

$$\Delta t_d \leq \frac{1}{4A} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1} \dots\dots\dots(3-78)$$

式中，可取 $A = A_M$ 或 $A = A_H$ 。另外，由科氏力項所可能造成的穩定條件為：

$$\Delta t_c \leq \frac{1}{2\Omega \sin \phi} \dots\dots\dots(3-79)$$

根據上述條件，在 POM 模式計算時，必須注意調整計算時距大小的設定。此外，由於採用 σ 座標系統的關係，所以，模式會在靠近海岸的淺水海域處，形成不可計算的奇異點，故在水深給定時，尚必需設定最小水深。通常，在 POM 模式中，預定的最小水深為 10 米，但可隨計算案例的不同及 σ 座標垂直分層數之多寡而給定適切的最小水深。

3.4 乾溼格網

為了近岸潮流的模擬所需，在潮汐漲落明顯的近岸海域，POM 模式亦具有乾溼格網技巧的應用。在近岸海域，為海流之計算方便，通常會設定一有限水深來限制水體流動，而且在海陸交界處，其將被視為一流體無法通過的垂直海岸邊界。但此一簡便的近岸地形深設定方式，在潮間帶與容易溢淹處是不適宜的。因此，為了合理地模擬近岸海域潮汐漲落與海水之溯升、洩降、或溢淹等效應，在最新版本的 POM 模式中，因而已加入乾溼(wetting and drying, WAD)格網機制，藉以來模擬近岸流體的運動(Oey, 2005; 2006)。相關乾溼格網機制之數值技

巧，概述如下。

將模擬領域首先區分為海洋地區 R 與陸地邊界 ∂R ，然後，在 ∂R 之陸地邊界處，假設垂直方向的通量為零；而在 R 之海洋區域中，海洋地形水深之狀態，則可由模式自動設定。亦即在 POM 模式中，將利用一最小水深的限制來產生一陸地格網遮罩(land mask)_FSM 以定義並標示出 R 與 ∂R ，小於最小水深(通常為 10 公尺)的區域，將視為陸地 (FSM=0)；其他則視為海洋(FSM=1)。因此，在模式中即可以物理變量與遮罩的相乘數，自動進行陸地邊界零通量狀態的模擬。Oey (2006) 據此延伸出一乾溼格網遮罩(WETMASK)並避免了對 POM 模式程式碼進行大幅度的修改，進而完成乾溼格網的模擬計算機制，如圖 3-6 所示。其中，絕對陸地邊界(absolute land boundary, ALB)視為 FSM=0，而可能溢淹與完全有水的區域視為 FSM=1，而水深定義為

$$D = H + \eta(x, y, t) = H_{msl} + \eta_{msl}(x, y, t) \dots\dots\dots(3-80)$$

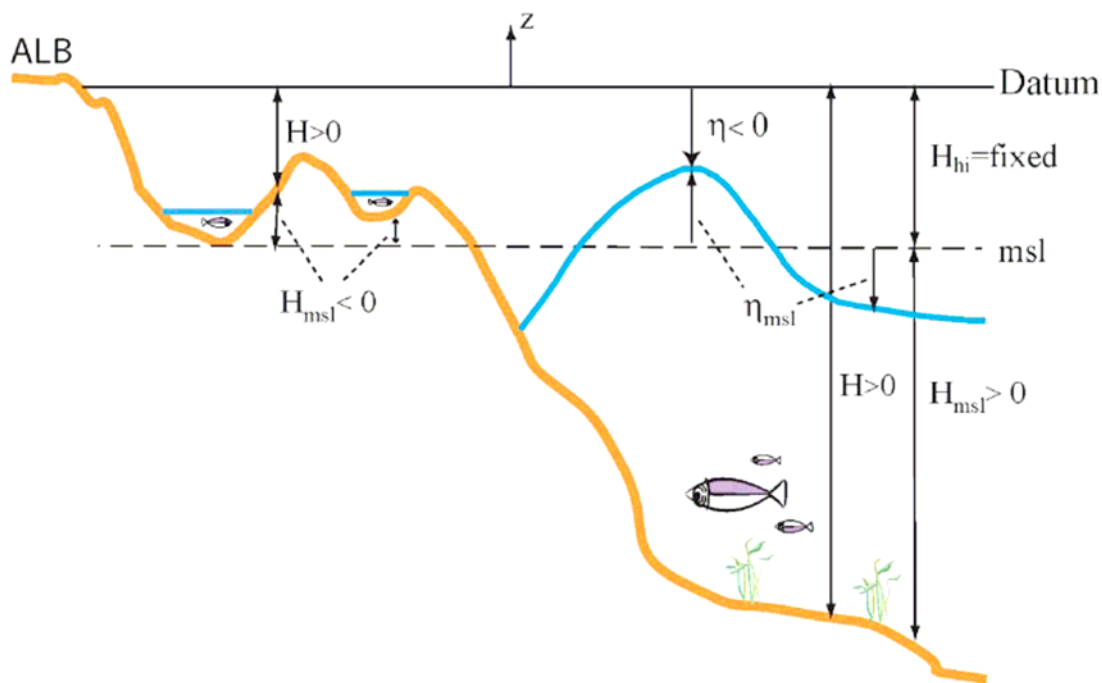


圖 3-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖

在溢淹區中，定義 H_{dry} 為乾、溼格網之最小水深。當 $H_{dry} \geq D$ ，則設定其為 WETMASK=0 之乾格網；其他，則設定其為 WETMASK=1 之溼格網。另外，由於 POM 模式採用 C-grid，故與乾溼格網對應之水深平均流速 $\bar{U}$ 與 $\bar{V}$ 分別即可表示為，

$$\bar{U}_{i,j} = 0 \quad \text{if } (D_{i,j} + D_{i-1,j})/2 \leq H_{dry} \quad \dots\dots\dots (3-81a)$$

$$\bar{V}_{i,j} = 0 \quad \text{if } (D_{i,j} + D_{i,j-1})/2 \leq H_{dry} \quad \dots\dots\dots (3-81b)$$

又為了適當的模擬乾溼格網變化時產生的連續性問題，因此，乾溼格網內的水深平均流速，尚必須作下列之調整

$$\begin{aligned} \bar{U}_{i,j} = 0 \quad \text{if } \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \quad \text{and } \bar{U}_{i,j} > 0 \quad \text{or} \\ \text{WETMASK}_{i,j} = 0 \quad \text{and } \bar{U}_{i,j} < 0 \quad \dots\dots\dots (3-82a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_{i,j} = 0 \quad \text{if } \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \quad \text{and } \bar{V}_{i,j} > 0 \quad \text{or} \\ \text{WETMASK}_{i,j} = 0 \quad \text{and } \bar{V}_{i,j} < 0 \quad \dots\dots\dots (3-82b) \end{aligned}$$

明顯地，以上關於乾溼格網變化之水深平均流速限制與調整，其僅適用於對水深平均之運動方程式，但對於三維模式中之溫度與鹽度狀態方程式，則尚未加以處理，故再引入下列溫、鹽度之調整式：

$$\frac{\partial(T,S)}{\partial t} = -\alpha_{relax}[(T,S) - (T_{c\lim}, S_{c\lim})] \quad \text{if } \text{WETMASK} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-83)$$

來消散乾格網中所殘留的溫度(T)與鹽度(S)，其中，設定 $\alpha_{relax} = 2day^{-1}$ 。

另外，在三維模式之乾溼格網交界處，為水體流動的連續性，故流速亦須調整並修正為：

$$U_{i,j,k} = \bar{U}_{i,j} \quad \text{if } \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-84a)$$

$$V_{i,j,k} = \bar{V}_{i,j} \quad \text{if } \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \quad \dots\dots\dots (3-84b)$$

而在時間積分上，由於 POM 模式採用外模式與內模式交替計算方式來減少時間的積分與處理自由液面波動的問題，故內模式的計算時距常取為外模的 N 倍 ($N\Delta t_e = t_i$)，如此會形成當內模式在計算時距內產生乾溼變化時，外模式無法作即時反應的情況。Oey(2006)因此進行模式改善，並採用當內模式於時間積分 $N\Delta t_e$ 時，將 WETMASK 值應用於外模模式中。同理，在三維模式中之底床摩擦剪力項，亦可能由於水深過小而產生不適宜之狀況，所以在此情況下，式(3-45e)亦應調整修正為

$$C_z = \text{MAX} \left[\frac{K^2}{[\ln(1 + z_b / z_0)]^2}, 0.0025 \right] \dots\dots\dots (3-85)$$

式中， z_b 為第 $K = Kb - 1$ 分層之厚度。

3.5 軟硬體設備建置

本研究經評估現階段及未來應用之需求，依據先前引進建置並試行運算 POM 三維海流模式之經驗(歐 等，2008；廖 等，2009；莊、廖，2010-2011；廖 等 2011-2012；莊 等，2012)，決定採用由官方網站 (<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>) 所下載的 POM2K 版本為基礎，再增加具有乾濕格網處理選項的 POM08 版本之功能，建立本研究所使用的 POM 模式。

POM 模式之原始主程式，由於尚無完整資料輸入介面之提供，因此，為了方便模式執行與使用，本研究乃進行輸入介面的發展，讓使用者可依計算方案的不同，提供相對應的資料輸入選項，俾提供更為快速的資料輸入方式。圖 3-7 所示即為 POM 模式之主要資料處理流程圖，由圖觀察可見，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 模式格網上後，即透過 POM 模式進行模擬計算；接著，以 NetCDF (Network Common Data Format) 資料格式輸出格網上之流速、鹽度、溫度、密度等變數資料；最後，再經由 NCL (NCAR

Command Language)後置處理程式，分析各種變量之變化趨勢，並繪製模擬計算結果之各種圖表。

由於 POM 模式為三維海洋模式，原本即需要具有高速計算能量與龐大輸出入資料儲存空間的硬軟體設備，加以本年度研究須納入海流對漂沙之輸運影響，故而在進行模式格網建置時，特別須考量個人電腦上可執行之環境限制。是以本研究在合作研究機構(財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心)執行時，所建置之硬體設備為雙六核心 Intel Xeon 3.33GHz 之 PC，配置 24GB 主記憶體，並採用 OpenMP 或 MPI (Message Passing Interface)平行化技術修改 POM 模式程式碼，藉以充分利用硬軟體資源以進行快速運算，俾大量節省模式測試運轉之時間。除此之外，POM 模式並未對執行環境作任何限制，惟考量未來擴充性與降低模式發展、執行時所遭遇的阻礙，在電腦作業系統方面，本研究因此以美國 Novell 公司所負責維護的 openSUSE Linux 套件作為主要的電腦作業系統環境，因其使用 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研究成果。此外，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。

POM 模式之程式語言，主要係利用標準 FORTRAN 77 所開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。鑑此，為了後續程式執行與開發，本研究選擇具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 編譯能力、且具有卓越浮點計算能力、最佳化執行速度、多執行緒程式編譯、及可支援 64 位元作業系統等多項特點的 Intel Fortran for Linux 來解決程式編譯問題。另外，由於採用 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，則所需硬體升級費用甚龐大，僅管其程式撰寫改編相對較為簡單。另外，Intel Fortran 編譯程式已包含有相關之科學應用程式庫並具有編譯能力，使用者不需安裝

額外軟體即可使用。故而在提升電腦之模擬計算效能與增加未來擴充性之考量下，本研究仍以發展 MPI (Message Passing Interface) 版本之 POM 模式為主，主要原因係 MPI 平行程式不僅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。而所謂的叢集平行系統，其係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)，透過高速網路連結各計算節點後，即可組成一大型平行計算系統。故未來當需要提升模式解析度、增加計算能量時，即可以透過增加計算節點的方式來進行，其總體系統之擴充性較佳，亦較符合經濟效益。不過，採行 MPI 平行化計算方式的唯一缺點是程式需要大幅改寫。

為研究之順利推展，也為研究目標之達成，本研究因而著手進行 MPI 版本之 POM 模式發展，透過 Open MPI (<http://www.open-mpi.org/>) 第 1.4.5 版程式庫，取其具有完整 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。Open MPI 之官方下載網址為 <http://www.open-mpi.org/software/ompi/v1.4/downloads/openmpi-1.4.5.tar.gz>，而安裝方式可參考網頁 <http://www.open-mpi.org/faq/?category=building#easy-build> 之相關說明。使用者必須自行下載安裝後，再透過 Open MPI 程式庫與 Intel Fortran 程式的配合，才可進行 POM 模式 MPI 版本之編譯。圖 3-8 所示即是當 POM 模式具有 $421 \times 601 \times 21$ 之三維計算格點時，利用不同核心數量，模擬計算一天所需電腦時間之對應比較圖，由圖中可看出，隨著計算核心的增加，程式之效率亦將大幅提昇。惟本研究係選用 24 核心進行 POM 模式之模擬計算。

除了編譯器的選擇、設定外，由於 POM2K 之後的模式版本已增加了 NetCDF (Network Common Data Format) 程式庫的支援，而所謂的 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自主描述資料的格式，並且可以跨越平台和機器的限制，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等。迄今，NetCDF 資料格式已廣泛應用於大氣與海洋研究中。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，本研究在模式建置時，採用 3.6.3 版，而因全部模擬計算資料之讀寫即皆透過 NetCDF 程式庫來完成。

在後置繪圖與資料處理方面，本研究係採用 GMT (Generic Mapping Tools)與 NCL (NCAR Command Language)等開放源碼軟體為主。進行圖形的繪製時，則透過命令腳本方式，直接執行 GMT 或 NCL 軟體。相關繪製圖形的命令腳本與 POM 模式詳細的操作與相關檔案說明，可參考莊 等(2012)或廖 等(2013)研究報告附錄中之「POM 模式操作手冊」。

3.6 海氣象資料庫之應用

在應用 POM 模式進行大尺度海流之模擬計算前，本研究依據現有國際上普遍應用的海氣象資料庫，藉以配合邊界與初始條件之正確設定。以下簡述本研究現階段所蒐集建置之各項海氣象資料庫之基本參數與時空尺度範圍。

3.6.1 海表面氣象資料

對於海面上之風場與氣壓場資料，本研究蒐集應用 NCEP/NCAR Reanalysis 1 之氣象場再分析資料庫。其為經模式運算及資料同化後之分析結果(Kalnay et al., 1996)。資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度含括 6 小時及日、月平均之值，空間格網為 T62 Gaussian Grid，資料範圍涵蓋全球，資料項目包括有 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。資料下載之網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。資料格式之詳細說明，如表 3-1 所示。

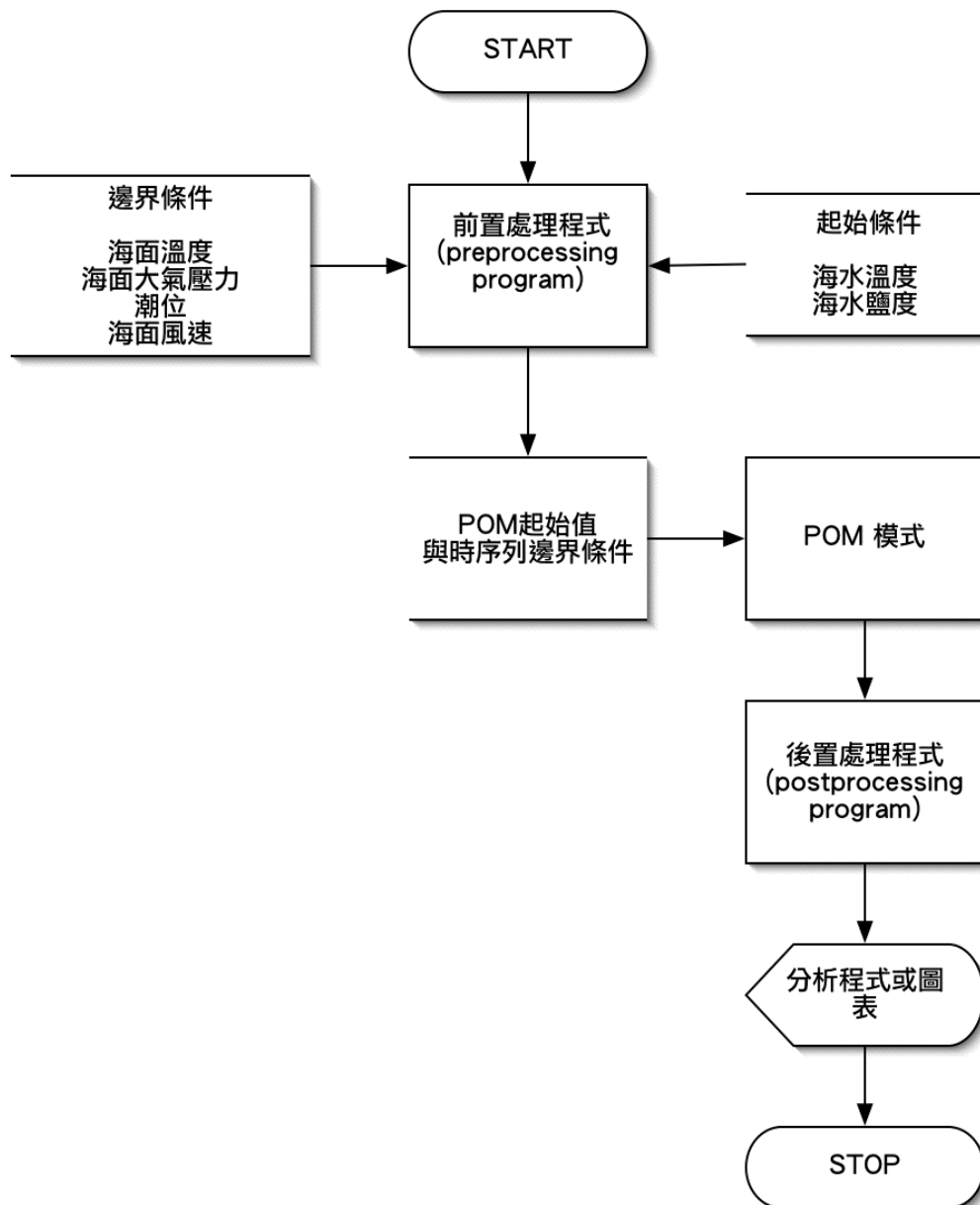


圖 3-7 POM 模式建置與資料處理流程

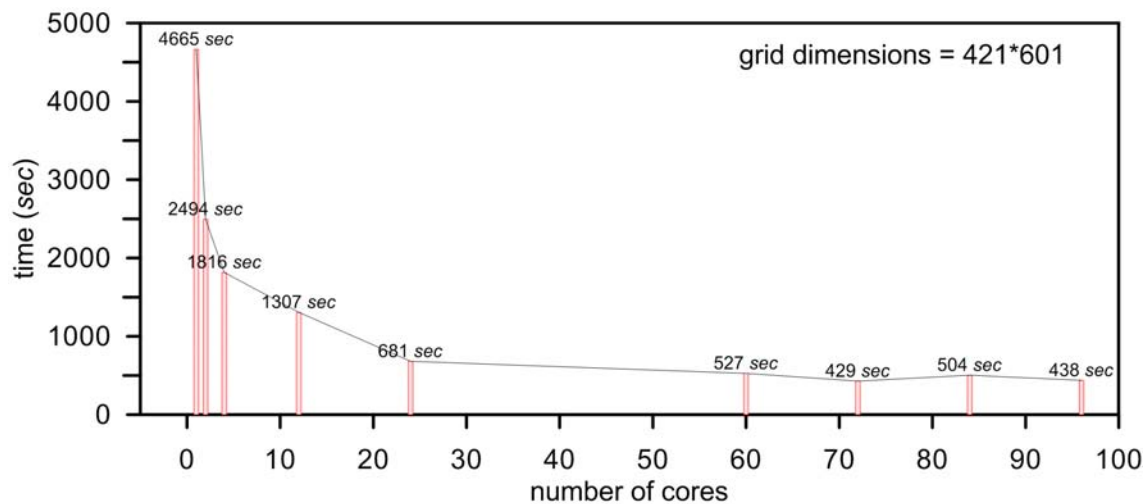


圖 3-8 POM 模式採用 MPI 平行化計算之效率評估圖

表 3-1 NCEP/NCAR 氣象場再分析資料格式

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)
高度(level)	海平面 10 公尺及 2 公尺高(10m & 2m)
資料型式(type)	NetCDF

另外，本研究亦收集了 NCEP/CFSR (NCEP Climate Forecast System Reanalysis) 氣候預測系統之海氣象分析資料。CFSR 設計為全球高解析度大氣、海洋、陸地及海冰耦合之氣候模擬，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。CFSR 大氣模式之水平方向採用 T382 格網，其格網間距約為

38 公里；垂直方向由表面至 0.26hPa 共分為 64 層；海洋模式之水平格網，在赤道地區為 0.25 度，其延伸至南、北迴歸線之後為 0.5 度；垂直方向從海面向下延伸至水深 4737 米，共分為 44 層；地表與海冰模式分別為 4 層與 3 層。為了模擬計算所需，本研究僅收集其 6 小時解析度之海面 10 公尺高風速、海面大氣壓力、及海洋模式之溫度場資料，詳細之資料格式說明，如表 3-2 所示。

表 3-2 NCEP/CFSR 海氣象場氣候預測分析資料格式

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)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海面 10 公尺高風速(surface winds)、海面大氣壓力(sea level pressure)、海面溫度(sea surface temperature)
資料型式(type)	GRIB2

3.6.2 海面溫度

關於海面溫度資料，本研究蒐集了 NOAA OISST V2 (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature)之海面溫度資料，其資料為綜合資料測站與衛星資料，利用內插法所得之最佳輸出結果。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，NOAA OISST V2 海面溫度資料格式說明，如表 3-3 所示。資料下載網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html>。

另外，本研究亦蒐集 NOAA ERSST V3 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature)之海面溫度資料，其 SST 資料來源為 ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)，主要係利用改良式統計方法所重建之格網資料(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，NOAA ERSST V3 之海面溫度資料格式說明，如表 3-4 所示。資料下載網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.html>。

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

3.6.3 海洋鹽度與溫度

關於海洋鹽度與溫度，本研究蒐集了 NODC (National Oceanographic Data Center)的 WOA (World Ocean Atlas)海洋水文資料庫，其為分析場資料，內容包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等，資料時間為 1900 年至 2009 年之長期平均，水平空間解析度

為 1.0 度，垂直方向共有 33 層，分別是在水深 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 米處，其資料範圍涵蓋全球，WOA05 海洋溫、鹽度資料庫格式之詳細說明，如表 3-5 所示。資料下載網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。

表 3-5 NODC WOA09 海洋溫鹽資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1900-2005 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)	水深方向 33 層
資料型式(type)	ASCII

3.6.4 全球海域之地形水深

關於全球海域之地形水深資料，本研究蒐集了 NOAA/NGDC (National Geophysical Data Center) 2 分空間解析度之 ETOPO2v2g 及 1 分空間解析度之 ETOPO1 全球地形水深資料(Amante & Eakins, 2009)，其資料來源為衛星測高儀資料之內差，水平座標系統採用 WGS-84；垂直座標參考基準為平均海水面，資料發表時間分別為 2006 及 2009 年，資料範圍涵蓋全球陸地與海洋，ETOPO2v2g 與 ETOPO1 全球地形水深資料庫之詳細格式說明，分別如表 3-6 及 3-7 所示。資料網址分別為 <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html> 及 <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>。

表 3-6 NGDC ETOPO2v2g 全球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 2 minute latitude x 2 minute longitude global grid 0.0E~360.0E，0.0S~0.0N
變數(variable)	地形水深高程(topography & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-7 NGDC ETOPO1 全球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 1 minute latitude x 1 minute longitude global grid 0.0E~360.0E，0.0S~0.0N
變數(variable)	地形水深高程(topography & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

3.6.5 國科會海洋學門海洋資料庫

為進行臺灣近海之海流模擬計算，本研究亦蒐集並申請應用國內自行建置維護之海氣象資料庫_國科會海洋學門海洋資料庫資料。該資料庫的資料範圍，主要以臺灣鄰近海域為主。其中，關於海洋水文資料，其係是海洋研究船以 Seabird 公司製造的 CTD 溫鹽深儀 (Conductivity, Temperature, Depth)所量測，迄今，該資料庫共收錄有研究船共 3,000 多航次的實測紀錄資料，測量點數約有 40,000 多點，原始資料筆數約 1,000 萬筆左右。國科會海洋資料庫之海洋水文資料格式說明，如表 3-8 所示。其資料網址為 <http://www.odb.ntu.edu.tw/ctd/>。

國科會海洋學門海洋資料庫之海流資料，其係是海研一、二、三號研究船以 Sb-ADCP 船碇式都卜勒流剖儀 (Ship-Board Acoustic

Doppler Current Profiler)所實測。實測流場資料並進一步應用 Tang 和 Ma (1995)的校正方式獲得絕對流場，從而再將各水層之資料內插成每 10 米深度，並繪製相關圖資供閱覽及申請應用。國科會海洋資料庫海流資料之網址為 <http://www.odb.ntu.edu.tw/adcp/>。相關資料格式說明，如表 3-9 所示。

國科會海洋學門海洋資料庫之水深資料，其主要資料來源亦為國內研究船海研一號（OR1）、海研二號（OR2）以及海研三號（OR3）各航次的船載單音束式音波實測水深資料（single beam echo sounding, SBES），資料範圍大多侷限在臺灣離岸 200 哩以內海域。除了定期新增 SBES 資料，也收集國外的地形相關資料，整編出幾組海域數值地形資料（gridded dataset）(Liu et al., 1998)，可提供各界參考及應用。國科會海洋資料庫水深資料之網址為 <http://www.odb.ntu.edu.tw/bathy/>。相關資料格式說明，如表 3-10 所示。

表 3-8 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 分格網化資料
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 3-9 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—南北分量(U 、 V)
高度(level)	20~300 公尺深度(每 10 公尺一層)
資料型式(type)	ASCII

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 × 500 m 117.0E~125.0E；18.0N~27.0N
變數(variable)	地形水深高程(topograhpy & bathymetry)
資料型式(type)	ASCII

3.6.6 東亞海域潮位資料庫

為考量潮汐效應以進行臺灣近海之潮流模擬計算，本研究採用美國奧瑞崗州立大學(Oregon State University)所研發之 OTPS (OSU Tidal Prediction Software)全球潮位模式及日本學者 Matsumoto et al. (2000) 所研發建置之 NAO99b 東亞海域潮位預報模式，從而配合模擬計算期間，進行天文潮位逐時預報以供應用。

第四章 臺灣海域海流之模擬計算

4.1 臺灣海域大尺度海流特性概述

本研究重點在探討「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」，因此，如第二章內文所述，本研究所稱臺灣海域之大尺度海流，將以黑潮洋流與其支流及潮流為主。而為規劃進行臺灣海域大尺度海流之模擬計算，茲分別就往昔相關研究調查(莊、江，2002- 2005；劉，2002；王，2002；詹，2002；盧、吳，2005；Hsin et al., 2008；廖 等，2009-2013；莊、廖，2010-2012)所得之特性，先行作概要之說明與瞭解。

4.1.1 臺灣海域之洋流

洋流是具有相對穩定流速和流向的大規模海水運動。按照洋流的分類，其大致上可分為混合層甚或斜溫層以上，由風應力所引起之風吹流；與在深層海洋內，因斜壓特性所衍生的溫鹽環流。

在風吹流的形成上，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，此二信風於赤道輻合，並於赤道形成一無風帶。信風帶作用下的赤道暖流因而會向西流動，遇大陸邊界地形後，一部分海水因信風切應力之南北向速度分量不均和補償作用而折回，此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，會分別向高低緯度海域形成南北分流，故而在北太平洋形成黑潮、而在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。全球海域主要洋流的分布，如圖 4-1 所示。

與赤道南北緯 30 度間所形成之信風帶風吹流相似，於南北半球之緯度 30 度至 60 度間，西風盛行，西風帶作用下的西風漂流向東流動，遇大陸後，向兩側的高低緯度海域分流形成補償流。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、挪威暖流、東格陵蘭寒流。

(資料來源：<http://blog.dili8844.com/wp-content/uploads/2010/04/f922df39ff1579ee3b87ce40.jpg>)

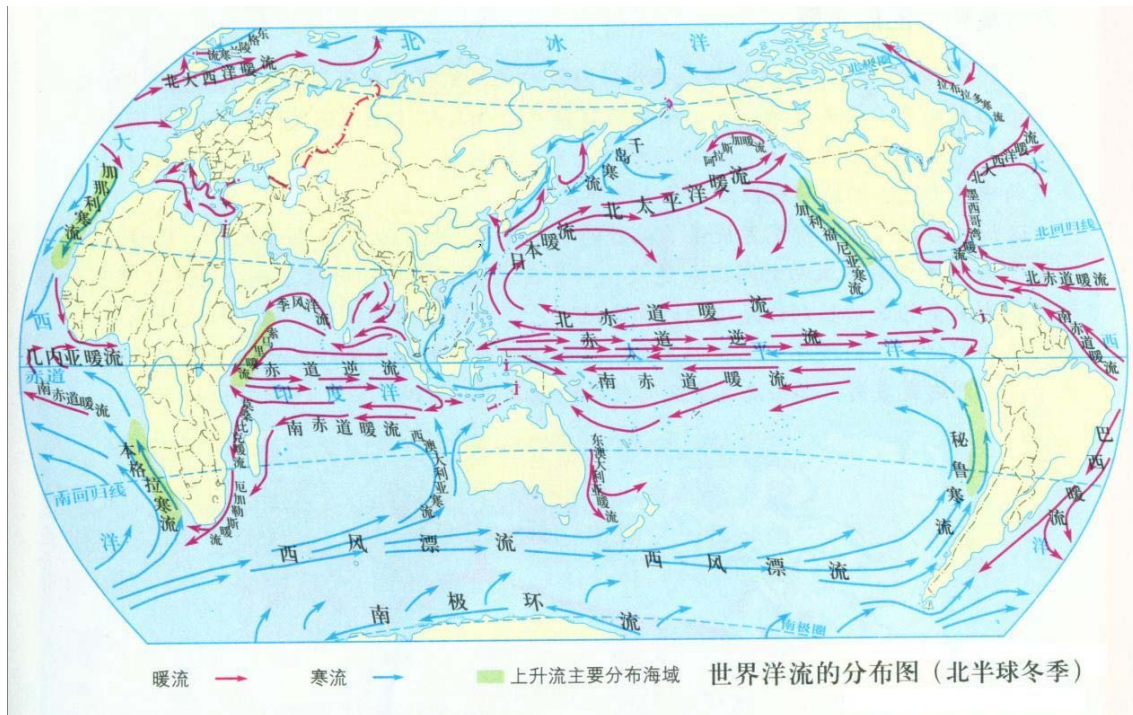


圖 4-1 全球主要洋流的分布

臺灣，位處北緯 21 度至 26 度間，為一海島，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與中國大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，海岸線含澎湖群島總長約 1,520 公里。有關臺灣海域之洋流特性，從以往的實測與研究成果(國科會海洋學門海洋資料庫；Hsin et al., 2008；莊 等，2012；廖 等，2011-2013)可知，較重要的洋流應屬黑潮主流及其支流。

黑潮(Kuroshio)又名臺灣海流，其係為來自赤道附近的暖流，亦是北太平洋中流速最強的海流。夏季表層水溫達 30℃；冬季水溫不低於 20℃。當其由赤道向北流至菲律賓之呂宋島海域後，受廣擴之巴士海峽海域及恒春海脊與海槽地形水深影響，主流將一分為二，其中之西

側主流，將在臺灣西南部海域，形成套流(loop currents)流態，且當其轉進南海海域後，一部分會沿著澎湖水道，穿過臺灣海峽，往北流動，此即為黑潮支流(Kuroshio branch)；另一部分則會在臺灣西南海域，藉套流所形成之順時針環流，繞過臺灣南部海岸，並於墾丁附近海域，與東側主流會合，而後，受東亞大陸棚架地形水深之影響，主流將沿臺灣東部海岸北上，接著，受蘇澳海脊阻隔，於流經彭佳嶼後，再彎曲而順東海之陸架緣，並朝位在東北向的日本海域流去。

在臺灣東部海域，黑潮主流之寬度約為 100~150 公里，主流中軸線距臺灣東岸約 50~150 公里，主流流速隨區域與季節而有所不同，主要介在 0.6~1.0 m/sec 之間，夏季流速並較冬季為快，最強之流速出現在接近臺灣東部海岸處，表面流速較大可達 1.0 m/sec，有時可高達 2.0 m/sec，惟流速會向東緩慢降低，於主流右側，甚且會有一反時針方向旋轉之向南大型渦流存在；主流由海面可向下伸延至 600 米深，在此深度之流速仍約可達 0.1~0.2 m/sec；在臺灣東部近海，黑潮海流可延展深至 200 米，流速則仍約可達 0.3 m/sec。值得一提的是，黑潮流經臺灣海域時，由於受到東亞大陸棚架地形的影響，在臺灣東南部近海及東北部外海海域，會引起湧昇流現象。

黑潮支流(Kuroshio branch) 為流經臺灣海峽海域的黑潮洋流，部分學者主張其為西南風吹送流，其流動特性因受季風之影響，一般可按季節不同而區分為兩種形態：自春末至秋初，由於西南季風盛行，位於臺灣南方之南海洋流與黑潮支流等兩股暖流，皆會流經整個臺灣海峽海域；而在冬季時，因東北季風盛行，因此，由東北風吹起的冷流會流入臺灣海峽北部，並與來自海峽南部的溫暖黑潮支流相遇於澎湖群島附近海域，然後再一起匯流進入中國南海。

臺灣海域之另一重要的洋流為親潮(Oyashio)，親潮又名中國沿岸流或千島寒流，其為起源於渤海與黃海北部之冷流。在冬季，因東北季風之吹拂，其會順沿中國大陸海岸南下，流入臺灣海峽後，將與黑潮支流相會於澎湖群島附近，而後會合流入南海；夏季時，因西南季風影響，黑潮支流較強勁，因此，親潮一般無法流向臺灣海峽海域。

此外，流經臺灣海域的洋流尚有南海洋流。此洋流的特性，在冬季時，由於強盛東北季風之阻攔，無法流入臺灣海峽；但在夏季時，由於西南季風之吹送，促使其北上並與臺灣海峽的黑潮支流匯合同流。因此，南海洋流又稱為西南季風吹送流。

有關臺灣海域年、季平均之實測與計算洋流之流態(國科會海洋學門海洋資料庫；Hsin et al., 2008；莊 等，2012；廖 等，2011-2013)，分別如圖 4-2 至圖 4-5 所示。從各計算所得之海流流態中觀察，可見黑潮主流及其支流與套流，分別明顯地陳現在臺灣東、西部海域及西南部海域。

4.1.2 臺灣海域之潮波與潮流

實際的潮波系統及其運動特徵，包括潮位的空間變化及潮波隨時間變化的傳播過程，一般可用同潮圖(cotidal chart)來充分加以描述。而同潮圖係由兩種不同的等值線所組成：其中一種是潮位的等振幅線(co-amplitude lines)，其係在某一特定海域空間之特定期間內(針對單一頻率之分潮，則為其週期)，聯結具有相同滿潮位的不同地點連線所組成，又因振幅(單一頻率分潮之滿潮位)的兩倍通常相當於潮差，故有時也用等潮差線(co-range lines)來代替等振幅線；另一種則是同潮時線(co-phase lines)，其係在某一特定海域空間之特定期間內，由聯結同時發生滿潮位的不同地點連線所組成。在某些特定之海域，當同潮時線具有會合點時，由於在會合點處，滿潮與乾潮的發生時間是不確定的，也就是說不存在滿潮和乾潮，或潮波振幅是近似於零，故而一般稱同潮時線的會合點為無潮點(amphidromic point)。

在臺灣鄰近海域，基於海峽、海脊、海槽及東亞大陸棚架等水深地形之影響與面對深邃太平洋之環境因素，因此，潮波系統實際上具有其個別的特殊性(莊、江，2000；林 等，2000；Lin et al., 2000；Juang et al., 2001；Jan et al., 2002、2004)。又基於真實潮波實際上應係由多個分潮潮波所複合組成，故莊、江(2006)即針對臺灣四周海域，結合綜合包括共 16 個主要分潮之 NAO(National Astronomical Observatory)潮汐

預報模式(Matsumoto et al., 2000)，應用水動力數值模式，據以建構真實旋轉潮波系統之同潮圖，如圖 4-6 所示。圖中，紅色實線表示同潮時線，潮時以圖左上標示之計算起始時間為參考基準；而黑實線表示同振幅線，振幅並以公尺為單位。

檢視圖 4-6 所示月大潮期間之同潮圖，首先，由同潮時線觀察可知，潮波自太平洋海域入射後，會先抵達臺灣東部海岸，然後受地形影響，潮波分別會旋轉而繞行臺灣北部及南部海岸，其中，繞行臺灣北部海岸的潮波，主要旋轉方向為逆時鐘方向，並在宜蘭頭城至淡水麟山鼻間的海岸，展現密集的同潮時線變化，而後即順沿臺灣海峽由北往西南行進；而繞行臺灣南部海岸的潮波，主要旋轉方向則為順時鐘方向，並在高雄至雲林東石間的西南部海岸，同樣亦展現密集的同潮時線變化，不過，其在繞行臺灣南部海岸後，總體上並未順沿臺灣海峽由南往北運行，反而在臺灣海峽的南端，即約在臺灣淺灘南側之東亞陸架陡變陸架坡上，即與繞行臺灣北部海岸而後向南行進的潮波相匯合，且在匯合海域的右側，即在澎湖與雲林東石以南至高雄之臺灣西南沿海，潮波的主要旋轉方向，與繞行臺灣北部海岸的潮波相同，依舊保持為逆時鐘方向。除此之外，真實潮波在臺灣南、北端海岸所具有的快速潮時變化的特性，亦可明確經由同潮時線而充分予以重現。其次，配合同潮時線，檢視同振幅線可知，在臺灣北部的基隆近海及在臺灣海峽南端的臺灣淺灘南側海域，明顯可見潮波振幅甚小的兩個近似無潮點。另外，在南、北兩無潮點連線之臺灣海峽縱剖面上，潮波振幅的分布不僅明顯具有駐波的特質，其振幅尚且呈現潮波系統主要由北往南行進的凱文波(Kelvin wave)特性，亦即順沿行進方向右側(海峽左側)的潮波振幅，將普遍大於左側(海峽右側)。

潮流為潮波運動所引致的水體流動。針對臺灣海域，相對於圖 4-6 所示之同潮圖，莊、江(2006)應用水動力數值模式，經模擬計算所得隨潮位變化之潮流流場，如圖 4-7 所示。圖中，以臺中港驗潮站之計算逐時潮位為參考基準；流場內之流速大小及流向，係以箭矢長短及指向表示；而海面水位變化，則以參考色階之深淺陳現。

隨潮位之時序變化，觀察圖 4-7 可知，臺灣海域內之潮流，由於潮波整體之波動，在臺灣海峽南、北兩端海域，分別陳現近似部分重複駐波節點(node)；而在中段海域，陳現近似部分重複駐波腹點(anti-node)之振盪波形，故而當臺中港驗潮站在漲潮期間，分別於臺灣東北部與西南部近海，潮流皆會陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而當臺中港驗潮站在退潮期間，潮流相對亦會展現自臺灣海峽中段海域分別向臺灣東北部與西南部近海輻散流出之較強流速。漲、退潮期間之近岸較強潮流流速，最大可達約 0.5 m/s，而流向明顯皆有順沿臺灣環島海岸作往復流動之特性。此外，在臺灣海峽之中段海域內，不論臺中港驗潮站之潮位高、低或在任何漲、退潮期間，臺中港近海之潮流，其流速一般均甚微弱，流向順沿海岸作往復流動之特性不明顯，不過，當潮位在近滿潮之前、後期間，在臺灣海峽中段海域內的潮流，流向將會陳現均一向南之較大流速。

4.1.3 臺灣主要商港外廓海域之海流

在臺灣近岸海域，依據本所港研中心 2010 年分別在蘇澳港、花蓮港、基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港等 7 大主要商港口外廓海域設置海象測站並進行長期海流浪監測之結果(曾 等，2011；蘇 等，2011)，綜合可得近岸海流之分月集散圖(scatter diagram)，分別如圖 4-8 所示，簡要特性如下：

- (1) 蘇澳港港口外廓海域：海象測站位於港口外海 700 公尺水深 25 米處，實測海流分月集散圖顯示：海流流速一般小於 0.5 m/s，全年各分月之海流特性變化不大，惟春(3~5 月)、夏(6~8 月)季與秋(9~11 月)、冬(12~2 月)季略有不同，全年各季流向約以西南及北北東向為主，而在秋、冬季，部分流向會陳現東南之離岸方向，可見，近岸海流除了具有主流向陳現往復且順沿海岸之潮流效應外，亦應包含有局部近岸地形與港口外廓防波堤之影響及風趨流與洋流之效應。
- (2) 花蓮港港口外廓海域：海象測站位於港口東防波堤南方 380 公尺，

水深 33 米處，實測海流分月集散圖顯示：海流特性於全年冬(12~2 月)、春(3~5 月)季與夏(6~8 月)、秋(9~11 月)季略有不同，夏、秋季之流速普遍大於冬、春季，惟流速不大，一般仍不及 0.5 m/s，主流向較不明確，惟沿海岸方向具往復流動特性之潮流，仍可見流向以東北及西南向為主要，故近岸海流除了陳現潮流效應外，也應綜合包含局部近岸地形與港口外廓防波堤之影響及風趨流與洋流之效應。

- (3) 基隆港港口外廓海域：海象測站位於西防波堤外海 600 公尺水深 36 米處，實測海流分月集散圖顯示：海流全年各分月之特性變化不大，流向約以西南及東向為主，流速一般小於 0.5 m/s，另外，基於海流所陳現順沿海岸之往復流動特性，故近岸海流除了應考量潮流效應外，尚應綜合包含局部近岸地形與港口外廓防波堤之影響及風趨流與洋流之效應。
- (4) 臺北港港口外廓海域：海象測站位於港外之觀測樁上，實測海流分月集散圖顯示：海流全年各分月之特性變化不大，流向全年皆以西南及東北向之往復變動為主，且以東北流向較優勢，流速一般約小於 0.7 m/s，且東北向之流速略大於西南向，故存在東北向之優勢海流。基於海流之顯著往復流動特性，故近岸海流除了主要陳現流向順沿海岸之潮流效應外，尚應綜合考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤之影響並包含風趨流與洋流之效應。
- (5) 臺中港港口外廓海域：海象測站位於北防波堤堤頭外 570 公尺，水深 23 米處，實測海流分月集散圖顯示：海流特性於全年春(3~5 月)、夏(6~8 月)季與秋(9~11 月)、冬(12~2 月)季明顯不同，秋、冬季之流速普遍大於春、夏季，秋、冬季之較大流速可達 1.0 m/s，流向以西南及東北之往復變動為主，且以西南向較優勢，而在春、夏季，流速一般僅約 0.5 m/s，且明顯可見有北北東向之優勢海流陳現，故近岸海流除了陳現主流向順沿海岸之潮流效應外，尚應綜合考量局部近岸地形與港口外廓防波堤之影響並包含風趨流與洋流之效應。

- (6) 安平港港口外廓海域：海象測站位於港外觀測樁水下 5 米處，實測海流分月集散圖顯示：海流全年分季之特性略有微小變化，夏(6~8 月)、秋(9~11 月)季之流速略大於冬(12~2 月)、春(3~5 月)季，其中，夏、秋季之較大流速可達 1.0 m/s，而冬、春季之流速一般不及 0.5 m/s，流向各季變化較不穩定，惟流向約仍以順沿海岸之西北及東南為主。基於本海域海流之往復流動特性並不特別顯著，故近岸海流除了陳現主流向順沿海岸之潮流效應外，尚應綜合考量局部近岸地形與港口外廓防波堤之影響及風趨流與洋流之效應。
- (7) 高雄港港口外廓海域：海象測站位於第二港口西南外海約 700 公尺，水深 18 米處，實測海流分月集散圖顯示：海流特性於全年冬(12~2 月)、春(3~5 月)季與夏(6~8 月)、秋(9~11 月)季略有差異，夏、秋季之流速普遍大於冬、春季，較大流速可達 1.0 m/s，主流向全年以東南及西北向為主，惟西北向略比東南向具優勢，儘管如此，沿海岸方向具往復流動之潮流特性仍甚顯著，故近岸海流受局部近岸地形、港口外廓防波堤及風趨流之影響應甚有限，因此，高雄港近岸海域，除了陳現主要的潮流效應外，尚應綜合局部近岸地形與港口外廓防波堤之影響並含括流速及流向皆甚穩定之洋流效應。

4.2 海流模擬之計算海域範圍與巢狀格網建構

如第二章及前節內文所述，臺灣海域的大尺度海流，主要包括黑潮洋流、潮流、及潮殘餘流等構成成分。其中，就具有恆常流速大小及穩定流向特性之洋流而論，其原始之驅動水動力，通常即來自大尺度之海面風力及海中之溫、鹽梯度差異。因此，為有效準確地模擬計算臺灣海域的海流、正確地取得模擬計算海域之邊界條件，依據本研究先前之系列研究經驗與成果(廖 等, 2010-2013; 莊、廖, 2010; 2011)，首先，必須建構如圖 4-9 至圖 4-12 所示之全球海域(G1)、西北太平洋海域(N2)、東亞海域(T3-1)及臺灣海域(T3)等四層不同計算海域範圍之

巢狀格網架構，然後，從全球海域之洋流模擬開始，利用巢狀格網套疊之計算方式，逐步縮小計算範圍，提高計算海域網格之時、空解析度，藉以準確設定邊界條件並詳細考量區域局部性地形水深之影響。

在圖 4-9 至圖 4-12 所示之全球海域(G1)、西北太平洋海域(N2)、東亞海域(T3-1)及臺灣海域(T3)等四層不同計算海域範圍之巢狀格網架構中，第一層全球海域(G1)格網，其計算海域範圍(圖 4-9)，南至南極洲，北至北緯 70 度，東、西向邊界，以週期性經度相互聯結接合，格網解析度為 $1/4^{\circ}$ ，即約 25 公里；第二層西北太平洋海域(N2)格網，其計算海域範圍(圖 4-10)，南起北緯 2 度、北至北緯 45 度；東、西向涵蓋東經 99 度至 149 度，格網解析度為 $1/25^{\circ}$ ，即約為 4.5 公里，主要範圍涵括黑潮洋流起源之西北太平洋海域；第三層東亞海域(T3-1)格網，其計算海域範圍(圖 4-11)涵蓋東經 116 度至 128 度、北緯 16 度至 41.3 度，格網解析度為 $1/32^{\circ}$ ，即約為 3 公里，主要範圍包括東海與南海，用以充分考量東亞大陸棚架地形水深之影響，並準確的模擬計算潮波與潮流，以上三層巢狀格網之計算海域範圍，其地形水深主要係依據具有 $1.0'$ 或 $1/60^{\circ}$ 空間解析度之 ETOPO1 資料庫(表 3-7)而建置，至於，第四層臺灣海域(T3)格網，其計算海域範圍(圖 4-12)，涵括東經 117 度至 124.5 度、北緯 18 度至 26.5 度，格網解析度為 $1/50^{\circ}$ ，即約為 2.2 公里，主要範圍含括臺灣環島海域，並應用國科會海洋學門具有 500 公尺空間解析度之海洋地形水深資料庫(表 3-10)，藉以詳實地陳現大尺度的水下地形與水深。

4.3 巢狀格網架構之邊界條件處理

基於洋流流動之大尺度特性與既有海氣象資料庫時空解析度之限制，利用巢狀格網海域逐步縮小計算範圍，提高空間解析度，實為現階段在有限計算資源之下獲得高精度模擬結果之最佳方式。在巢狀格網海域配置架構下，巢狀子層格網邊界之水動力邊界條件設定，均直接自母層格網中萃取後應用，如圖 4-13 所示。而為巢狀格網母、子層聯結區域之邊界條件聯結，本研究將其區分為邊界處與邊界緩衝區等

兩種條件，如圖 4-14 所示，圖中，最外部黑色方框為巢狀母層格網範圍，紅色方框為巢狀子層格網邊界，子層格網邊界內部之格紋範圍為邊界緩衝區。在巢狀格網母、子層邊界聯結海域，為避免因空間格網解析度差異所造成水深與相關物理變量之不連續或不符合性，因此，依據線性淺水波理論，將子層格網邊界之入流流速邊界條件，以上層母格網模式之內插計算水位及流速值，配合子格網邊界之水深 H 及水位 η ，作如下之調整修正：

$$\bar{U}_n = \bar{U}_n^0 + \sqrt{\frac{g}{H}}(\eta - \eta^0) \dots\dots\dots (4-1)$$

式中， $\bar{U}_n^0$ 、 η^0 分別為上層母格網模式於下層子格網邊界處法線方向之流速及水位內插值； $\bar{U}_n$ 、 η 分別為子格網邊界處之法線方向流速及水位。至於，邊界聯結處之溫、鹽邊界值以及邊界緩衝區內部之流速，則採用下列之推進(nudging)方式修訂：

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

式中， ϕ 可分別代表溫度(T)、鹽度(S)、及流速(U ， V)；下標 i 表示距離子格網邊界處之第 i 格點；上標 0 表示上層母格網模式於下層子格網之格點位置處之內插值； Δx_i 為第 i 格點至邊界之距離； L_{nest} 為緩衝區總寬度。本研究中，緩衝區之格點層數在各巢狀格網計算海域範圍均設定為 10。

4.4 模擬計算之時空參數設定

本研究應用巢狀格網架構進行各分層計算海域之洋流模擬計算時，其格網空間解析度與內、外模式對應之時間間距設定，分別如表 4-1 中所示。

在計算海域內及邊界驅動條件方面，配合海面風力、氣壓、溫度、與鹽度等海氣象通量邊界條件之應用，本研究採用表 3-1 所示具較高時

空解析度之 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的 6 小時平均海氣象資料庫作相關設定。總體應用的海氣象資料庫、計算起迄時間，巢狀邊界更新時間、及潮位邊界依據，綜合整理如表 4-2 所示。至於模式計算所需之參數，則以表 4-3 所列之設定值進行模擬。

表 4-1 巢狀格網計算海域範圍與計算條件

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

表 4-2 巢狀格網計算海域不同時空解析度之海氣象資料庫應用

模式	地形水深	海面海氣象 通量邊界條件	計算起迄 時間	巢狀邊界 更新時間	潮位邊界
G1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 6 小時平均	1981/01/01 ~ 2010/12/31	無	無
N2	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 6 小時平均	1981/01/01 ~ 2010/12/31	日平均	無
T3-1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 6 小時平均	2008/01/01 ~ 2010/12/31	日平均	NAO99
T3	國科會海洋 資料庫	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 6 小時平均	1981/01/01 ~ 2010/12/31	日平均	NAO99

表 4-3 POM 模式之重要計算參數設定

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	tpni	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
cbcmn	0.0025	最小底床摩擦係數	nbct	1	海面溫度邊界條件型式
cbcmx	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	kb	21	計算海域內水深方向之分層數

4.5 臺灣海域大尺度海流之模擬計算

4.5.1 黑潮洋流之模擬計算

基於表 4-1 所示之巢狀格網架構，參考表 4-2 所列之海氣象資料庫與計算起迄時間及計算條件，應用表 4-3 所示之計算參數設定 POM 模式，經模擬計算後，臺灣海域之黑潮洋流，在 1991 年至 2009 年間，其於 20 米等水深層之表層年平均流場，可得如圖 4-15 所示。圖中，流速大小與流向，除了以箭矢長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示。

觀察圖 4-15 可見，受海面風力與氣壓作用，包含海洋溫、鹽傳輸

對流擴散效應，自赤道海域發展、通過臺灣海域、且沿東亞陸架棚邊緣流動之黑潮洋流流場，已具體清晰陳現。另外，在呂宋島北部、於巴士海峽與南海海域之黑潮入侵(intrusion)與套流(loop currents)現象，亦甚清楚明顯。

與臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層之年平均黑潮洋流流場相對應，相關海域的年平均海溫與鹽度變化，分別如圖 4-16 及圖 4-17 所示。圖中，流速大小與流向，以箭矢長短及指向陳現；海溫與鹽度之高低，則分別以各圖下之參考色階深淺表示。由圖 4-16 及圖 4-17 綜合觀察可知，因黑潮洋流為源自赤道之暖流，故其主流及其支流與套流所經過之海域，海溫普遍皆較鄰近海域為高，所以，在呂宋島東部及臺灣東部海域，甚至在巴士海峽與南海海域，均明顯可見海溫偏高之海域。

再就季節之流場變動特性而論，在春(March-April-May)、夏(June-July-August)、秋(September-October-November)、冬(December-January-February)季，於 20 米水深內之表層季平均流場，可綜整如圖 4-18 所示。圖中，流速大小與流向，除了以箭矢長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示。由圖觀察可知，通過臺灣東部海域的黑潮洋流，四季均甚強盛，惟夏季比冬季明顯具有較強流速。此外，在巴士海峽與南海海域之黑潮入侵與套流現象，僅管強弱略有差別，但四季均存在，並以秋、冬兩季較明顯。

至於臺灣海域經模擬計算所得洋流之年、月、季變動特性驗證，經與國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odp.ntu.edu.tw/adcp/>)之平面與斷面實測海流分析資料、國際海表面浮標追蹤計畫(AOML)之浮標軌跡紀錄、或往昔相關之研究成果(Tang et al., 2000；王，2002；詹，2002；劉，2002；Wang et al., 2004；Wu et al., 2005-2007；張 等，2006；盧 等，2007；Hsin et al., 2008；林、張，2010)作對照比較，均可見其總體特性具有一致之相似性。詳細準確性之驗證比較，可參見本研究先期之系列研究報告(莊、廖，2010-2012；廖 等，2010-2013)。

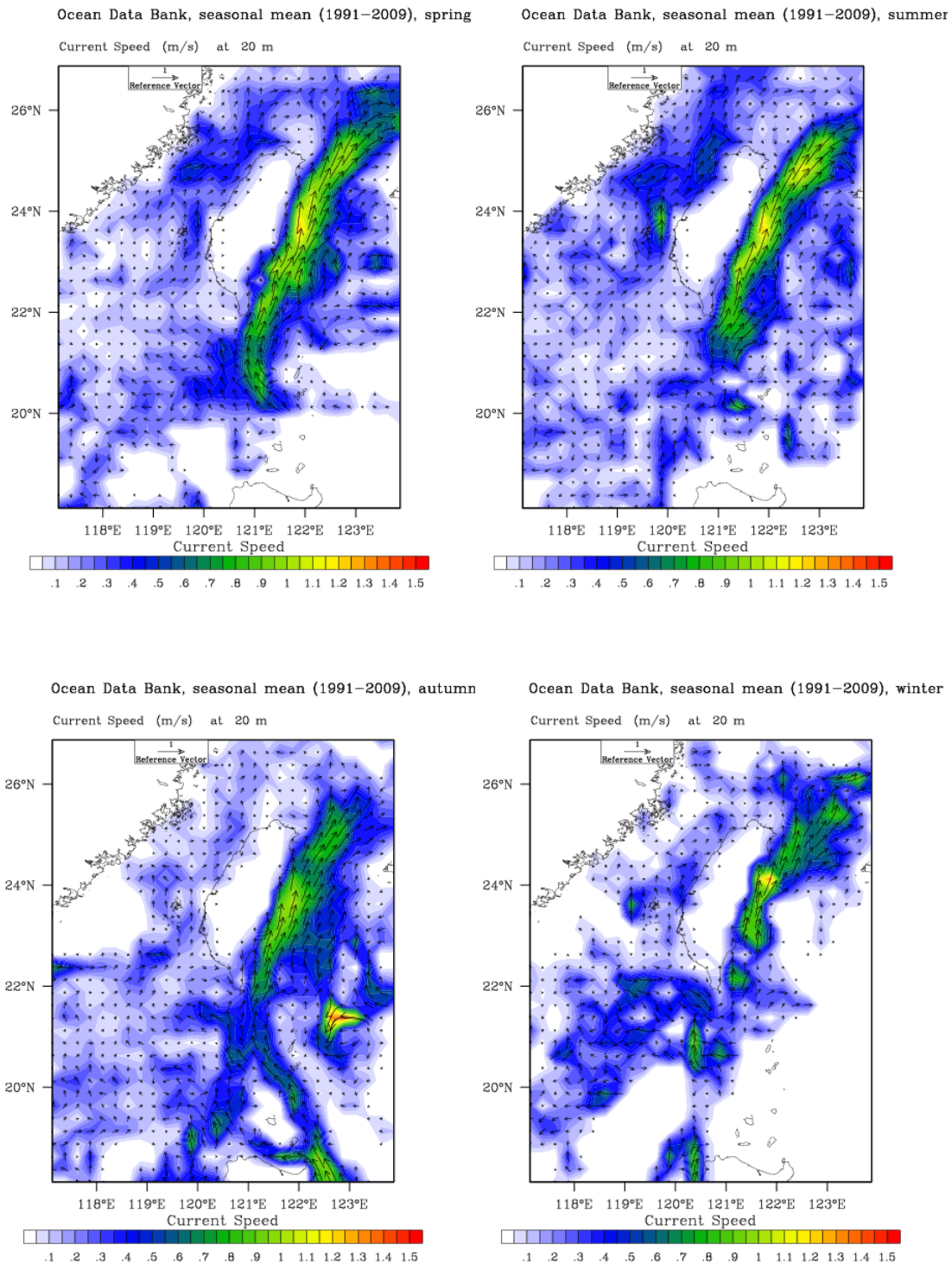


圖 4-2 臺灣四周海域春季(上左)、夏季(上右)、秋季(下左)、冬季(下右)
表層實測之季平均海流流場(國科會海洋學門海洋資料庫)

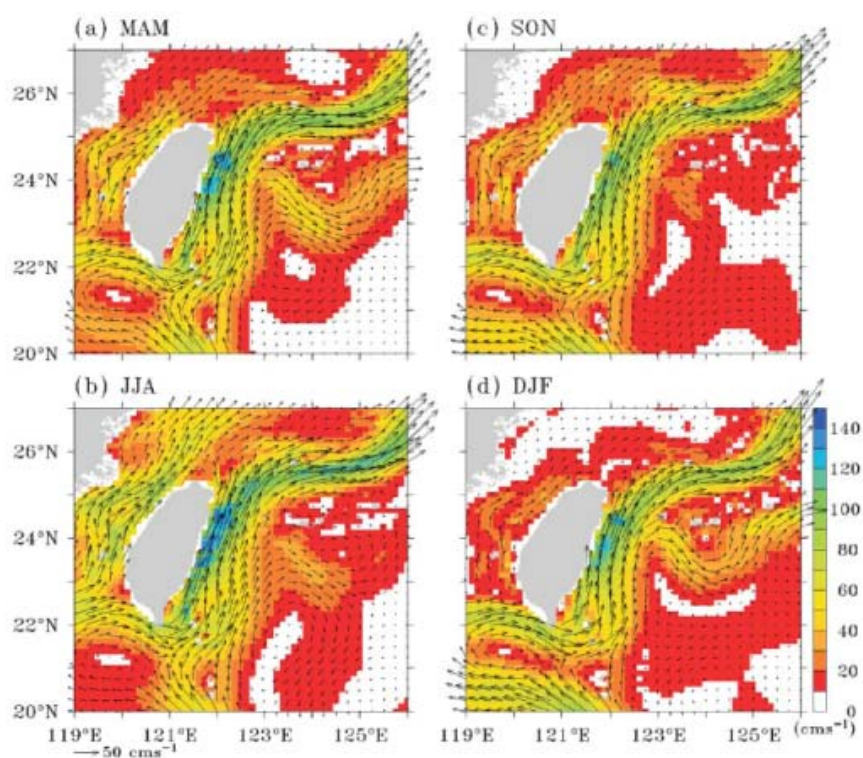


圖 4-3 臺灣海域 0 至 200 米等水深層 1982 至 2005 年間春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)之季平均計算流場流態(Hsin et al., 2008)

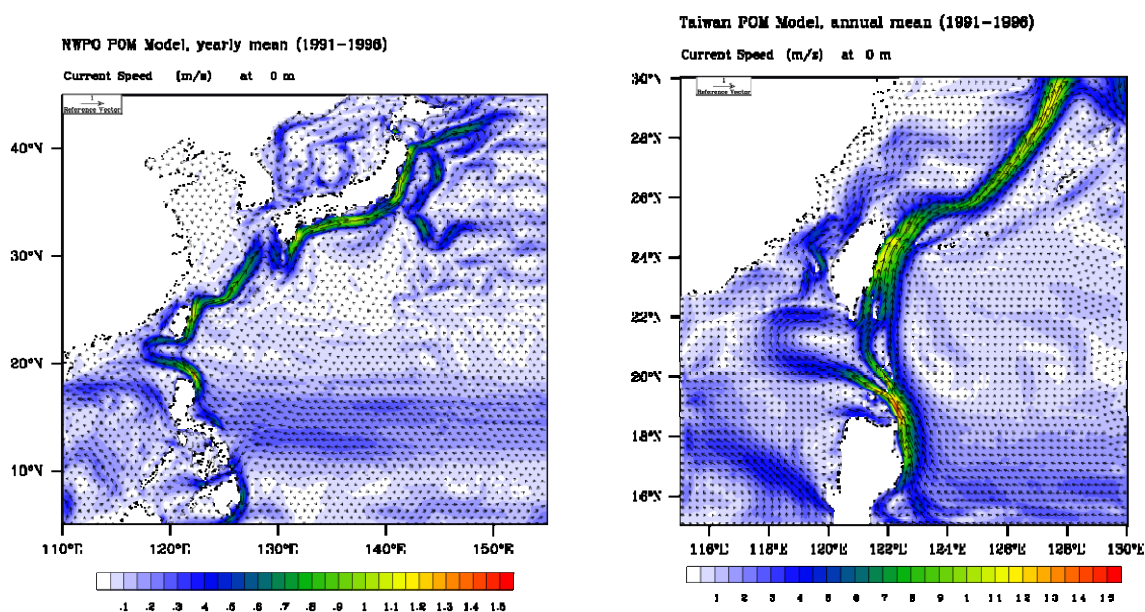


圖 4-4 西北太平洋(左)及臺灣四周(右)海域自 1991 年至 1996 年之年平均海表面計算海流流場(廖 等，2010-2013)

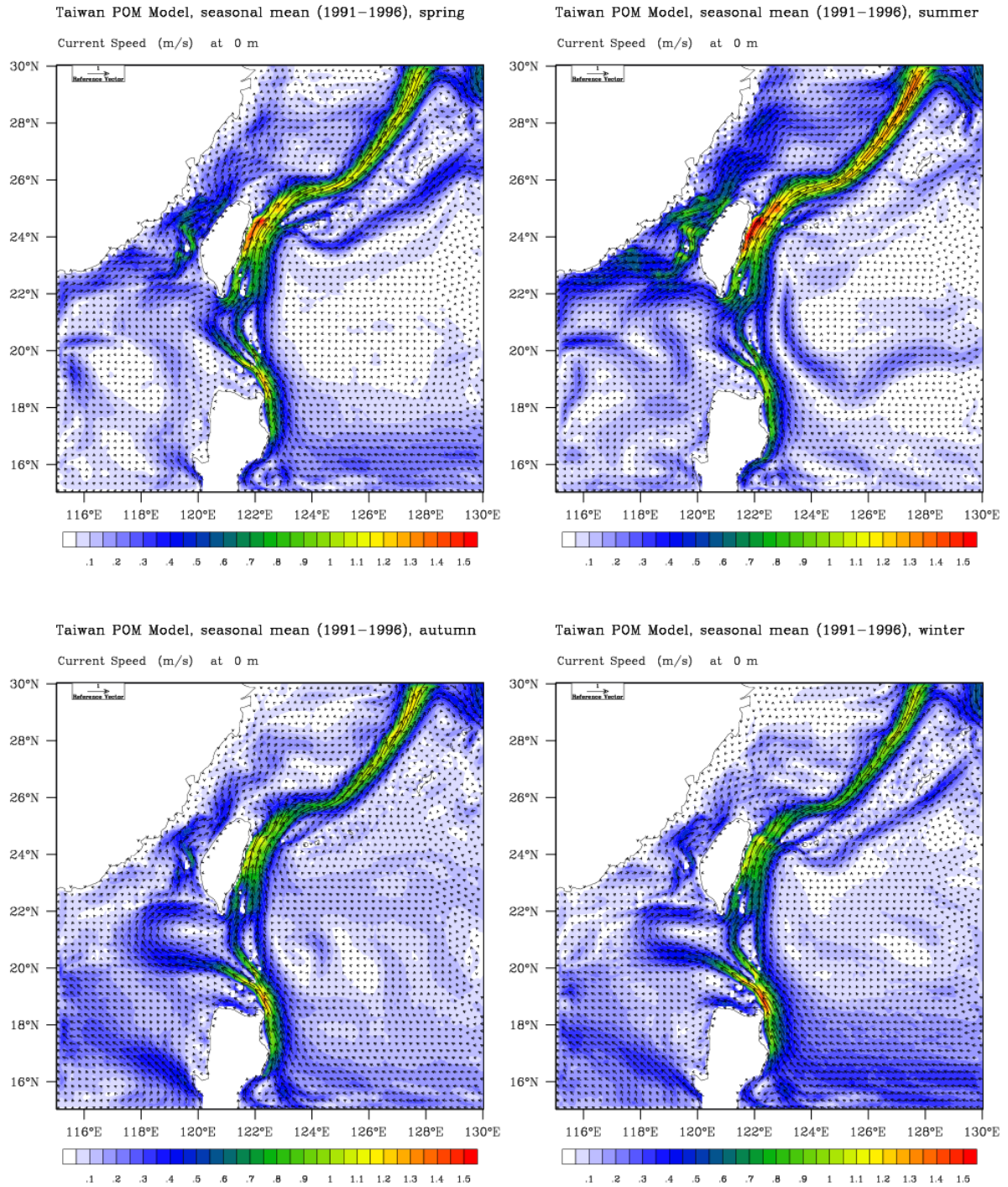


圖 4-5 臺灣四周計算海域自 1991 年至 1996 年之春季(M-A-M)(上左)與夏季(J-J-A)(上右)及秋季(S-O-N)(下左)與冬季(D-J-F)(下右)之季平均海表面計算海流流場(廖 等，2010-2013)

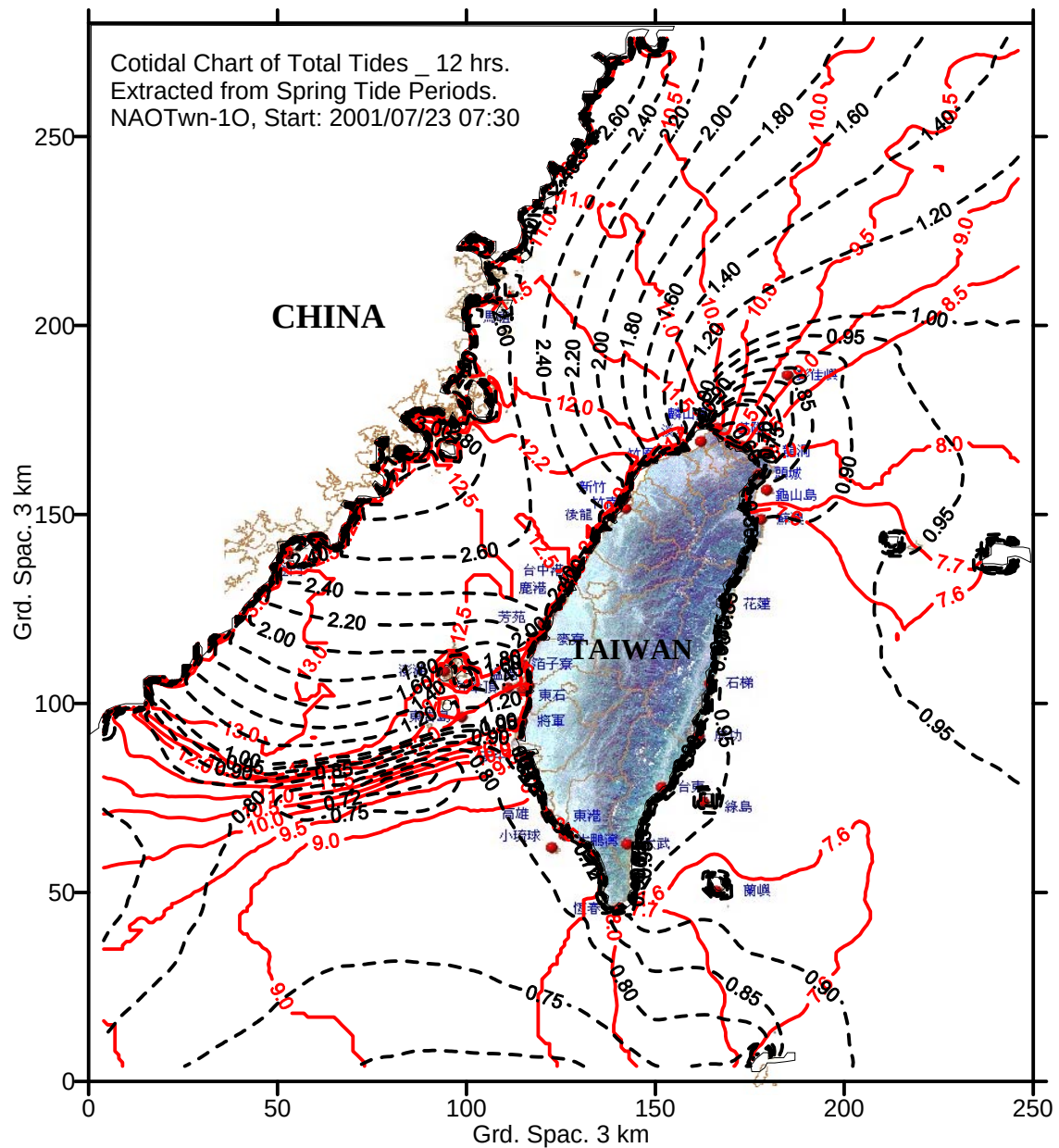


圖 4-6 臺灣四周海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖(黑：同振幅線；
紅：同潮時線)(莊、江，2006)

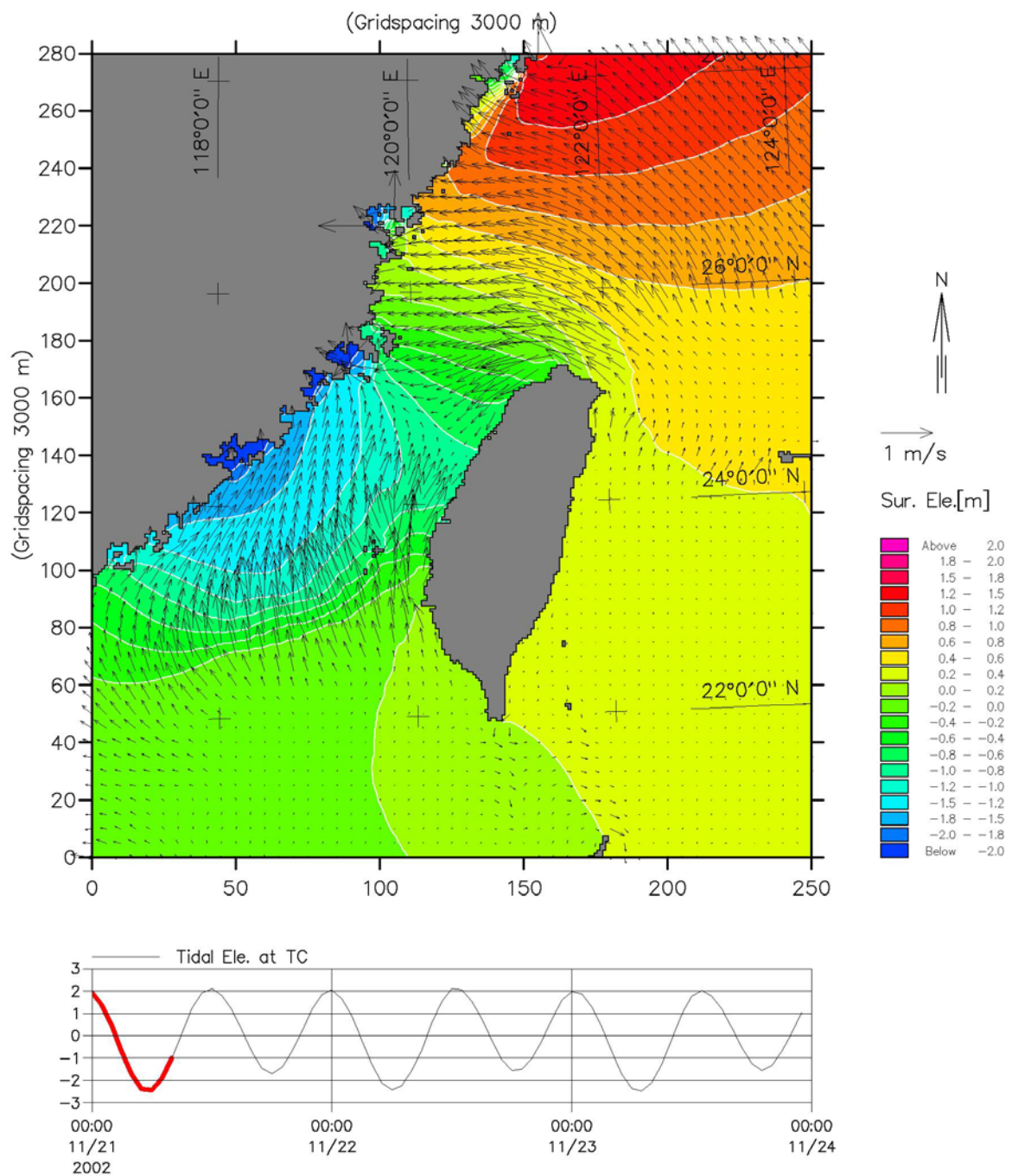


圖 4-7 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港乾潮後漲潮，2002/11/21 08:00)

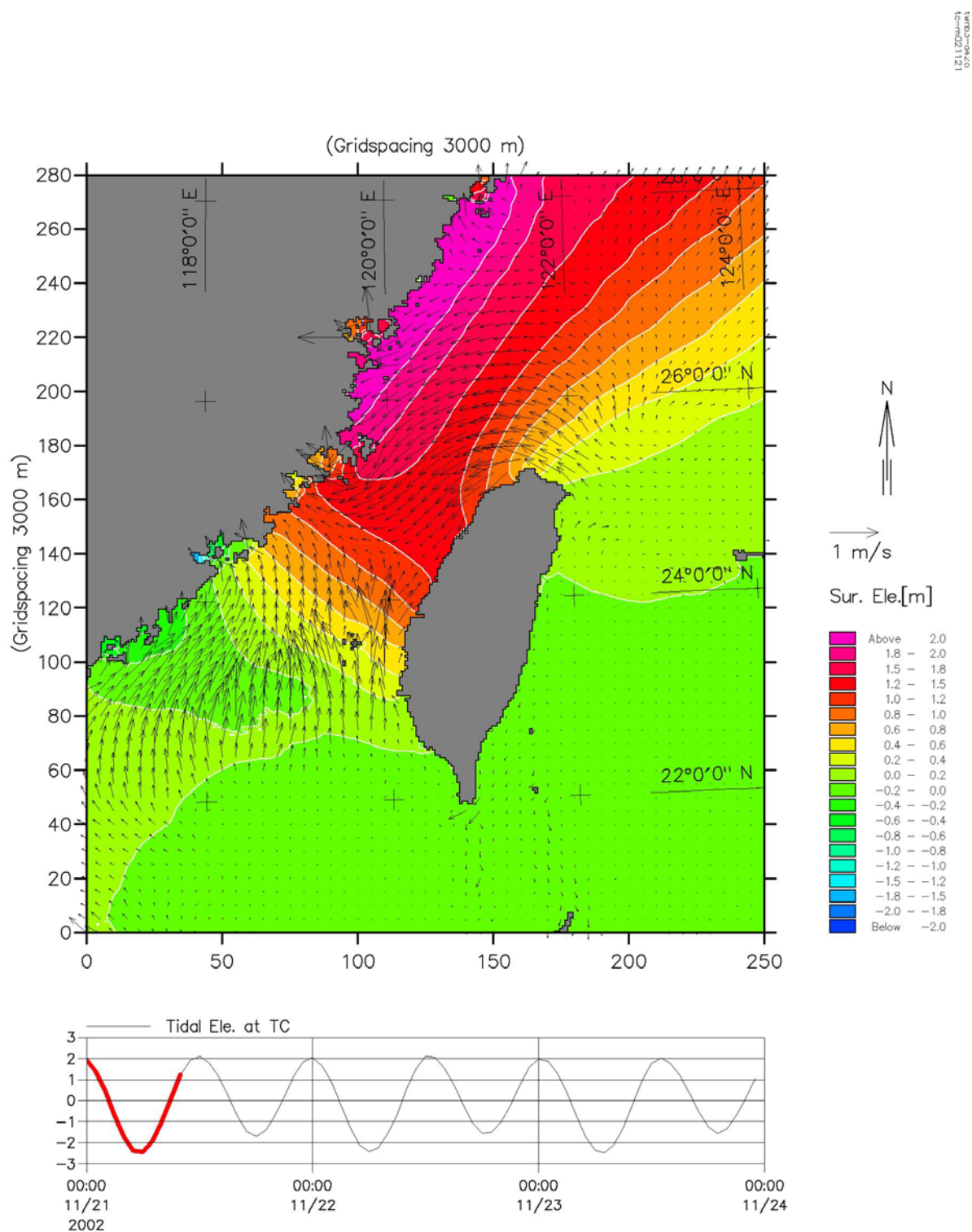


圖 4-7(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:
台中港漲潮期近滿潮, 2002/11/21 10:00)

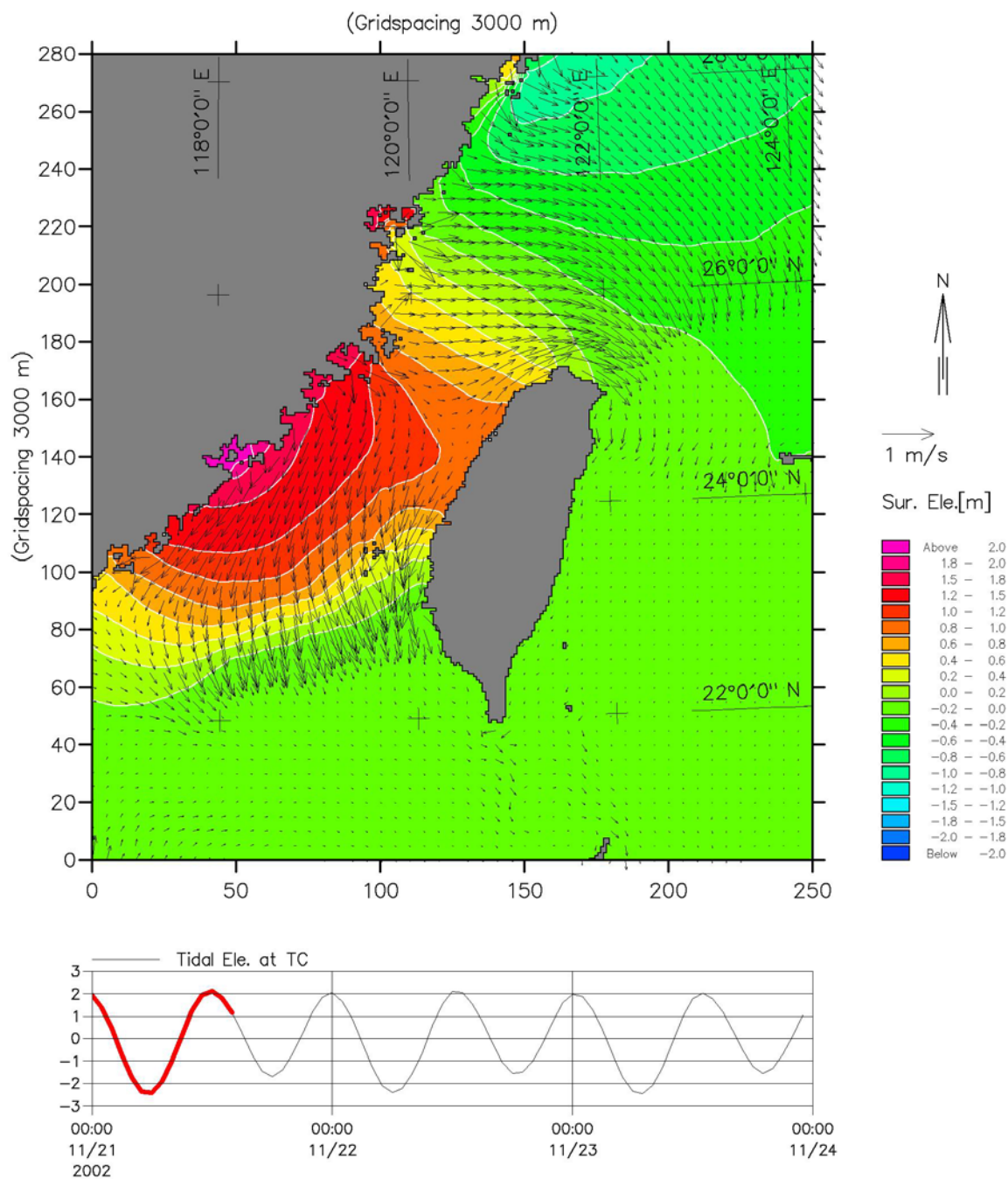


圖 4-7(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港滿潮後退潮, 2002/11/21 14:00)

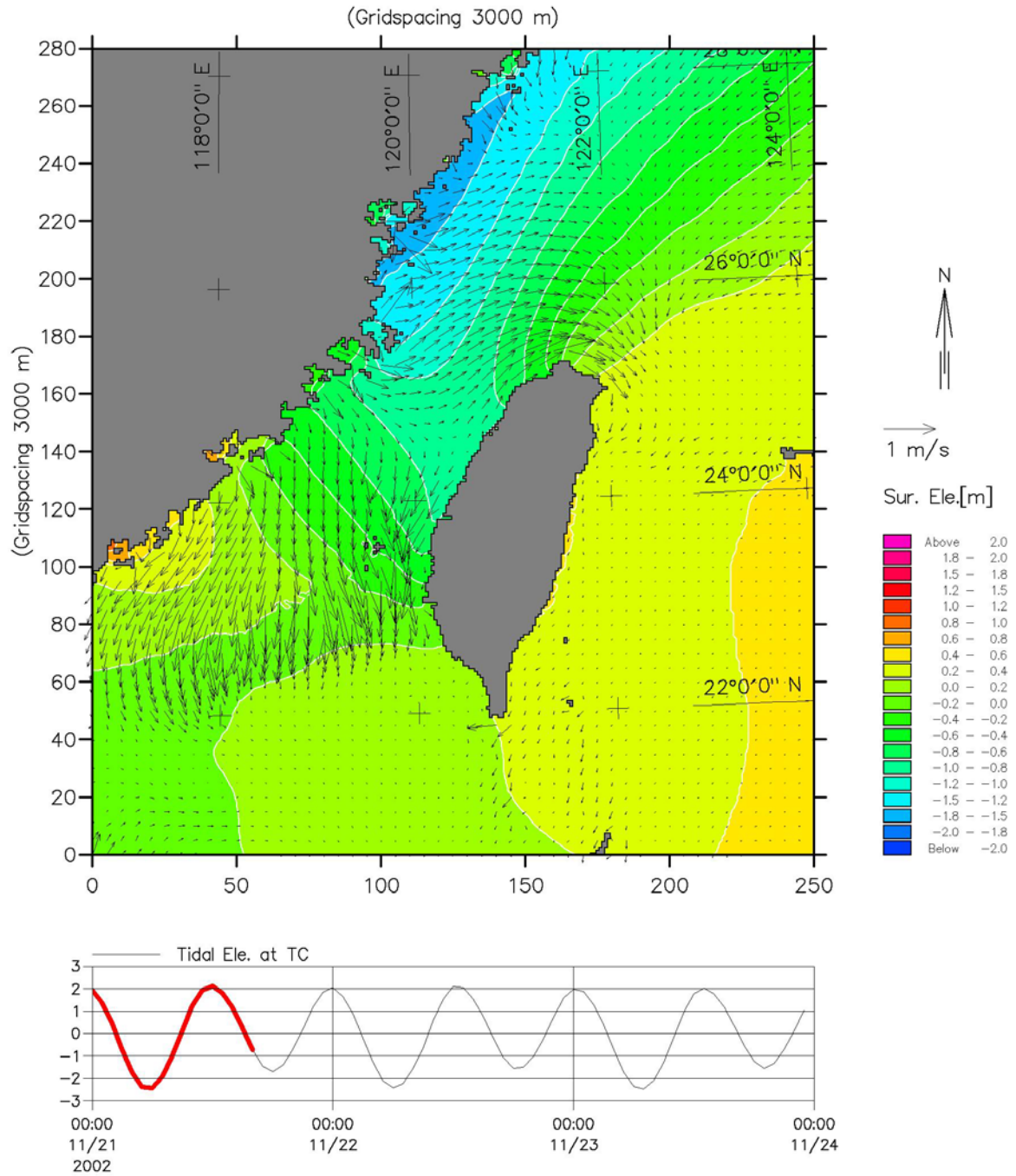


圖 4-7(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:
台中港退潮期近乾潮，2002/11/21 16:00)

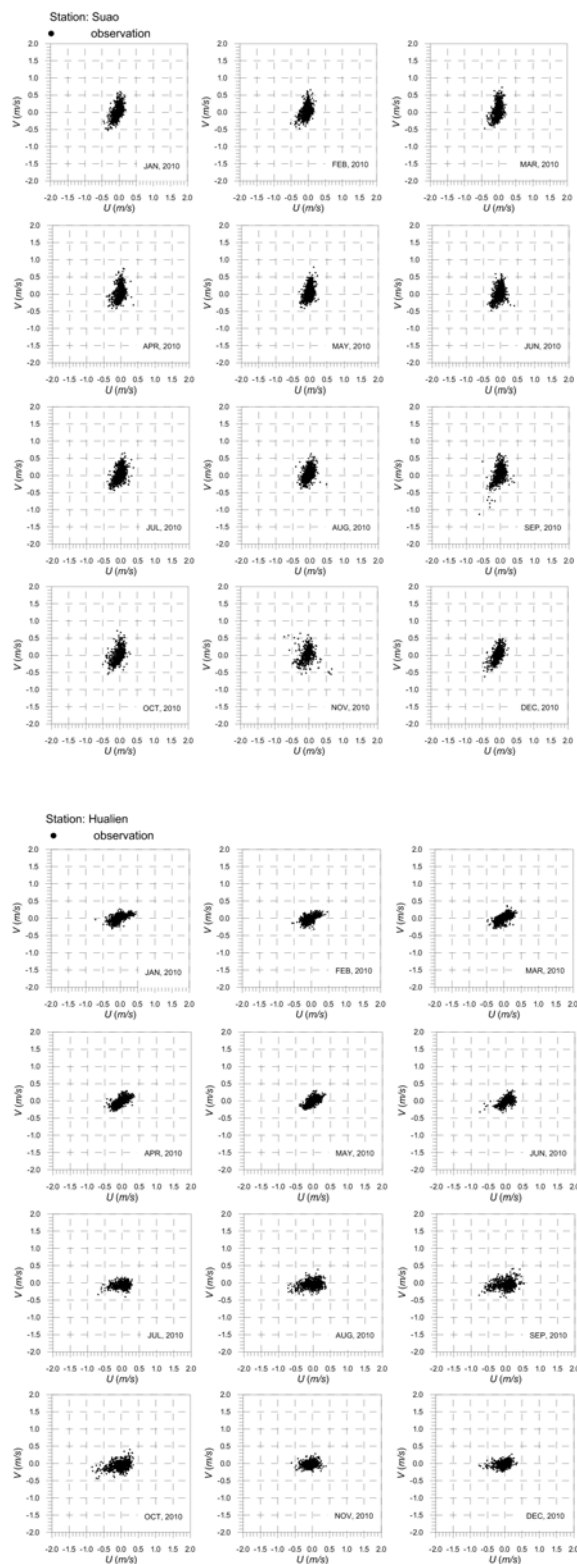


圖 4-8 蘇澳港(上)與花蓮港(下)2010 年實測海流之分月集散圖

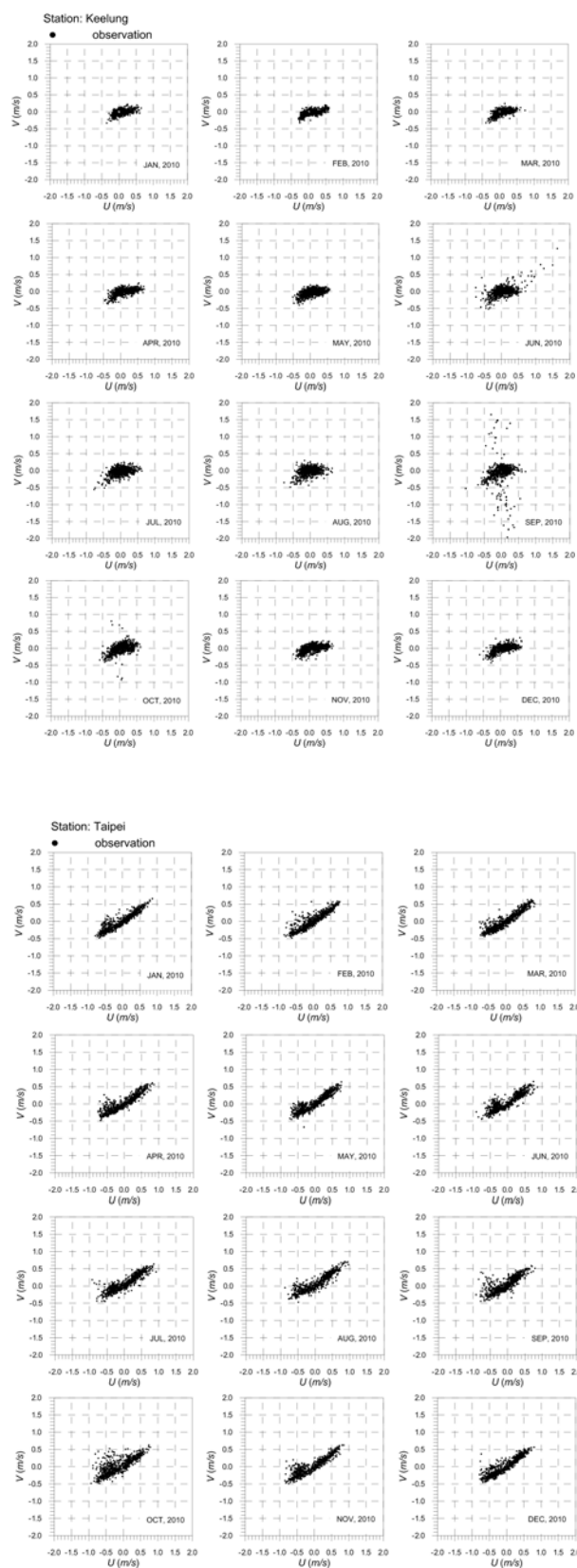


圖 4-8(續) 基隆港(上)與臺北港(下)2010 年實測海流之分月集散圖

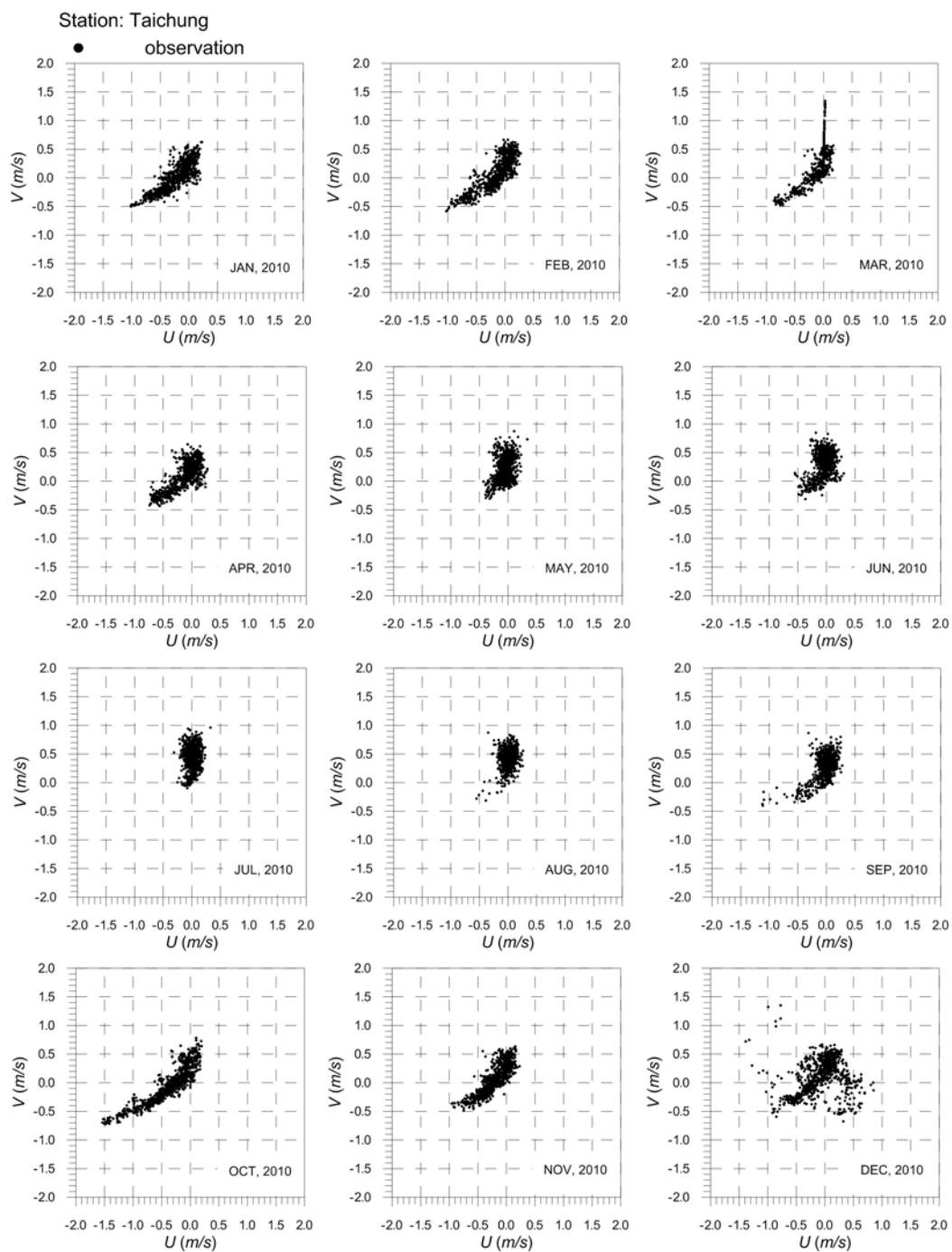


圖 4-8(續) 臺中港 2010 年實測海流之分月集散圖

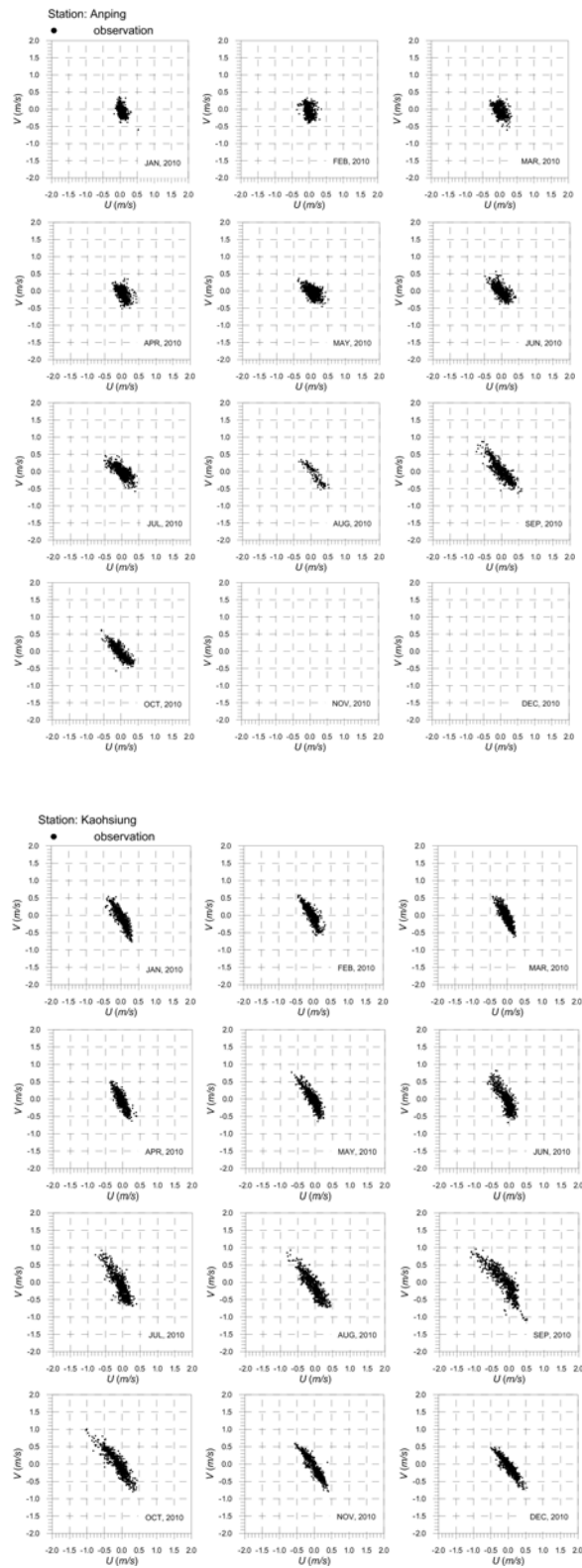


圖 4-8(續) 安平港(上)與高雄港(下)2010 年實測海流之分月集散圖

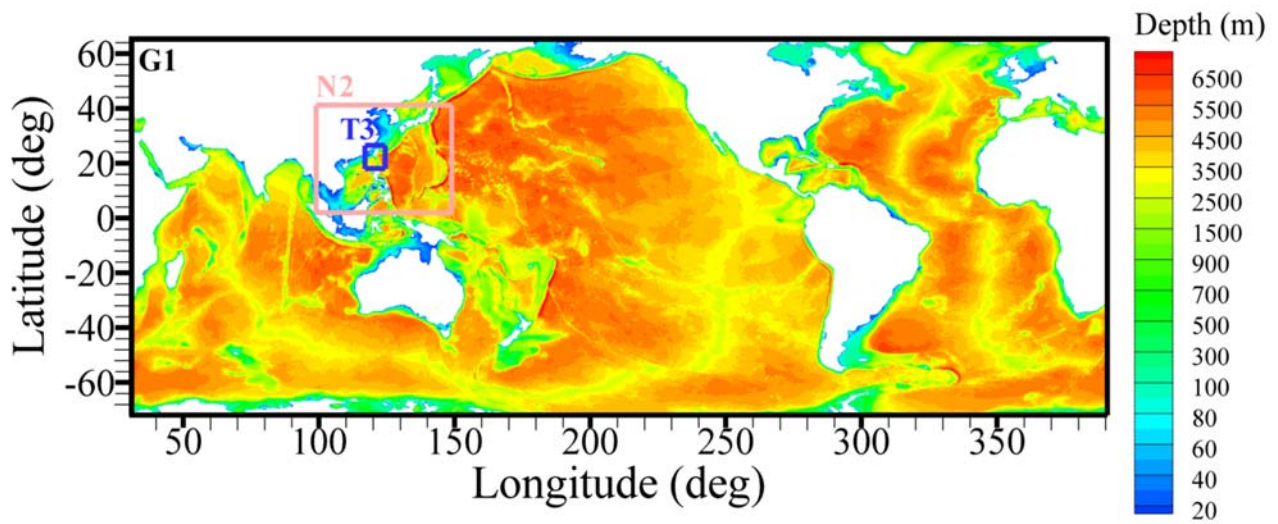


圖 4-9 全球海域(G1)之計算範圍與地形水深

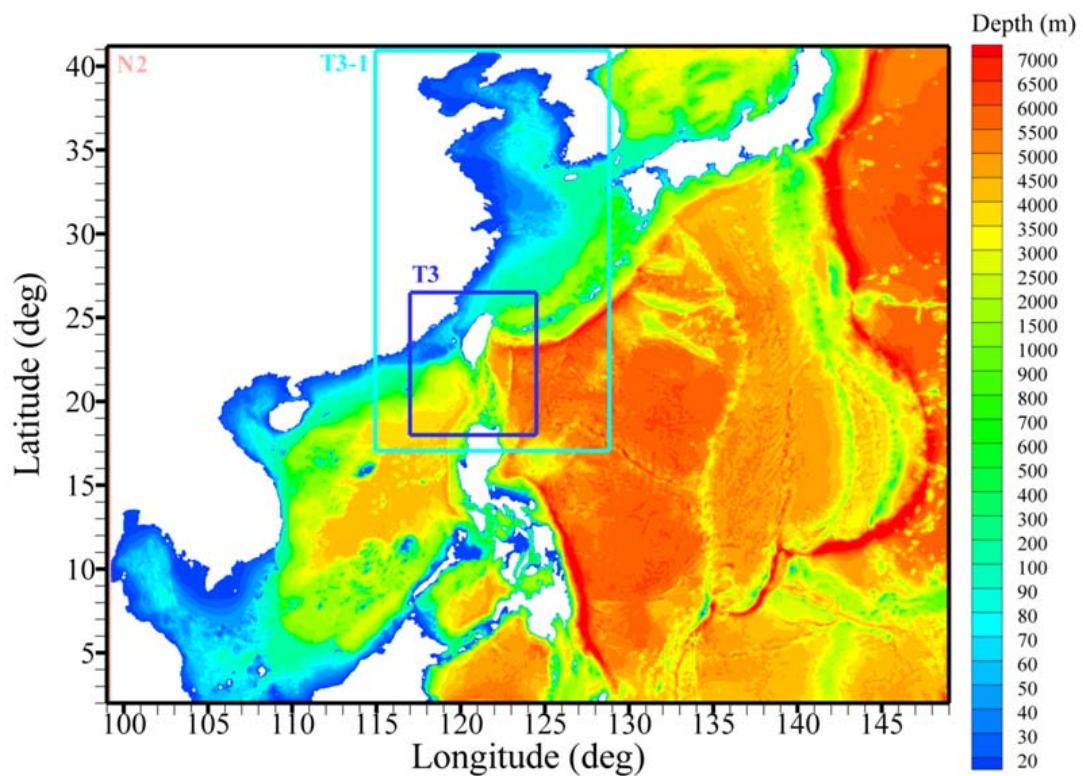


圖 4-10 西北太平洋海域(N2)之計算範圍與地形水深

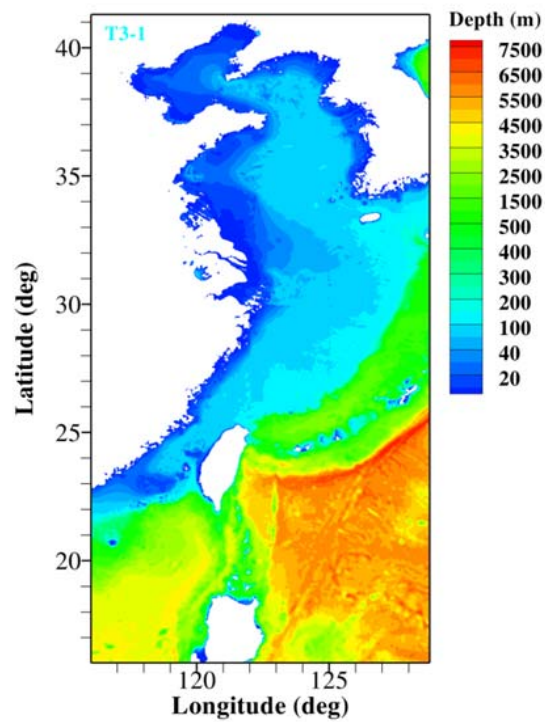


圖 4-11 東亞海域(T3-1)之計算範圍與地形水深

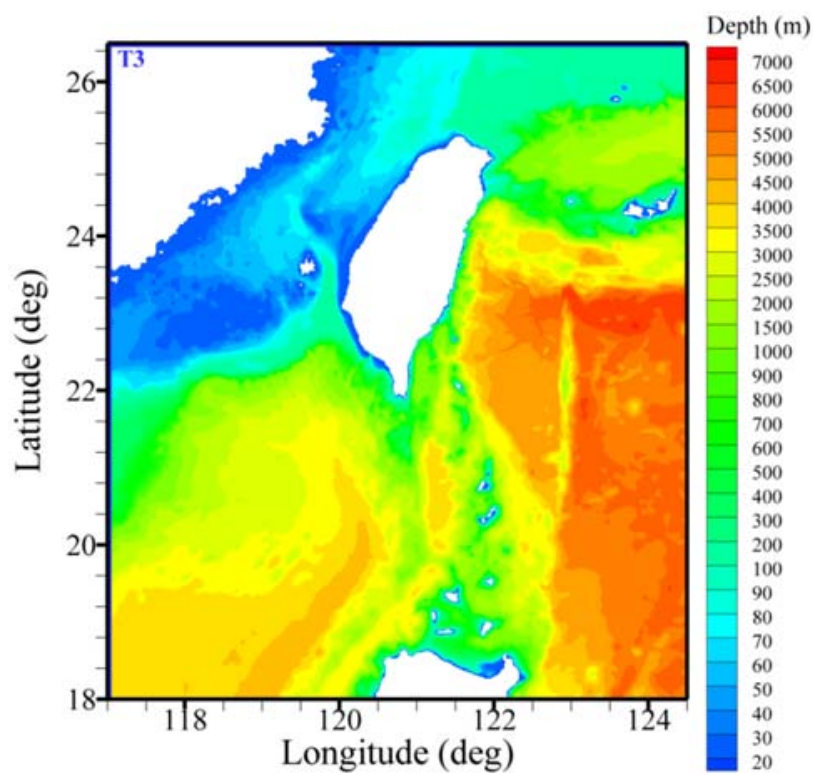


圖 4-12 臺灣海域(T3)之計算範圍與地形水深

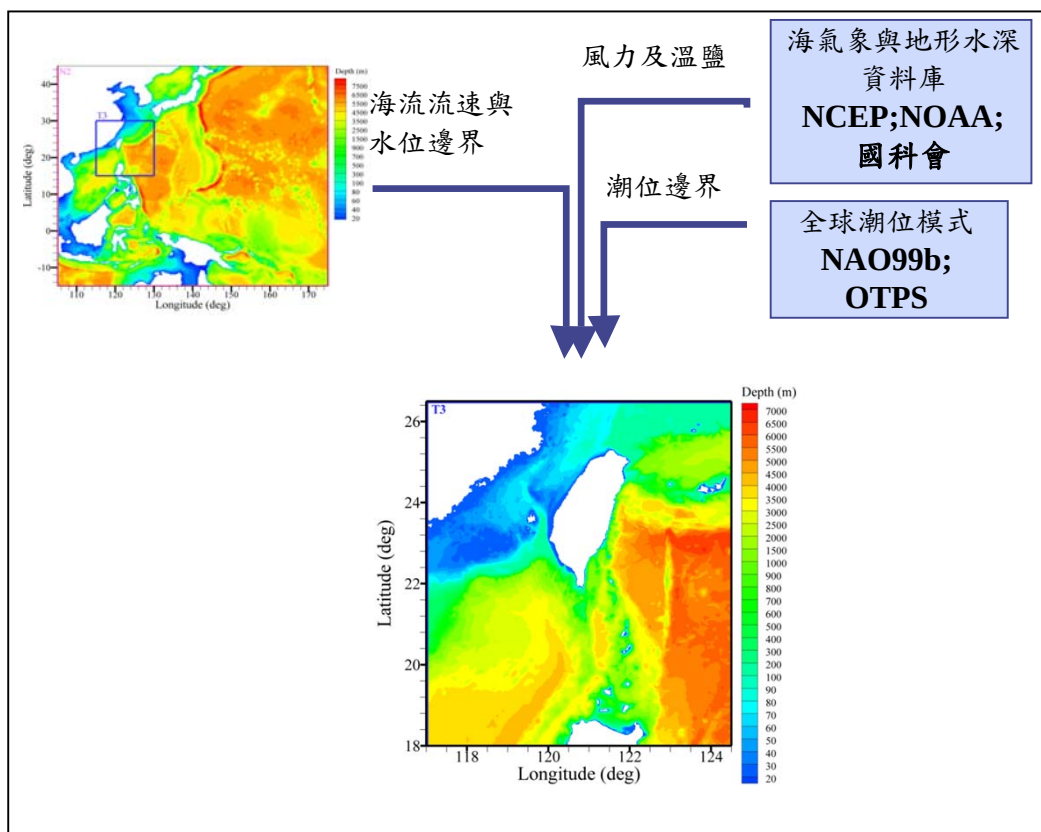


圖 4-13 巢狀格網配置架構下之母子層邊界條件萃取與應用

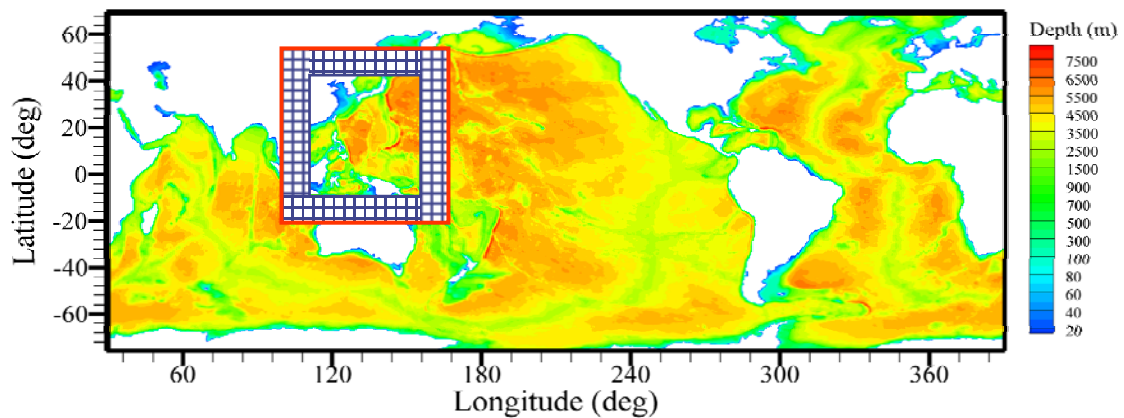


圖 4-14 巢狀格網邊界(紅)及邊界緩衝區(藍)示意圖

TORI, POM Model, seasonal mean (1991–2009), yearly

Current Speed (m/s) at 20 m

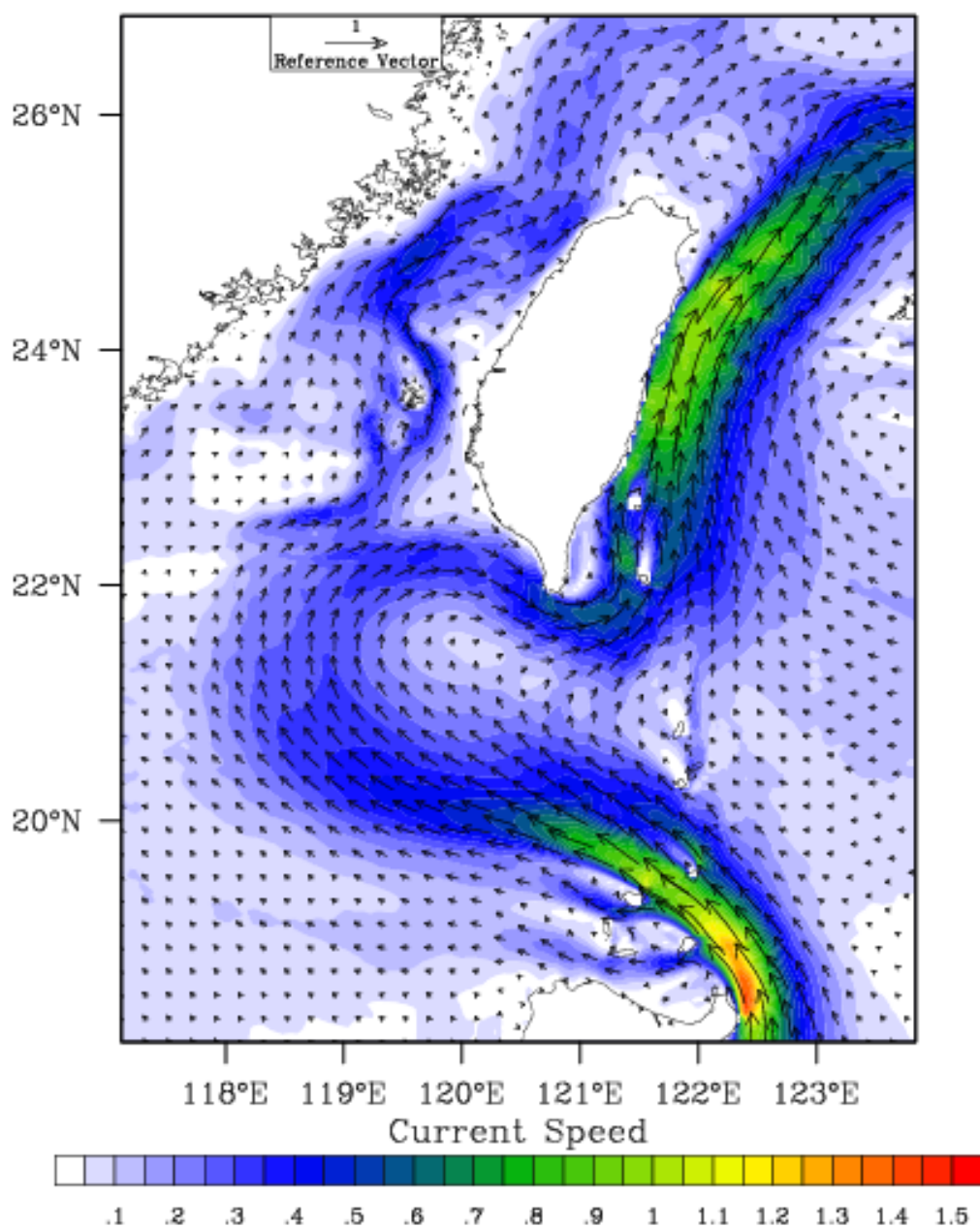


圖 4-15 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間在 20 米等水深層之表層年平均黑潮洋流流場

TORI, POM Model, seasonal mean (1991–2009), yearly

Temperature (degC) at 20 m (m/s) at 20 m

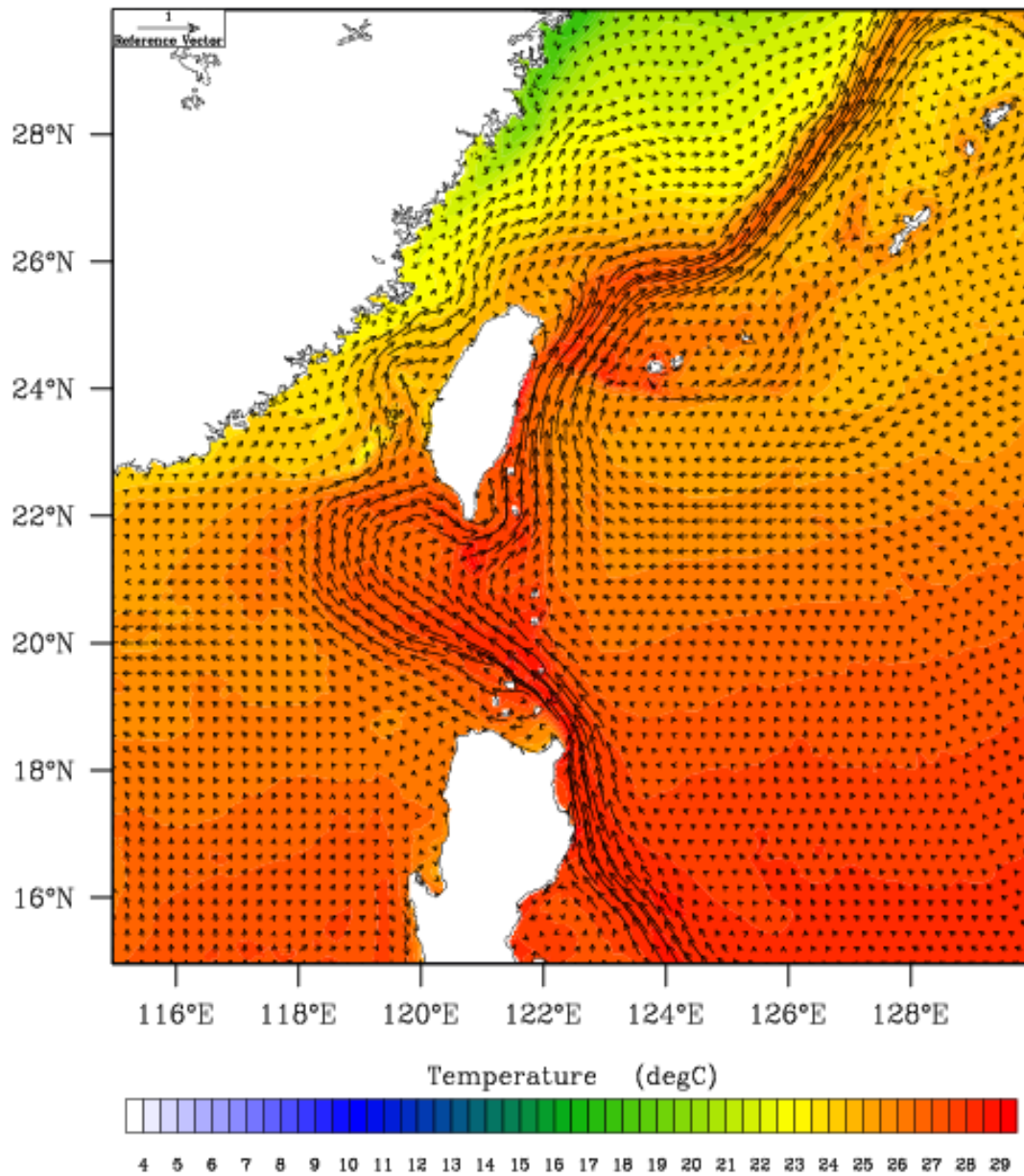


圖 4-16 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層之表層年平均黑潮洋流流場(箭矢)與海溫(色階)

TORI, POM Model, seasonal mean (1991–2009), yearly

Salinity (PSS) at 20 m (m/s) at 20 m

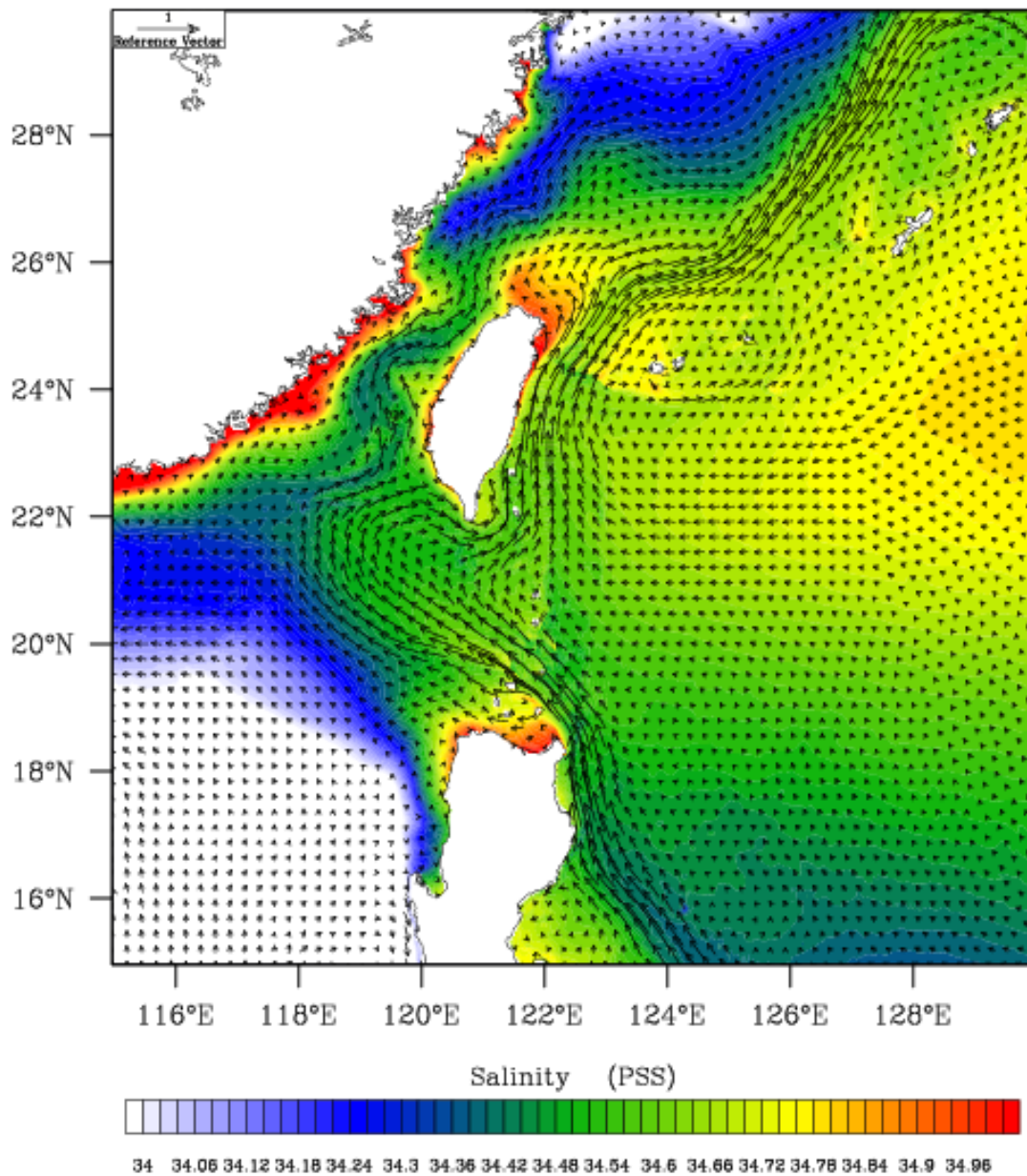


圖 4-17 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層之表層年平均黑潮洋流流場(箭矢)與鹽度(色階)

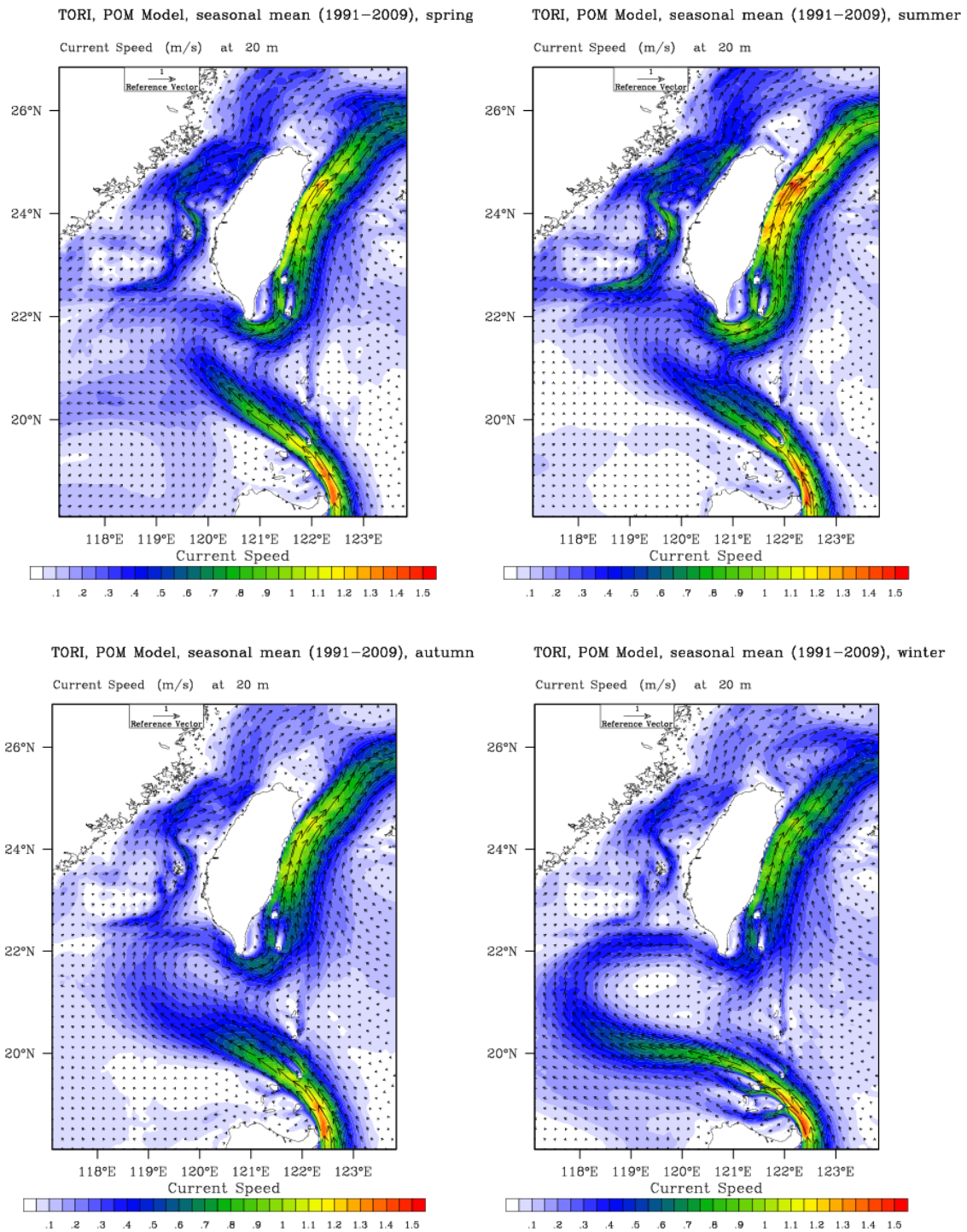


圖 4-18 臺灣海域自 1991 年至 2009 年間於 20 米等水深層在春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)季之季平均黑潮洋流流場

4.5.2 潮流之模擬計算

應用 POM 模式，配合表 4-1 及圖 4-13 所示之巢狀格網架構，針對圖 4-12 所示之臺灣海域(T3)，參考表 4-2 所列之海氣象資料庫與計算起迄時間及計算條件，計算參數依據表 4-3 所示進行設定，則臺灣海域的潮流，經模擬計算後，可得每二小時隨潮位作逐時變化的漲、退期流場，分別如圖 4-19 與圖 4-20 所示。圖中，流速大小與流向，係以箭矢長短及指向陳現。潮位則以臺灣海峽中段海域的台中港作參考。

隨潮位之漲、退時序變化，綜合觀察圖 4-19 與圖 4-20 可知，臺灣海域內之潮流，由於潮波波動，會在臺灣海峽南、北兩端之東亞大陸棚架緣海域，分別陳現近似部分重複駐波節點(node)；而在中段海域，陳現近似部分重複駐波腹點(anti-node)之振盪波形(Lin et al., 2000-2001；莊，2000；Juang et al., 2001)，故而與有關臺灣海域潮流特性之先期研究成果(莊、江；2000-2005)相近似，當臺中港驗潮站之潮位在漲潮期間，分別於臺灣東北部與西南部近海，潮流明確會陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而當臺中港驗潮站潮位在退潮期間，潮流相對亦會展現自臺灣海峽中段海域分別向臺灣東北部與西南部近海輻散流出之較強流速。漲、退潮期間之近岸較強流速，約可達 0.5 m/s，而流向明顯皆有順沿臺灣環島海岸作往復流動之特性。此外，值得注意的是，在臺灣海峽之中段海域內，不論臺中港驗潮站之潮位高、低或在任何漲、退潮期間，潮流之流速一般均甚微弱，這與本段海域主要係為潮波陳現近似部分重複駐波腹點(anti-node)特性完全相吻合。

4.5.3 綜合洋流與潮流效應之擬真海流模擬計算

如第二章內文所述，本研究針對海域漂沙輸運沉積與大規模水下沙體營造的主要動力，推測其係為包括洋流與潮流綜合效應的大尺度海流。而洋流與潮流，因其皆為一般海域海流構成的優勢成分，故而綜合洋流與潮流效應的大尺度海流，由於其總體水動力特性應與真實海流相近似，所以，本研究稱其為“擬真海流”。

再次地應用 POM 模式，並配合表 4-1 及圖 4-13 所示之巢狀格網架構，參考表 4-2 所列之海氣象資料庫與計算起迄時間及計算條件，應用表 4-3 所示之計算參數進行模式設定，因此，臺灣海域綜合洋流與潮流效應的大尺度擬真海流，經模擬計算後，可得表層(20 米等水深層)每二小時隨潮位作逐時變化的漲、退期流場，分別如圖 4-21 與圖 4-22 所示。圖中，流速大小與流向，係以箭矢長短及指向陳現。潮位則以臺灣海峽中段海域的台中港作參考。

隨潮位之漲、退時序變化，綜合觀察圖 4-21 與圖 4-22 可知，臺灣海域綜合洋流與潮流效應的大尺度擬真海流，其總體水動力特性，在臺灣海峽海域，可見原隨潮位漲、退作匯聚流入-輻散流出之逐時變化潮流流場，明確會受到黑潮支流或西南風吹送流所影響，進而使本海域之海流，普遍皆轉變並陳現為向北流動之恆常海流特性，僅管黑潮支流或西南風吹送流流速並不強勁，但部分海域，尤其是位處臺灣海峽南、北兩端之東亞大陸棚架緣海域，在潮位漲、退變化間，仍清楚可見黑潮支流或西南風吹送流對潮流之影響；而在臺灣東部海域，由於潮流流速原即甚微弱，故對黑潮主流之本質流動特性，所造成之干擾與影響甚有限，所以，本海域之海流，主要仍陳現主流向北流動之強盛黑潮洋流特性。

4.6 臺灣海域大尺度之優勢恆常海流

當特定海域之海流具有不隨時、空變動之部分特質時，例如海流之流向恆常不變，本研究即稱其為“恆常海流”或“優勢海流”。由於恆常海流對特定海域長期性的漂沙輸運沉積趨勢與水下沙體形態營造具有優勢的主控性，故而，其為本研究達成「臺灣海域大尺度海流對海岸長期沖淤之影響」研究目標的重要關鍵課題。

在實際海域內，大尺度海流，除了流速與流向較固定之洋流成分外，尚明確涵括有流速與流向皆會隨潮位漲退而作週期性往復變動的潮流成分，加以洋流與潮流間，會自然因交互作用與地形水深影響而衍生非線性效應，故而，欲依據有限的實測結果進行恆常海流分析與

特性掌握，有其實際作業上的困難度。因此，本研究將依據先前大尺海流模擬計算所得之成果，以綜合洋流與潮流效應所得之大尺度擬真海流流場(圖 4-21 與圖 4-22)為基礎，再自其中以逐時對應方式扣除會隨潮位漲退而作週期性往復變動的潮流流場(圖 4-19 與圖 4-20)，藉以探討臺灣海域的恆常海流特性。

自擬真海流流場(圖 4-21 與圖 4-22)中，扣除逐時對應之往復變動潮流流場(圖 4-19 與圖 4-20)，因此可得臺灣海域優勢恆常海流流場如圖 4-23 與圖 4-24 所示。圖中，流速大小及流向，除了以箭矢長短及指向表示外，尚以藍-白-紅色階之顏色深淺陳現，當藍、紅色階越淺，表示擬真海流中，黑潮洋流與潮流所具有之優勢強度越相當；而若藍、紅色階越深，表示黑潮洋流與潮流之優勢強度越具差異性，換言之，深藍色表示潮流之影響較為優勢，而深紅色則表示黑潮洋流之影響較為優勢。另外，因優勢恆常海流流場仍會隨潮位之乾滿、漲退而變化，故在各流場圖下，潮位的高低，亦均以臺中港為參考依據。

逐時觀察圖 4-23 與圖 4-24 綜合可知，臺灣海域經計算所得之優勢恆常海流，不論潮位高低，總體恆常流向，明顯均保持為由南向北；至於流速的變化，在臺灣海峽海域，由於其南、北兩端海域的潮流流速會隨潮位漲、退而分別陳現向中段海域匯聚流入-輻散流出之較強流速，加上黑潮支流或西南風吹送流之共構或抵消性交互作用結果，因此，就局部區域性而言，漲潮期，臺灣海峽北端海域流速較弱，南端海域流速較強；反之，退潮期，臺灣海峽北端海域流速較強，而南端海域較弱，故而在臺灣海峽海域之優勢恆常海流流速，明確將隨臺中港潮位之漲退、高低而作強弱變化。值得特別注意的是，在高雄、墾丁、基隆、及宜蘭等海域，優勢恆常海流流速均甚微弱；而在澎湖海溝及雲彰隆起等海域，則經常存在較強之優勢恆常海流流。至於，在臺灣東部海域，由於潮流流速微弱，故優勢恆常海流流速，主要即以盛行之黑潮洋流為主要。

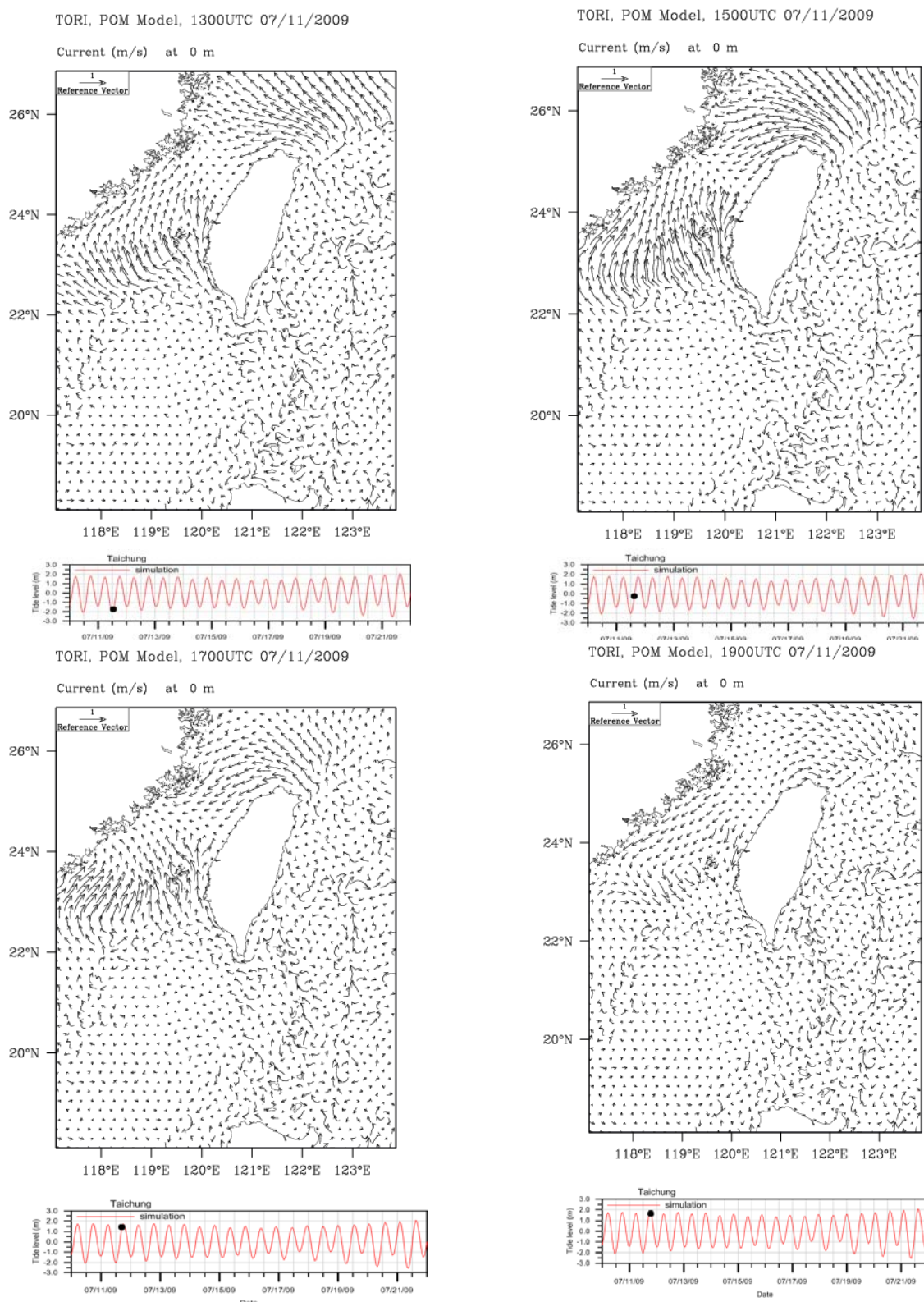


圖 4-19 臺灣海域 2009/07/11 13:00 起每二小時隨台中港計算潮位作逐時變化的漲潮期潮流流場

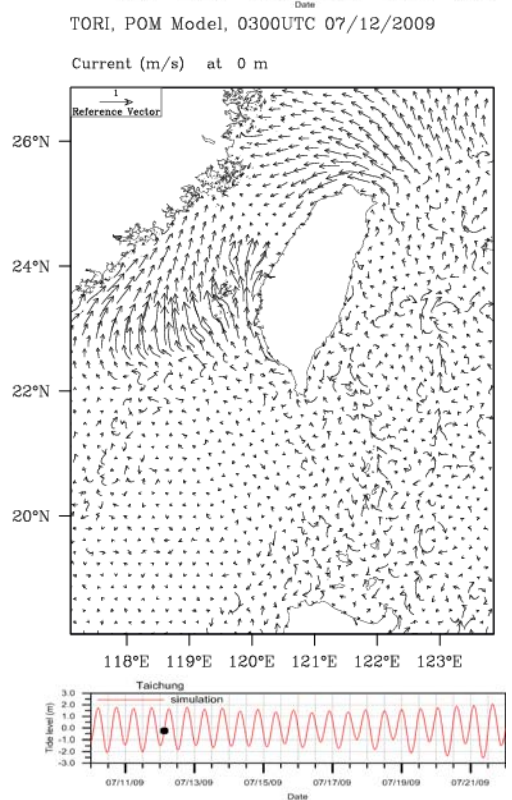
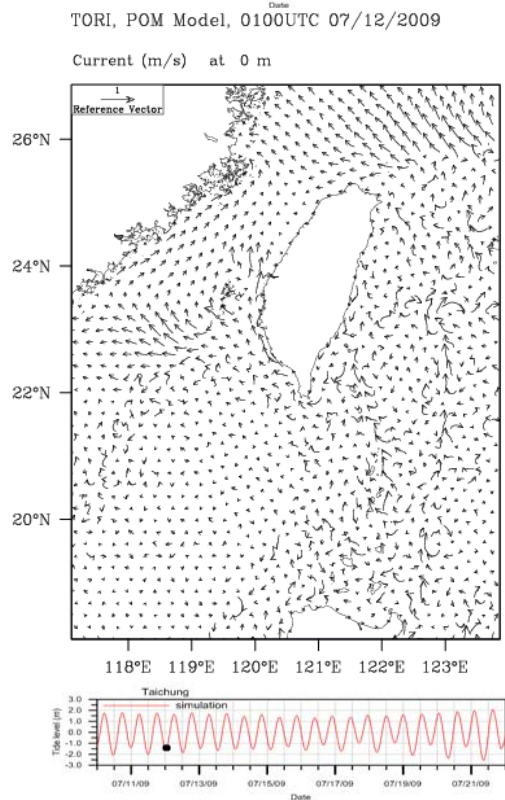
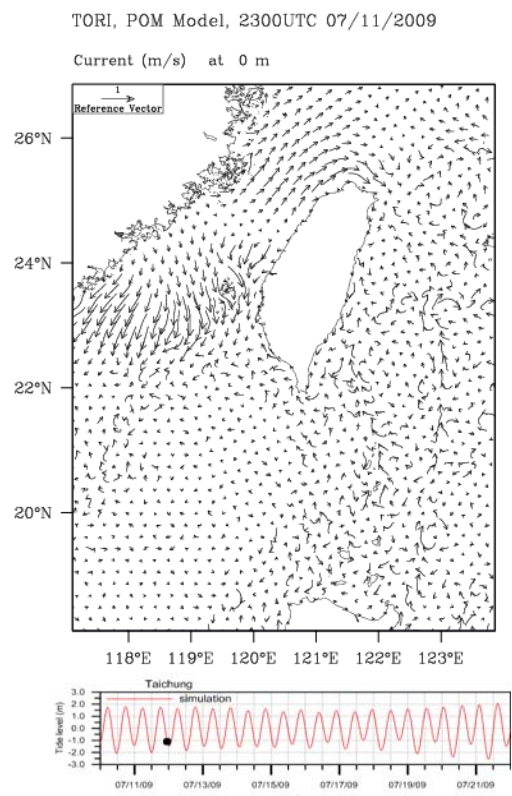
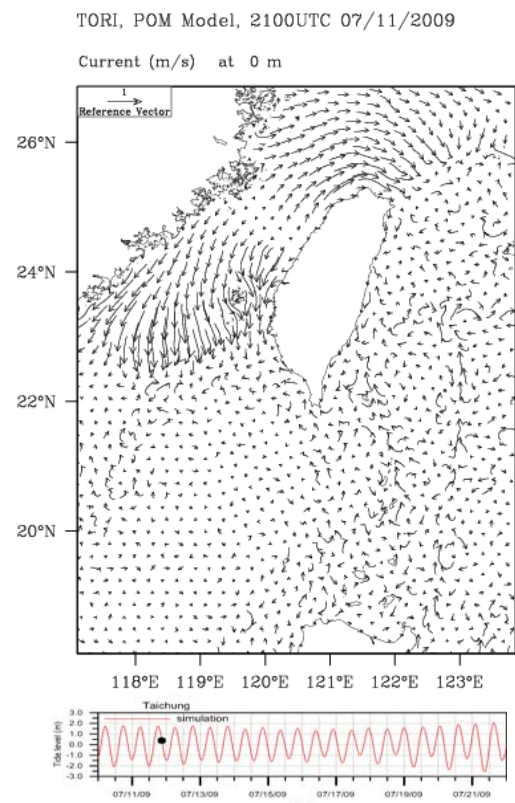


圖 4-20 臺灣海域 2009/07/11 21:00 起每二小時隨台中港計算潮位作逐時變化的退潮期潮流流場

TORI, POM Model, 1300UTC 07/11/2009

Current (m/s) at 0 m

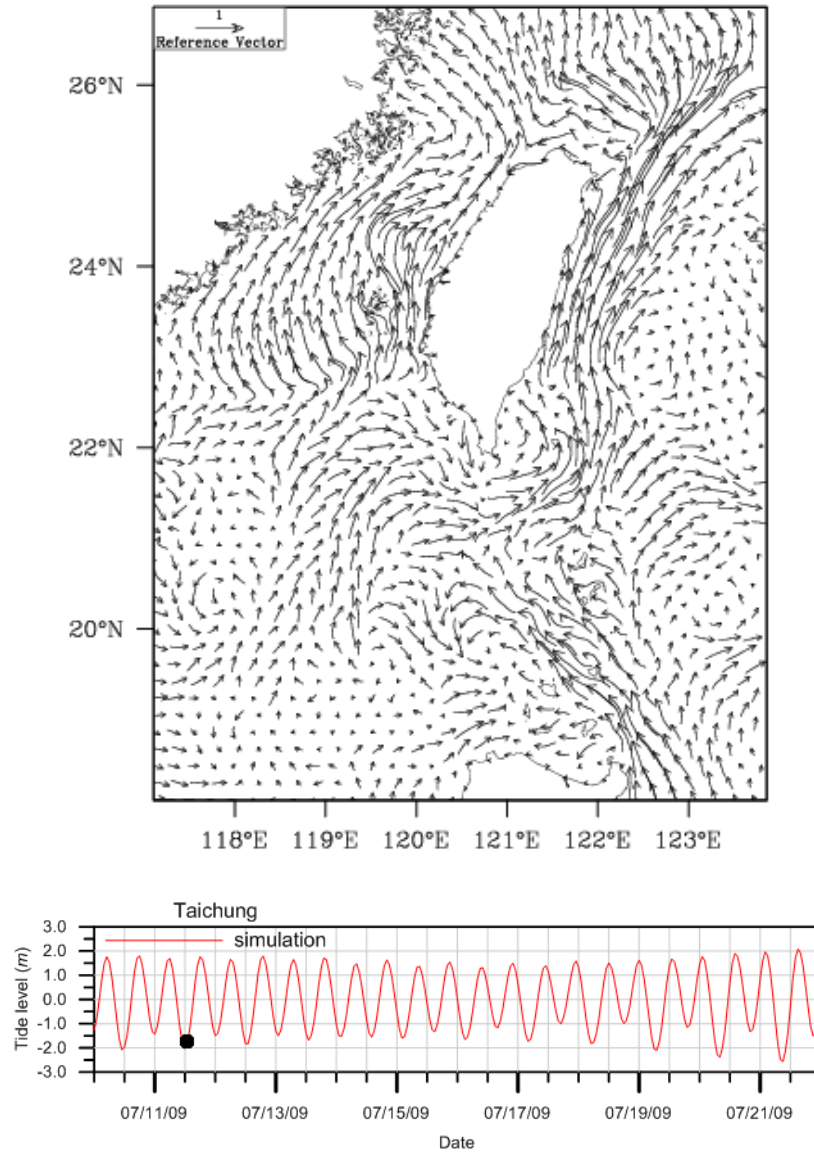


圖 4-21 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 13:00)

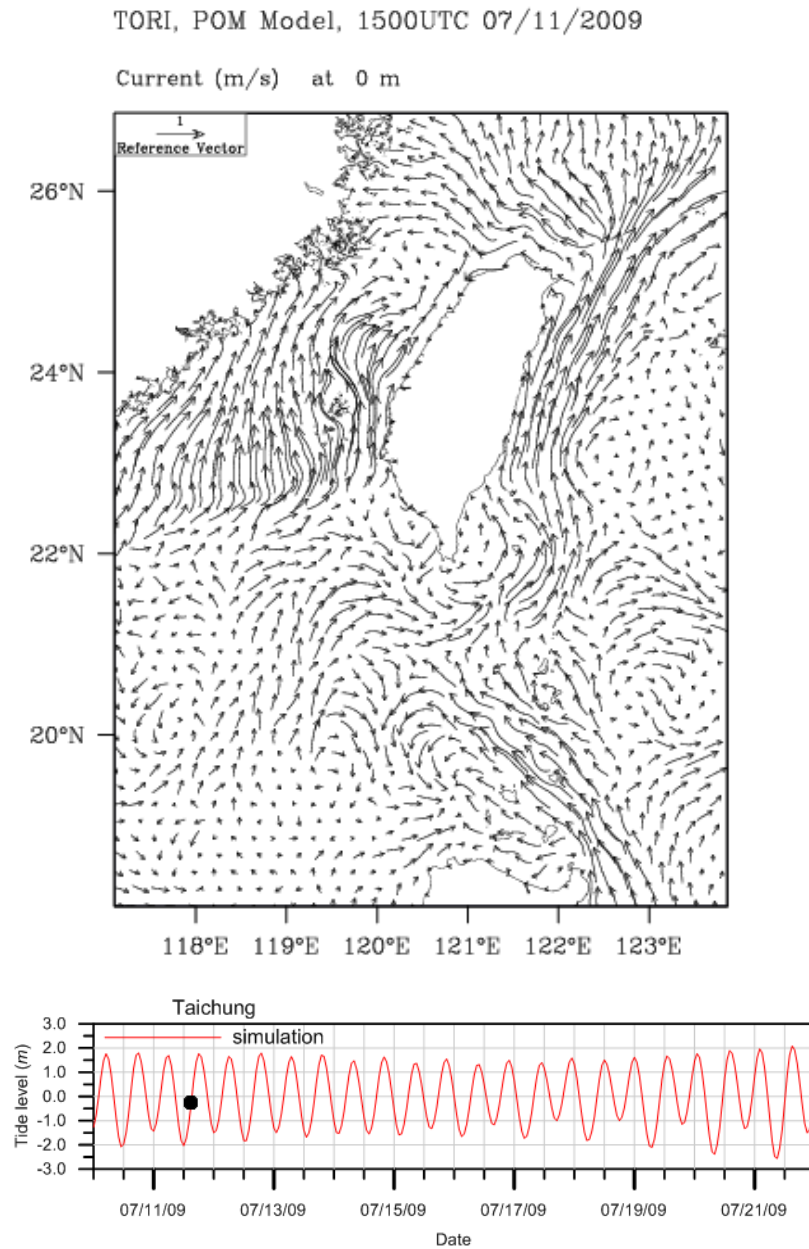


圖 4-21(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 15:00)

TORI, POM Model, 1700UTC 07/11/2009

Current (m/s) at 0 m

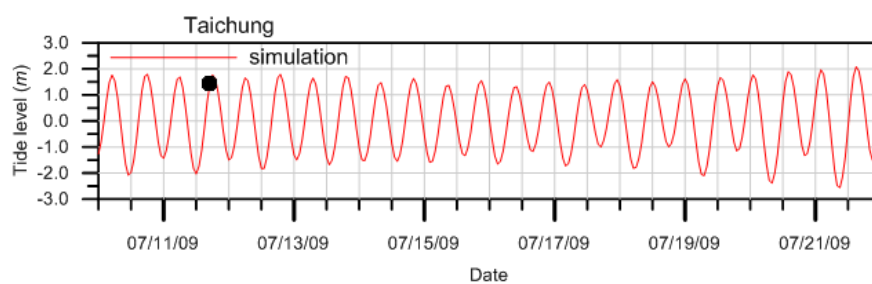
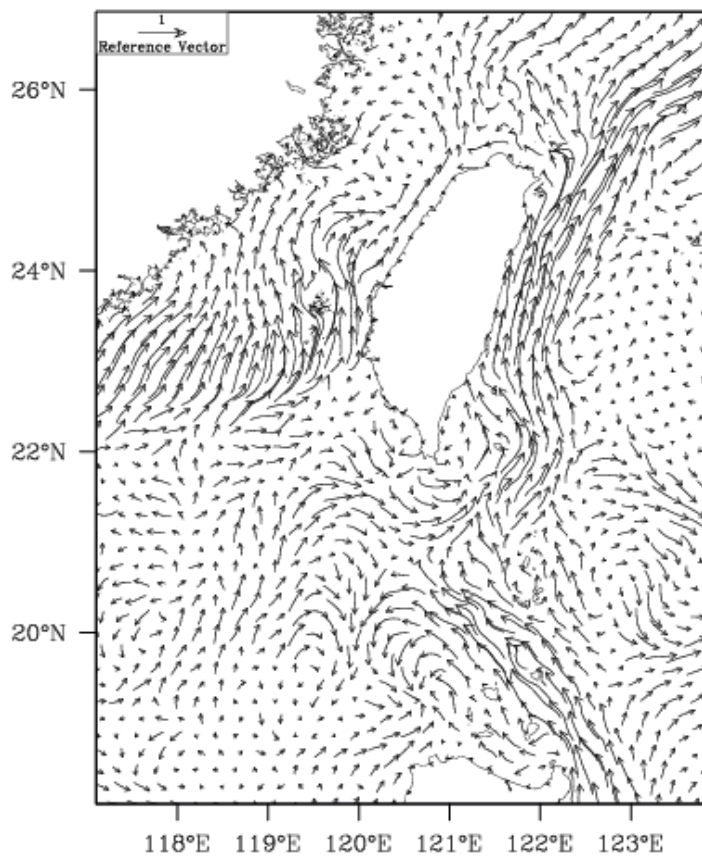


圖 4-21(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考
台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 17:00)

TORI, POM Model, 1900UTC 07/11/2009

Current (m/s) at 0 m

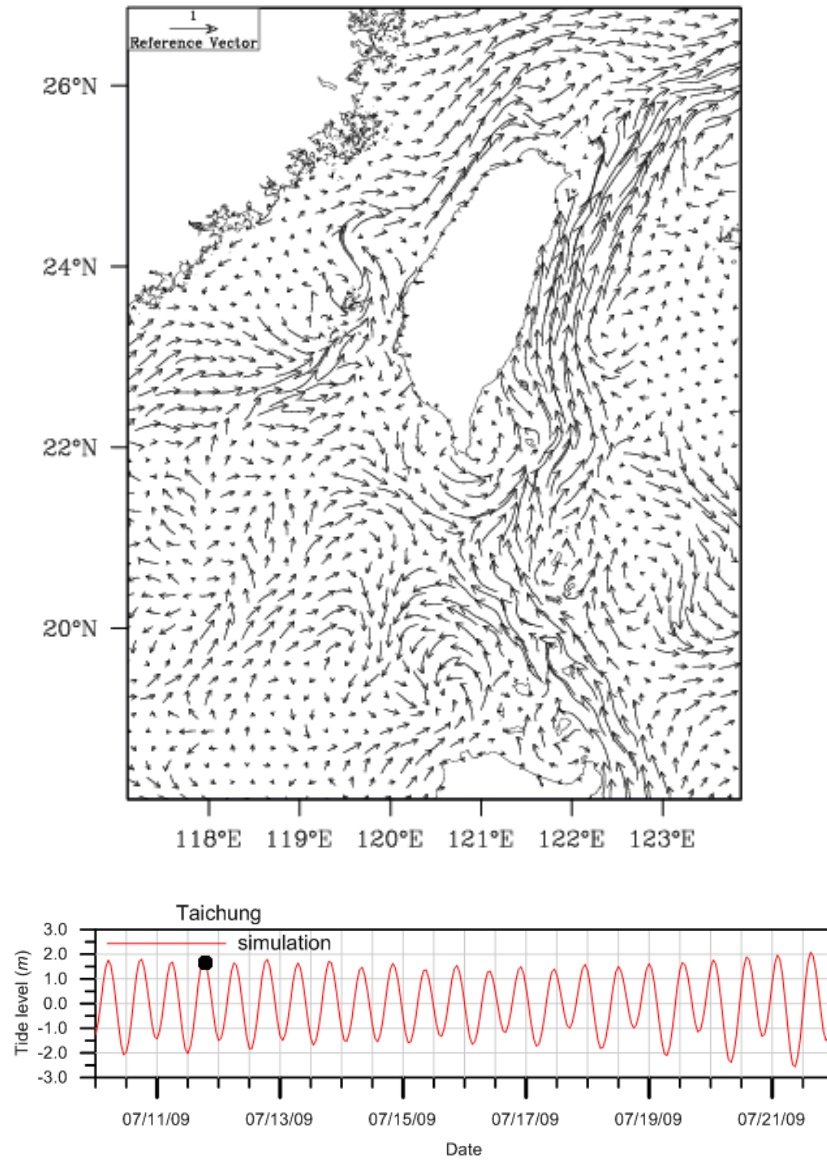


圖 4-21(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考
台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 19:00)

TORI, POM Model, 2100UTC 07/11/2009

Current (m/s) at 0 m

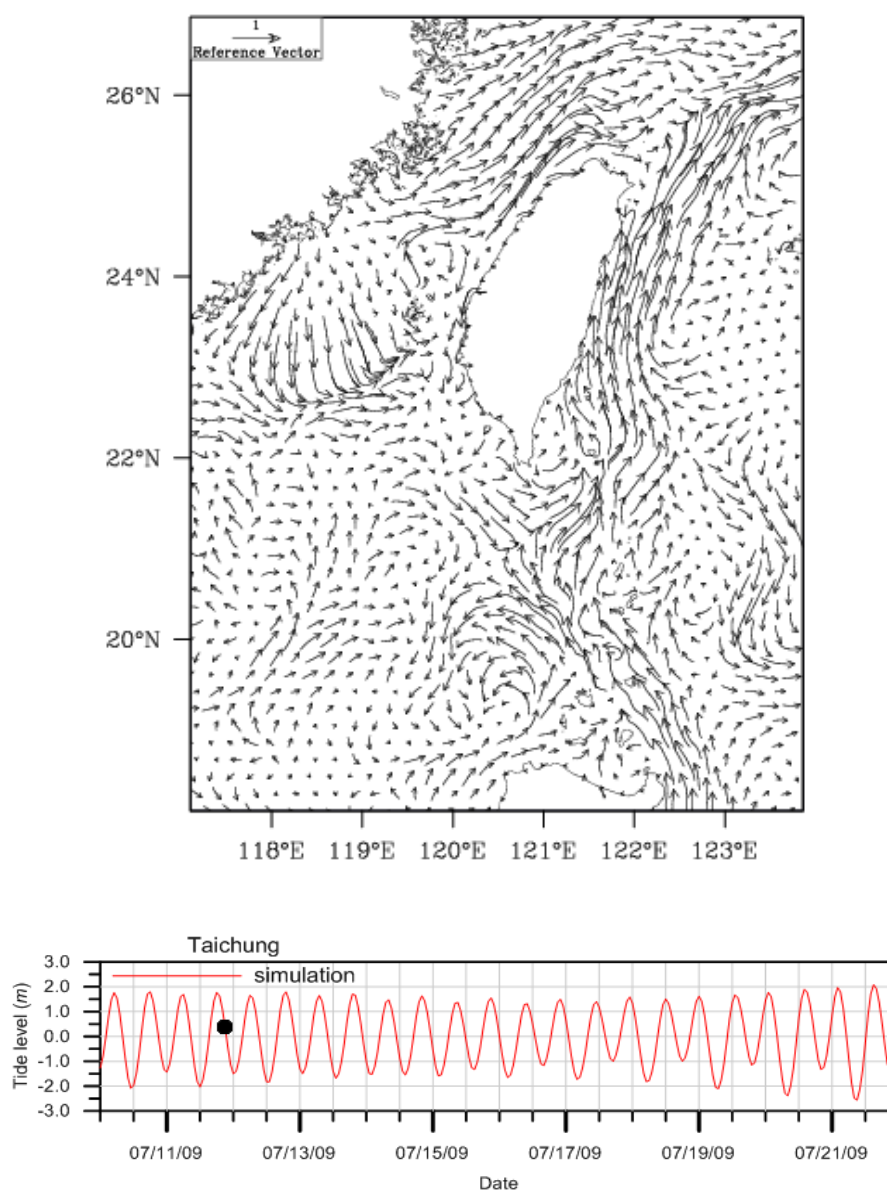


圖 4-22 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/11 21:00)

TORI, POM Model, 2300UTC 07/11/2009

Current (m/s) at 0 m

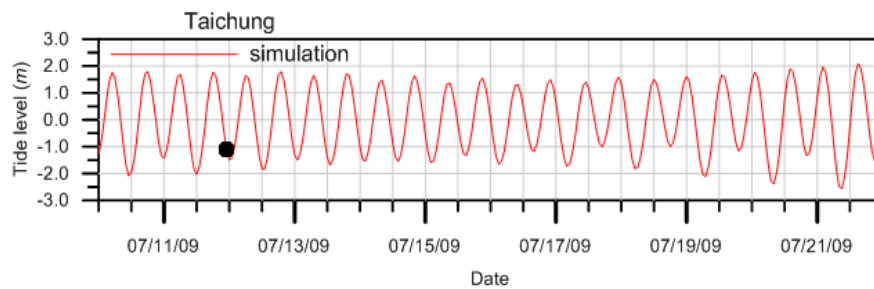
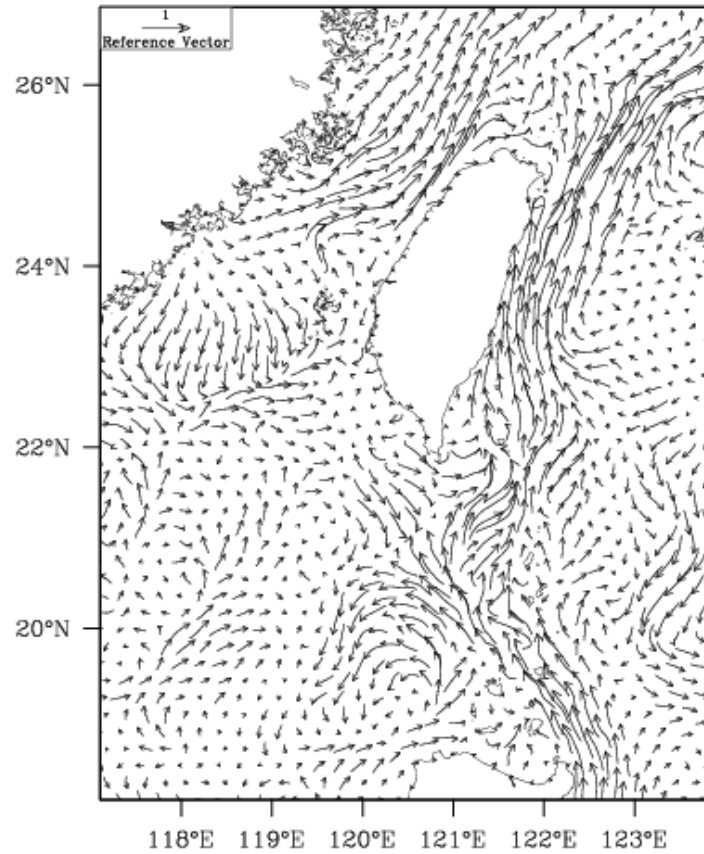


圖 4-22(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考
台中港退潮期計算潮位 2009/07/11 23:00)

TORI, POM Model, 0100UTC 07/12/2009

Current (m/s) at 0 m

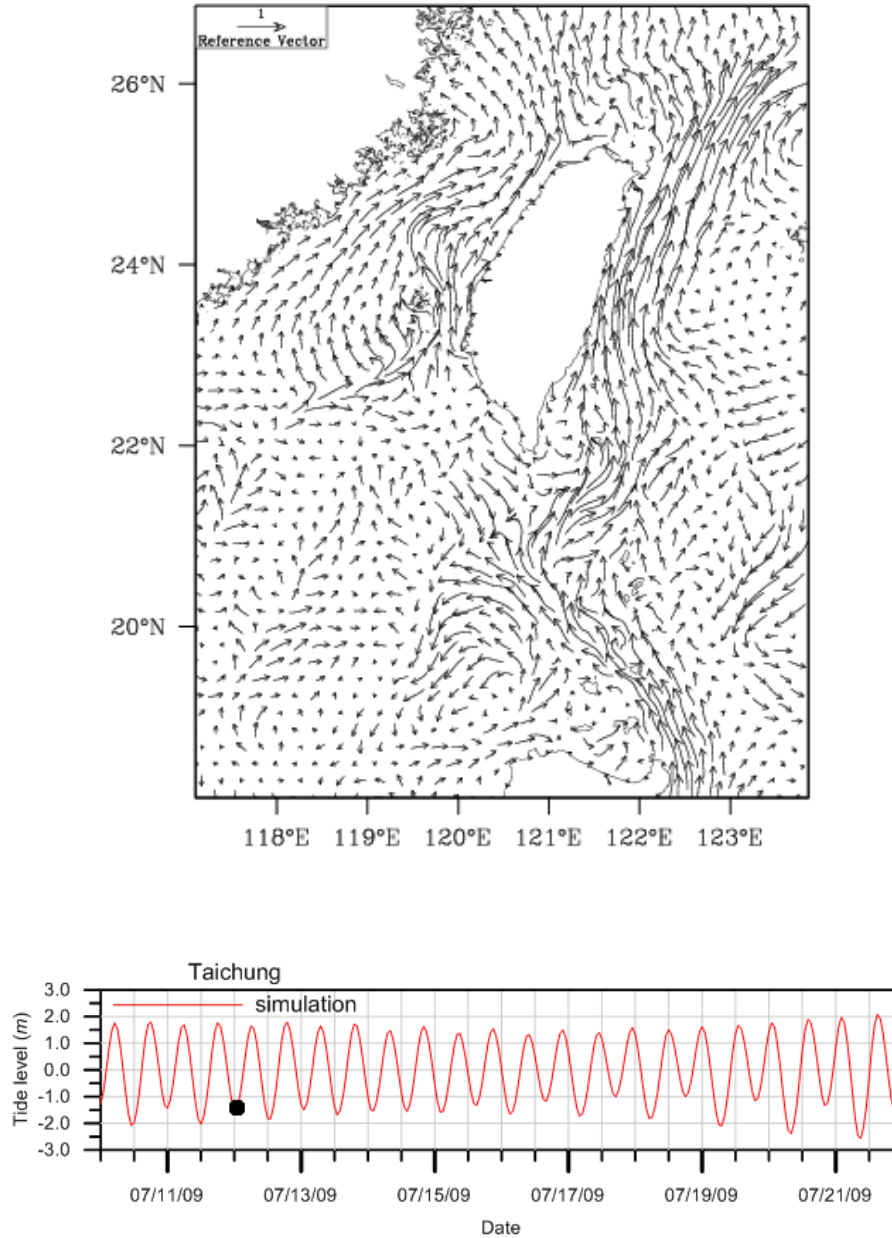


圖 4-22(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場 (參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/12 01:00)

TORI, POM Model, 0300UTC 07/12/2009

Current (m/s) at 0 m

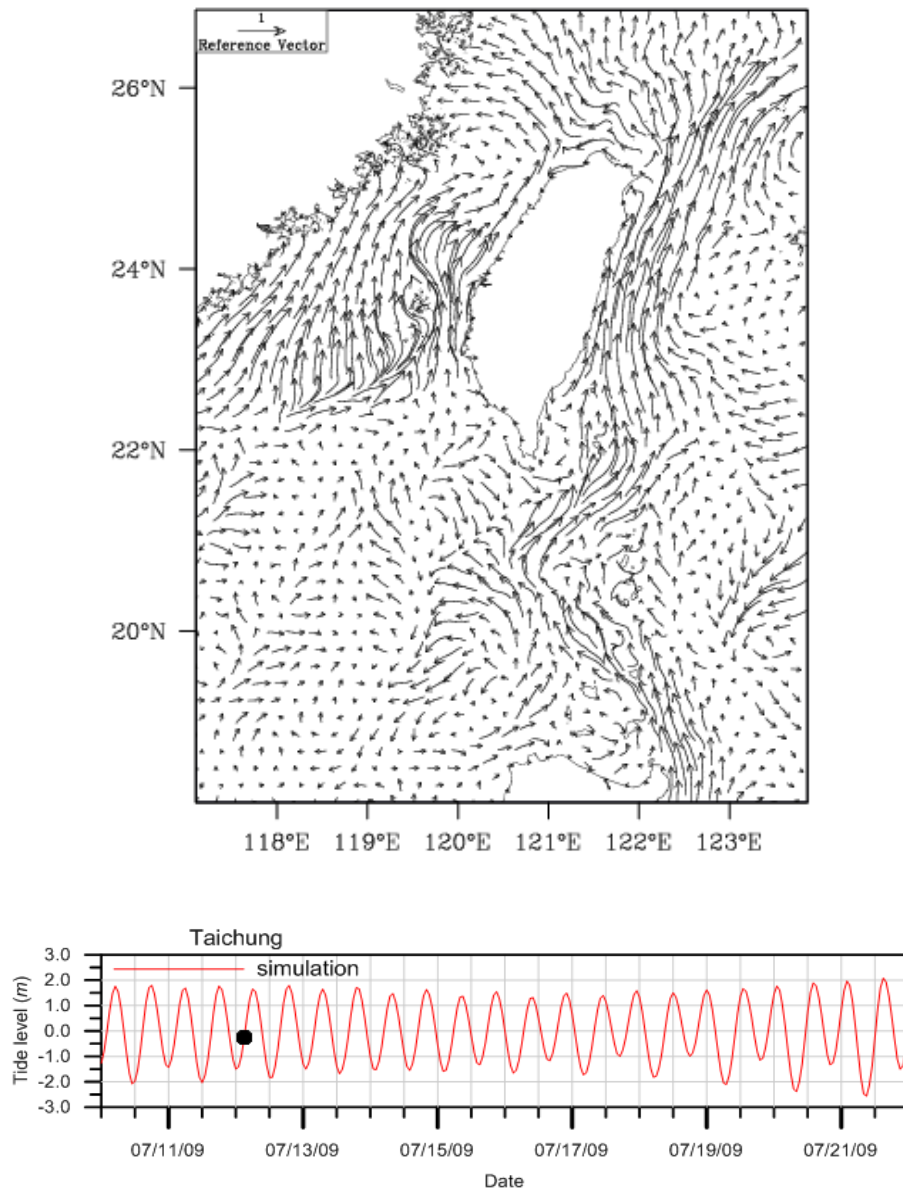


圖 4-22(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場 (參考
台中港退潮期計算潮位 2009/07/12 03:00)

TORI, POM Model, 1300UTC 07/11/2009

Current Speed diff. at 0 m

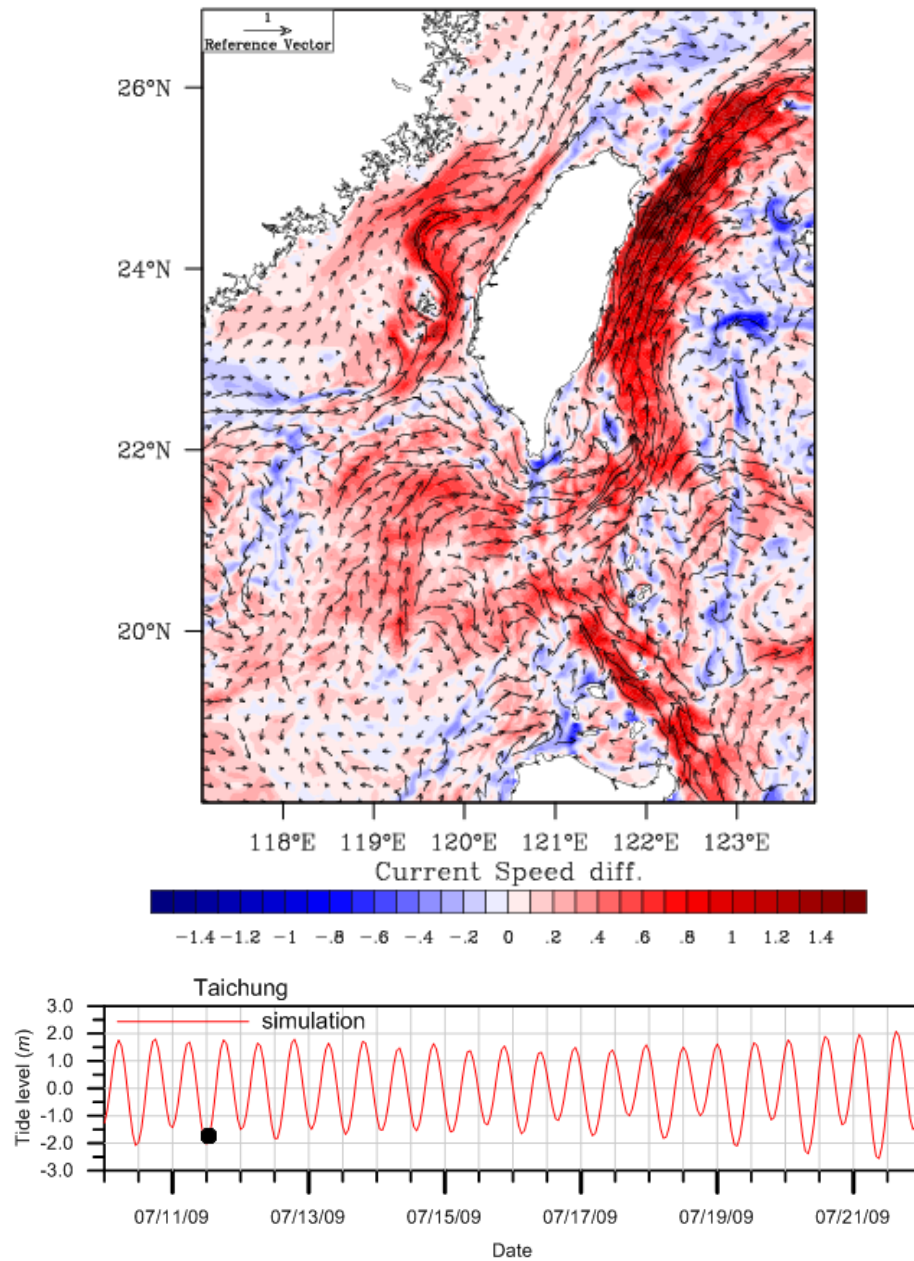


圖 4-23 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 13:00)

TORI, POM Model, 1500UTC 07/11/2009

Current Speed diff. at 0 m

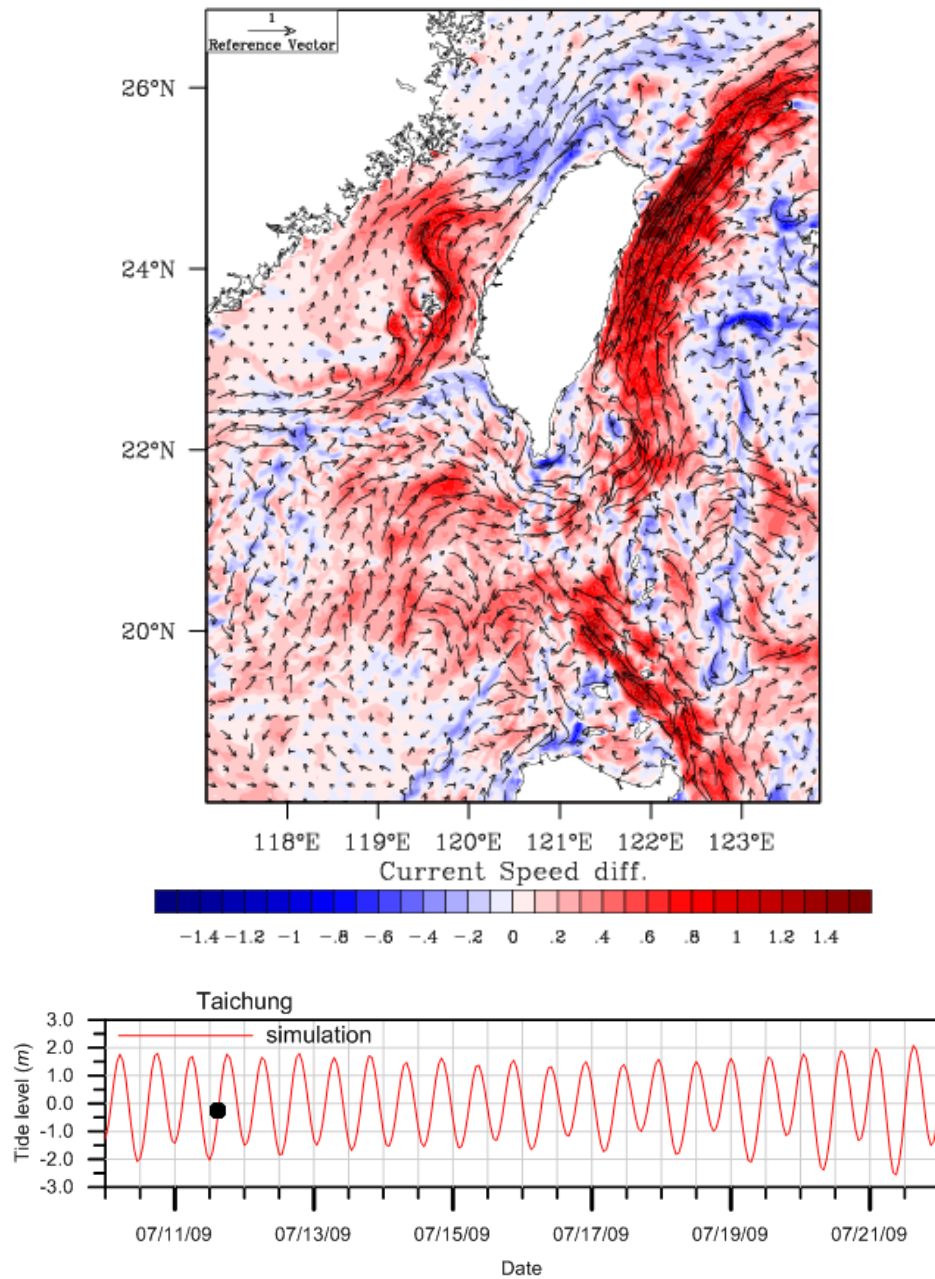


圖 4-23(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 15:00)

TORI, POM Model, 1700UTC 07/11/2009

Current Speed diff. at 0 m

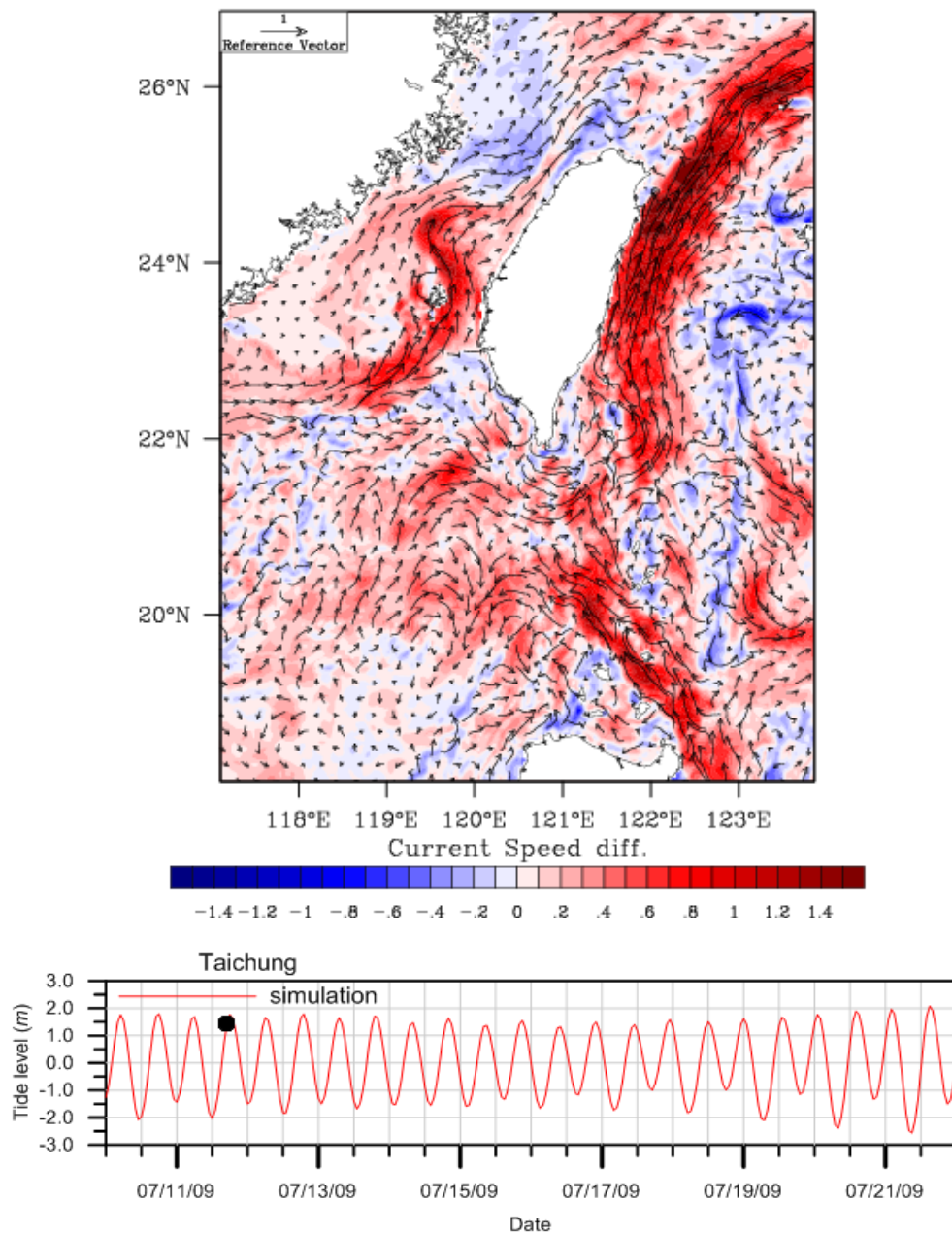


圖 4-23(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 17:00)

TORI, POM Model, 1900UTC 07/11/2009

Current Speed diff. at 0 m

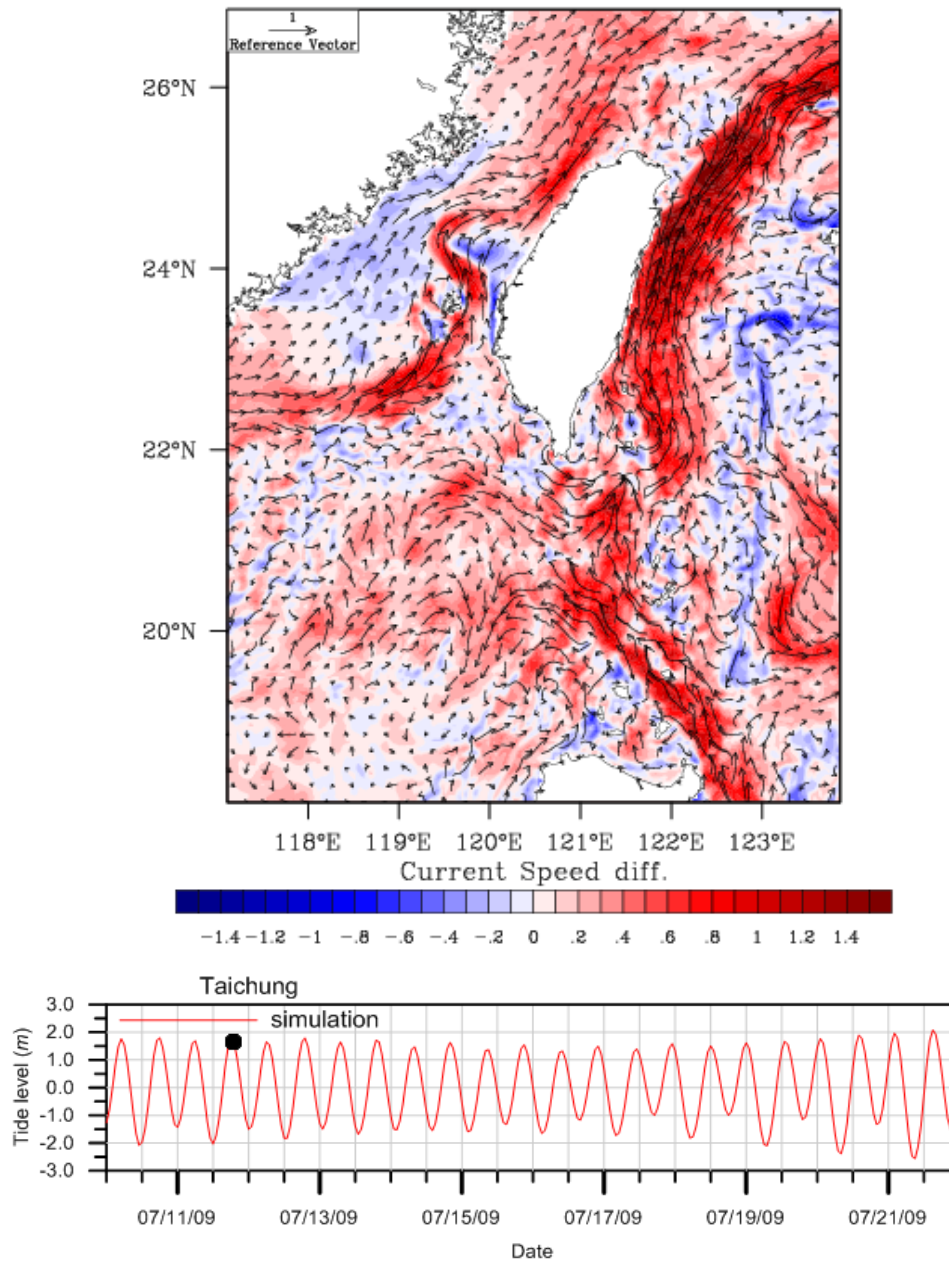


圖 4-23(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 19:00)

TORI, POM Model, 2100UTC 07/11/2009

Current Speed diff. at 0 m

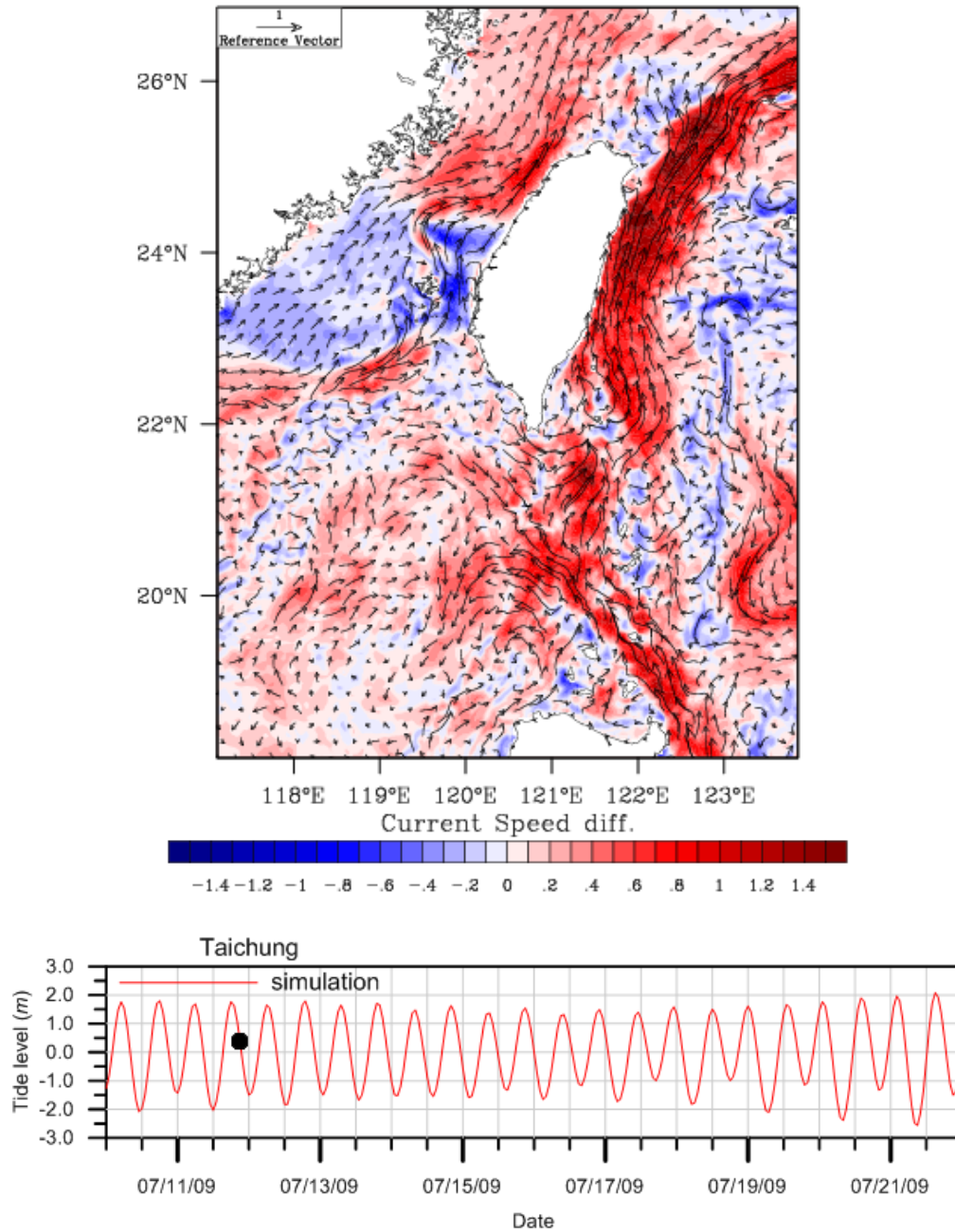


圖 4-24 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/11 21:00)

TORI, POM Model, 2300UTC 07/11/2009

Current Speed diff. at 0 m

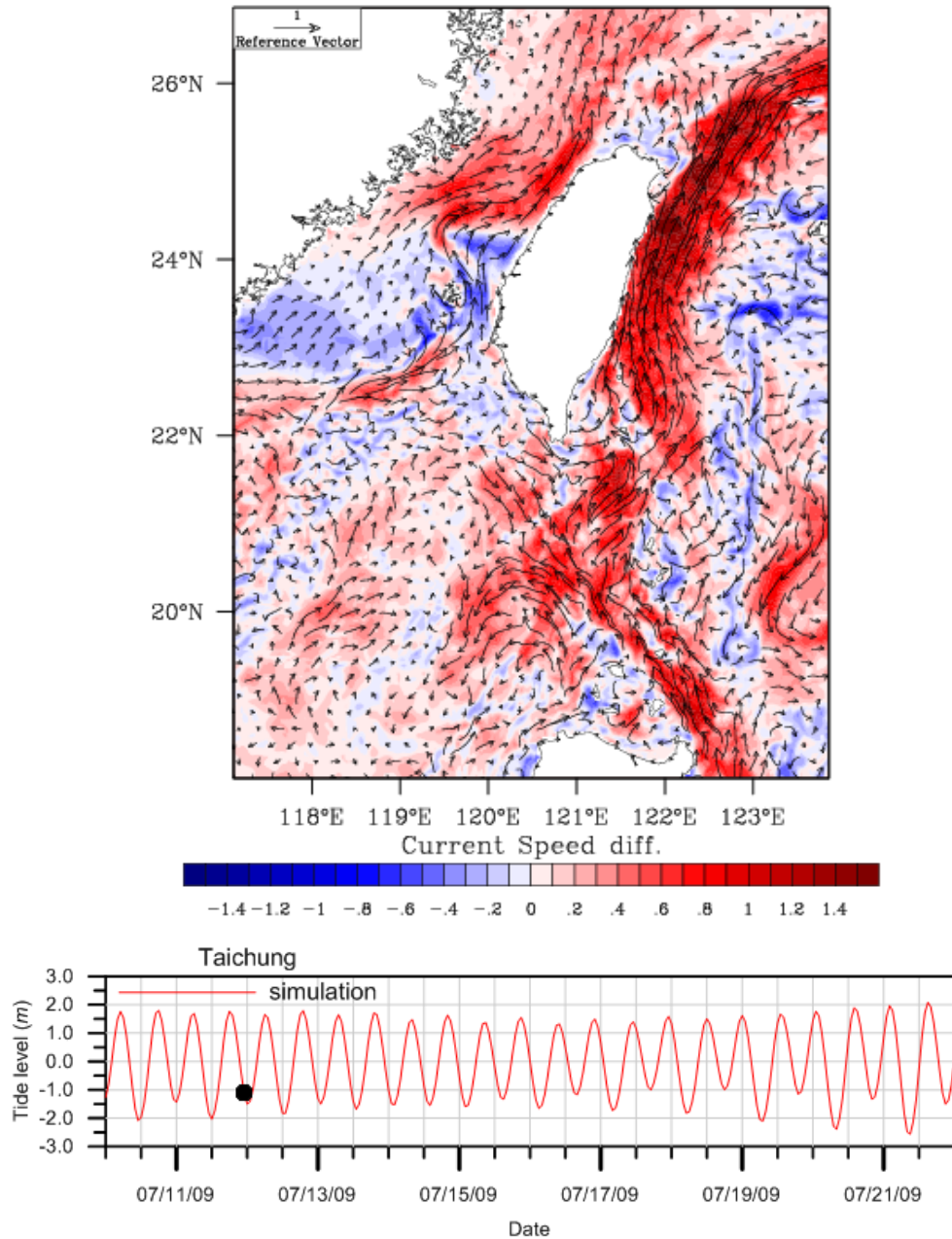


圖 4-24(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/11 23:00)

TORI, POM Model, 0100UTC 07/12/2009

Current Speed diff. at 0 m

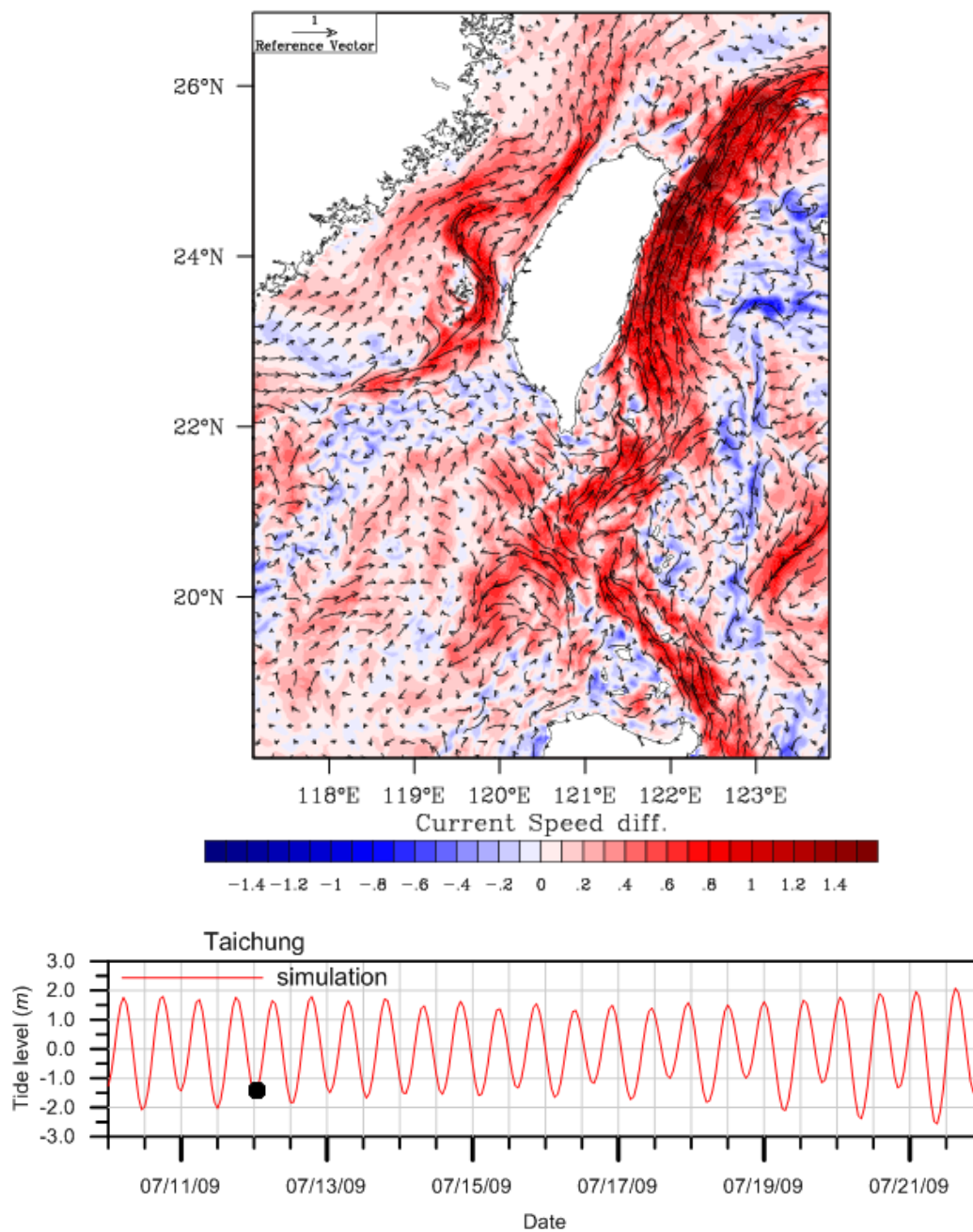


圖 4-24(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/12 01:00)

TORI, POM Model, 0300UTC 07/12/2009

Current Speed diff. at 0 m

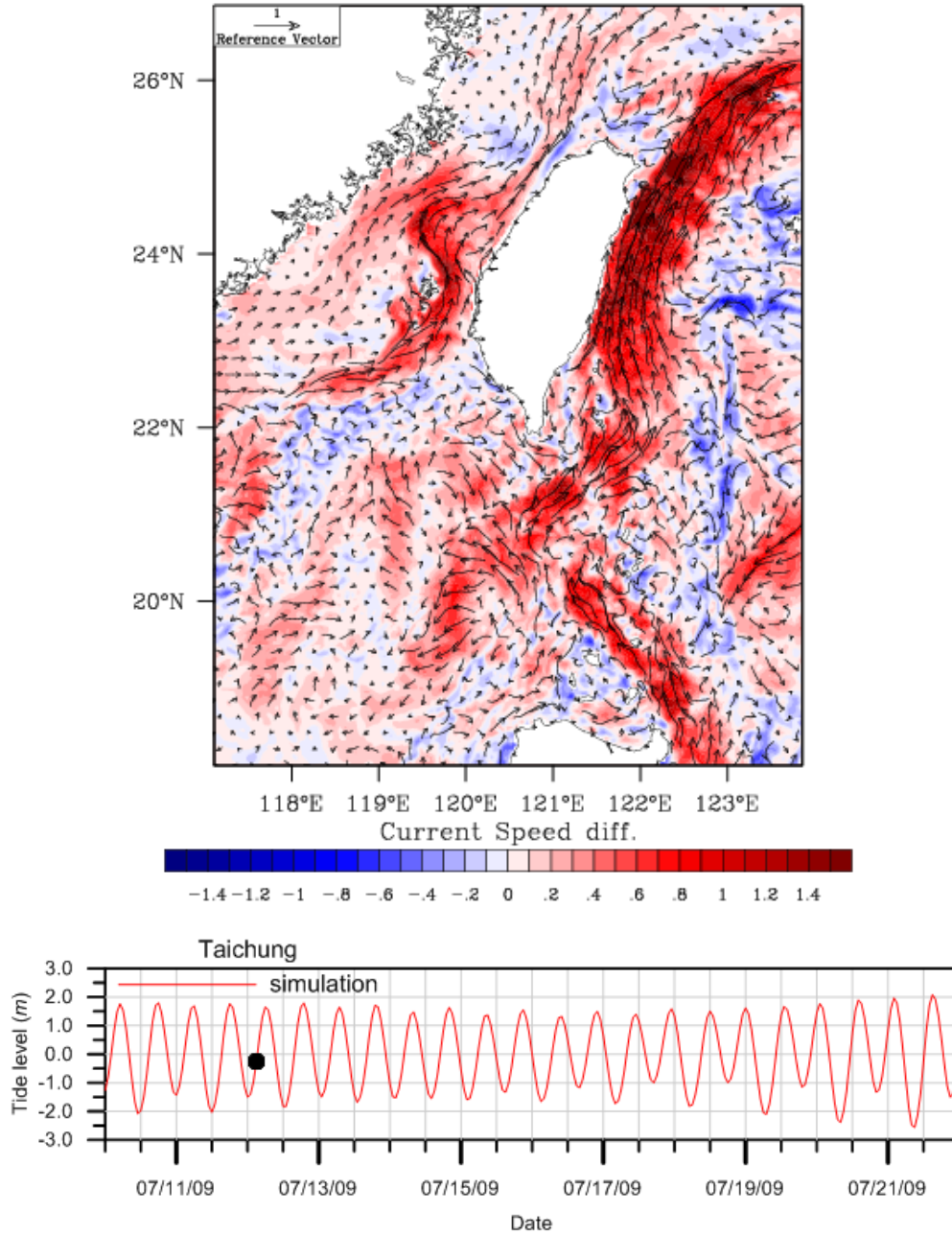


圖 4-24(續) 臺灣海域自擬真海流(洋流+潮流)流場中扣除潮流往復流動效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/12 03:00)

第五章 臺灣海域之大尺度海岸沖淤

5.1 河川輸沙與大尺度海流引致之漂沙傳輸與沉積

臺灣的河川，坡度陡峻，颱風期間，強而集中的雨量，不僅會對陸地造成嚴重的沖蝕，更會使河川輸沙量大幅增加。根據經濟部水資會歷年來對河川輸沙量之統計估算，陸地土石流失量每年每平方公里平均超過一萬公噸，侵蝕速率高居世界之冠(扈和洪，2011)。所以，河川輸沙是海域漂沙甚重要的來源。

海流是海洋的動脈，更是海域漂沙的主要輸運配送動力。區域局部性大尺度海流所引起的海域漂沙輸運配送不平衡，將導致漂沙運移路徑與沉積形態的恆常變化，進而造成海岸長期性的沖淤變遷。

臺灣最長且輸沙量最大的河川_濁水溪，因其溪水常帶大量泥沙而得名，其平均流量為 130 CMS，年輸沙量為全臺之冠，可達 25 百萬立方公尺以上。在河口懸浮沉積物之海流輸運能量上，錢 等(2011)即曾在濁水溪河口海域，利用現場海流觀測資料，探討河口懸浮沉積物之漂流特性，並發現濁水溪河口懸浮沉積物，受海流作用，可輸運傳送至離岸 3 公里遠海域。

因此，配合本研究計畫目標，在考量臺灣特有的海岸地質與地形及季節性河川輸沙量之劇烈變化下，本研究將針對河川輸沙在海域所造成年、月、季漂沙輸運與沉積所造成的影響，再次透過數值模擬計算方式，在 POM 模式中，應用第四章內經模擬計算所得之大尺度擬真海流，結合漂沙傳輸擴散方程式，據以探討臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響。

5.2 臺灣河川之水文

臺灣主要河川，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(經濟部水利署，2008-2010)。各河流均短且陡，颱風暴雨時，水流湍急，自上游所攜運之大量泥沙，均會在河口及鄰接海域內受海流移運輸送或沉積，故而，其為海域漂沙之主要來源。主要河川與水資源分區圖如圖 5-1 所示(經濟部水利署，2010)。相關 21 條重要河川特性與水文特性，可區分為北、中、南、東四個區域(經濟部水利署，2008-2010)，綜合敘述如后：

(1) 北部區域

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，且淡水河是臺灣少數以「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。

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。

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

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。

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。

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。

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。

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。

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

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。

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。

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。

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。

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。

二仁溪

二仁溪發源於高雄市內門區木柵里山豬湖，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，及高雄市內門、田寮、湖內、茄萣、旗山、路竹、阿蓮，台南等。

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。

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。

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

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。

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。

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。

5.3 臺灣主要河川之流量與輸沙量

臺灣 20 條重要河川之輸沙量，由於實際施測不易，故相關資訊甚有限。而為在數值模式中，充分考量河川輸沙在海域所造成年、月、季漂沙輸運與沉積的影響，本研究因此依據近三年期台灣水文年報(經濟部水利署，2008-2010)之河川流量和懸移質實測資料，先進行臺灣 20 條重要河川年、月、季之總輸沙量推估(廖 等，2013)。

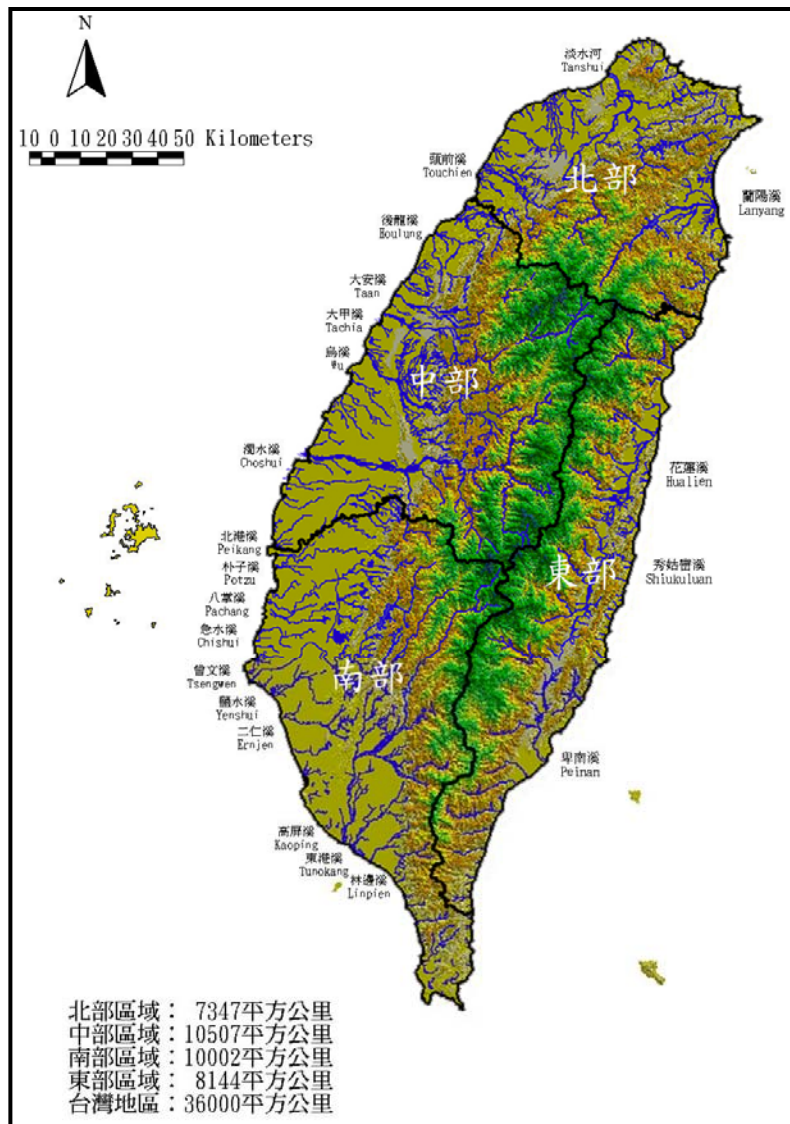


圖 5-1 臺灣之主要河川與水資源分區圖(經濟部水利署，2010)

以 2008 年至 2010 年各河川較接近出海口之水文測站紀錄為基礎，參考許 等(2010)在動態人工岬灣應用於海域輸沙量之推算公式，則懸移質輸沙量(S)與流量(Q)之關係式，可簡單表示為：

$$S = a Q^b \dots\dots\dots(5-1)$$

式中， a 、 b 為換算係數。分別對臺灣 20 條重要河川採用最小二乘法進行懸移質輸沙量與流量之迴歸分析，因此，自 2008 年至 2010 年間，其各分年之年平均懸移質輸沙量與流量換算係數、及以 R 平方值(R Square)表示之相關係數，可得如表 5-1 所示。進一步應用懸移質輸沙量與流量之迴歸分析關係(式 5-1)，則可得各分年內以月平均流量推估月平均懸移質輸沙量之結果，分別如表 5-2 至表 5-9 所示(廖 等,2013)。

至於，河川底床之推移質總量，本研究依據許 等(2010)及廖 等(2013)之研究推估，選取其為懸移質輸沙量之 25 %，並以河川懸移質與推移質之總和作為河川之總輸沙量，從而推估其對應的輸沙濃度。因此，自 2008 年至 2010 年間，臺灣重要河川各別之年平均流量與輸沙量，經計算可得結果如圖 5-2 所示(廖 等, 2013)。由圖觀察可見，各重要河川之年平均流量與輸沙量，分別以濁水溪及高屏溪為首。其中，就年平均流量而言，高屏溪最大，濁水溪居次；而就年平均輸沙量而言，濁水溪反而高於高屏溪。

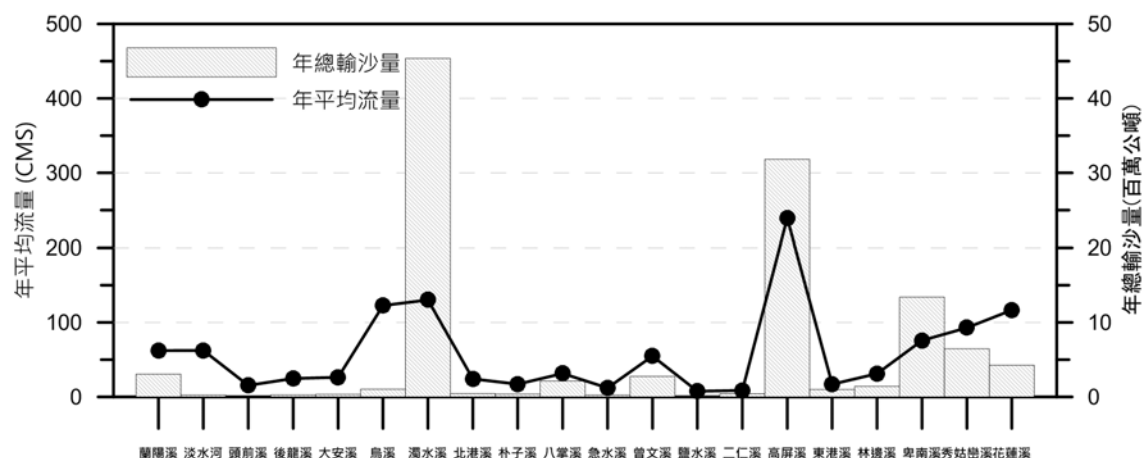


圖 5-2 臺灣重要河川自 2008 年至 2010 年之年平均流量與輸沙量

針對濁水溪及高屏溪之月平均流量與輸沙量，自 2008 年起至 2010 年期間，經統計計算可得結果(廖 等，2013)分別如圖 5-3 及 5-4 所示。由圖觀察可見，濁水溪及高屏溪，皆約在每年 6 月至 9 月之夏、秋季節裏，具有較大之月平均流量與輸沙量，其中，在夏末之 8 月期間，月平均流量與輸沙量通常高居全年各月之冠。

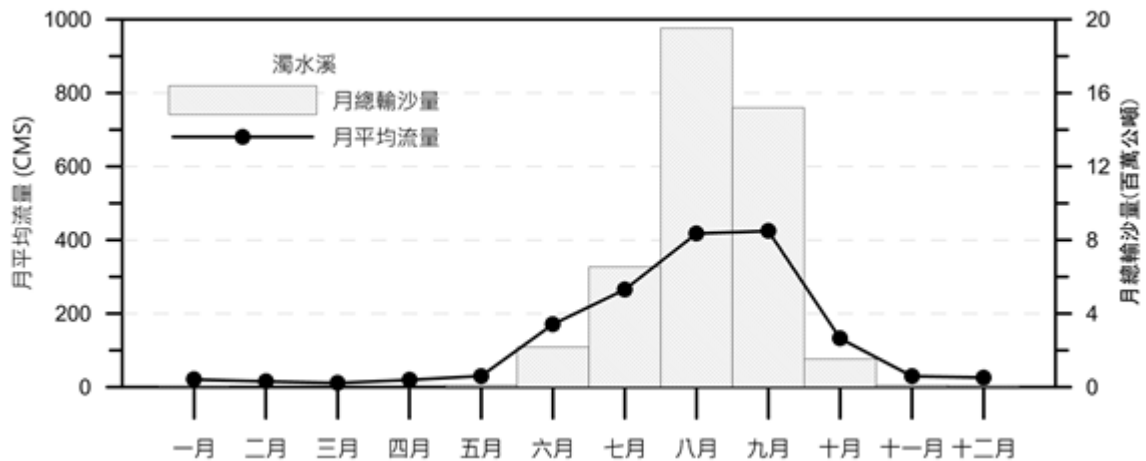


圖 5-3 濁水溪自 2008 年至 2010 年間之月平均流量與輸沙量

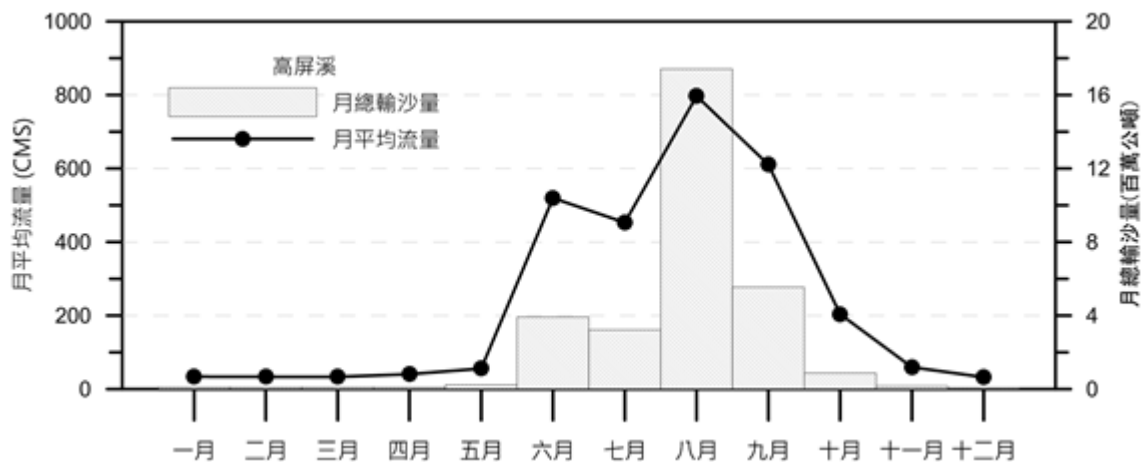


圖 5-4 高屏溪自 2008 年至 2010 年間之月平均流量與輸沙量

5.4 海域漂沙傳輸擴散模式

原始 POM 三維海流水模力數值模擬計算模式，並未涵括海域漂沙傳輸擴散模式。而為探討臺灣海域大尺度海流之輸沙潛勢特性、評估海流對海岸長期性沖淤之影響，故透過合作研究(廖 等，2013)，以 POM

模式中原始之溫、鹽傳輸擴散模式(式 3-34 與式 3-35)為基礎，參考 Wang (2002)之底質傳輸模式，重新自行研發並建置如下之海域漂沙濃度傳輸擴散模式。

針對海域之漂沙濃度 C_s ，其受海流流速 (U, V, W) 作用之三維傳輸擴散方程式可表示為

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} + \frac{\partial(UC_s)}{\partial x} + \frac{\partial(VC_s)}{\partial y} + \frac{\partial[(W + w_s)C_s]}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial C_s}{\partial z} \right) + F_c \quad \text{.....(5-2)}$$

式中， K_h 為垂直渦旋混合擴散係數； F_c 為水平擴散項； w_s 為漂沙之沉降速度。引用 Soulsby (1997)之經驗公式，其可依下式計算：

$$w_s = \frac{\nu}{d_{50}} \left[(10.36^2 + 1.049 D_*^3)^{1/2} - 10.36 \right] \quad \text{.....(5-3)}$$

$$D_* = \left[\frac{g(S' - 1)}{\nu} \right]^{1/3} d_{50} \quad \text{.....(5-4)}$$

式中， D_* 為無因次粒徑； $S' = \rho_s / \rho$ 為沙對水之相對密度； d_{50} 為漂沙中值粒徑； ν 為海水之運動黏滯性係數。

在邊界條件之設定上，忽略水面之漂沙傳輸擴散效應，側向邊界取為輻射邊界條件，即漂沙僅具與邊界垂直之傳輸擴散效應，而底床邊界條件，參考 Ariathurai 和 Krone (1976)之公式，其漂沙沉積與再懸浮量可表示為

$$K_h \frac{\partial C_s}{\partial z} = E_s, \quad z = -H \quad \text{.....(5-5)}$$

$$E_s = \begin{cases} E_0 \left(\frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right) & , \text{if } |\tau_b| > \tau_c \\ C_{sb} w_s \left(\frac{|\tau_b|}{\tau_c} - 1 \right) & , \text{if } |\tau_b| < \tau_c \end{cases} \quad \text{.....(5-6)}$$

式中， E_s 為底床傳輸通量，即其為漂沙沉積與再懸浮之淨通量； H 表底床之水深； E_0 為沖蝕參數； τ_c 為漂沙沉積與再懸浮之臨界剪應力； τ_b 為底床剪應力； C_{sb} 為底床之漂沙濃度。當海流之流速具有強弱變化時，由式(5-5)所示之底床傳輸通量變化，即可推估計算海域之漂沙沉積量。

很明顯地，從式(5-2)及式(5-5)可知，本研究之目的，並非在建構準確的地形變遷模式，而僅係藉漂沙濃度之傳輸擴散結果以評估大尺度海流之輸沙潛勢特性，從而探討其所造成之海岸長期沖淤趨勢與影響。因此，在式(5-2)之漂沙濃度傳輸擴散模式中，僅簡單地設定侵蝕參數 E_0 為 $10^{-4} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ；臨界剪應力 τ_c 為 1.0 N/m^2 ，據以進行臺灣海域漂沙傳輸擴散之模擬，同時依據式(5-6)進行漂沙沉積計算。

5.5 臺灣海域海流輸沙潛勢模擬

本研究中所指稱之海流輸沙潛勢，係泛指海流對漂沙輸運與沉積之潛在趨勢(potential trend)而言，主要內涵包括海流對漂沙的傳輸擴散能力、輸運方向、底床漂沙沉積量、及沉積範圍與形態等趨勢。計算海流輸沙潛勢之目的，主要即在透過數值模式，應用經由模擬計算所得之大尺度擬真海流(綜合洋流與潮流效應，參見圖 4-21 與圖 4-22 所示)，配合來自於河川輸沙之沙源(參見表 5-2 至表 5-9)，再藉海域漂沙傳輸擴散之濃度高低變化分布與漂沙沉積趨勢，據以評估其對海岸可能造成長期性之沖淤影響。

5.5.1 臺灣海域月平均之漂沙輸運與沉積潛勢

依據表 5-2 至表 5-9 所示針對 20 條河川所各別推估之月平均流量及輸沙量，計算臺灣海域逐月漂沙輸運與底床漂沙沉積趨勢，因此可得海表面水深層 1 月至 12 月各分月平均之海流、漂沙濃度、及底床漂沙沉積量分布圖，綜合如圖 5-5 所示。圖中，海流流速大小與流向以箭矢表示；漂沙濃度高低與底床漂沙沉積量多寡，則以藍紅色階表示，

紅色色階越深，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越高；藍色色階越淺，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越低。

逐月綜合觀察圖 5-5 可知，在臺灣海域之河川輸沙，其經擬真海流(參見圖 4-21 至圖 4-22)、優勢恆常海流(參見圖 4-23 至圖 4-24)、或月平均海流(圖 5-5)之傳輸擴散作用後，各月漂沙濃度與底床漂沙沉積量之分布特性均具有極明顯相同之趨勢，即底床漂沙濃度越高，則底床漂沙沉積量越大。僅管如此，在臺灣東、西部海域，由於地形水深、河川輸沙、與海流之傳輸擴散作用強弱等特性均具有明顯差異，故臺灣西部海域各月之漂沙濃度與底床漂沙沉積量，均較臺灣東部海域顯著且卓越。

單純針對臺灣西部海域臺灣海峽內之月平均漂沙濃度與底床漂沙沉積量而論，由圖 5-5 對照比較可知，在 1 月至 3 月期間，由於臺灣海峽內海流流速較弱，又適值各河川之枯水期，故較高之漂沙濃度與底床漂沙沉積量，普遍僅侷限在鄰接河口之近岸海域，總體之輸沙潛勢較不明確。

在 4 月至 6 月期間，由於東北季風期結束，臺灣海峽內之海流，流速已漸增強，故僅管尚未進入各河川之豐水期，較大之漂沙濃度與底床漂沙沉積量仍普遍侷限在鄰接河口之近岸海域，但總體之輸沙潛勢，已隨向北海流流速之增強而逐漸明確地陳現由南往北之輸沙方向與漂沙沉積趨勢。

在 7 月至 9 月期間，由於其為盛行西南季風期，在臺灣東部及臺灣海峽內之海流，均具有最強盛之流速，加以適逢各河川之豐水期，因此，高漂沙濃度與大沉積量，不僅陳現在鄰接河口之近岸海域，甚至擴及臺灣海峽之中、北段整體海域，其中，從臺中至嘉義海域，尤其是在濁水溪河口，漂沙濃度及底床漂沙沉積量均較其他海域優越；而在新竹至桃園海域，僅管頭前溪之河川流量與輸沙量不大，但在本域亦陳現有較高之漂沙濃度及沉積量。因此可判定，臺灣海域總體之輸沙潛勢，包括海流之優勢輸沙方向與底床漂沙沉積趨勢，應明確皆

是由南往北。此外，從圖 5-5 所陳示之底床漂沙沉積趨勢觀察尚可確認，臺灣西部海域之河川輸沙，主要沉積於南起濁水溪、北迄淡水河口之近岸海域。

在 10 月至 12 月期間，由於其適值秋末冬初東北季風逐漸盛行期，在臺灣東部及臺灣海峽內之海流，流速因此均逐漸減弱，加以各河川亦漸進入枯水期，故具有高漂沙濃度與大沉積量的海域，普遍地再回歸至與河口鄰接之近岸。惟總體之輸沙潛勢，仍隨向北之海流而陳現具有由南往北之輸沙方向與底床漂沙沉積趨勢。

5.5.2 臺灣海域分季與分年平均之海流輸沙潛勢

依據圖 5-5 所示臺灣海域海表面水深層各分月平均之海流、漂沙濃度、及底床漂沙沉積量，以 3 至 5 月為春季、6 至 8 月為夏季、9 至 11 月為秋季、12 至次年 2 月為冬季，進一步作分季與分年平均之海流及輸沙濃度與底床漂沙沉積潛勢統計分析，因此可得分季與分年平均之海流及輸沙濃度與漂沙沉積量，分別如圖 5-6 至圖 5-10 所示。圖中，海流流速大小與流向以箭矢表示；漂沙濃度高低與底床漂沙沉積量多寡，則以藍紅色階表示，紅色色階越深，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越高；藍色色階越淺，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越低。另外，為對照分析，俾利瞭解臺灣海域不同水深層及個別河川輸沙之分季與分年平均輸沙潛勢特性，因此，圖 5-6 至圖 5-10 中，尚含括陳示臺灣海域 40 米等水深層及單獨考量濁水溪(具有全臺最大河川輸沙量)影響下之分季與分年平均輸沙潛勢。

綜合觀察圖 5-6 至圖 5-9 可見，在臺灣東、西部海域，由於地形水深、河川輸沙、與海流(參見圖 4-21 至圖 4-24)之傳輸擴散作用強弱等特性所具有之區域性差異，故在統合 20 條河川輸沙條件下，臺灣西部海域海表層及 40 米等水深層之各季漂沙濃度傳輸擴散形態與底床漂沙沉積量趨勢，均較臺灣東部海域顯著且卓越。另外，在臺灣西部海域，無論是統合 20 條河川輸沙或單獨考量濁水溪之輸沙，其在海表層與 40 米等水層所造成之各季漂沙濃度傳輸擴散形態與底床漂沙沉積量趨

勢，亦均極相似，因此可見，具有全臺最大河川輸沙量之濁水溪，確實會在臺灣西部海域，對各季之漂沙濃度傳輸擴散形態與底床漂沙沉積趨勢造成顯著且關鍵之影響。

針對河川輸沙之影響性，在圖 5-6 至圖 5-9 中，首先，僅就臺灣西部海域之海表層而論，則在統合 20 條河川輸沙條件下，從各分季之漂沙濃度與底床漂沙沉積趨勢分布觀察可知，在春季期間，由於臺灣海峽內海流流速較弱，又適值各河川之枯水期，故較大之漂沙濃度與沉積量，普遍僅侷限在鄰接河口之近岸海域，總體之輸沙潛勢，隨海流向北之優勢流向而約略陳現為由南向北。

在夏季期間，由於東北季風期結束，且漸進入盛行西南季風期，臺灣海峽內之海流，流速已漸增強，加以各河川逐漸進入豐水期，故較大之漂沙濃度與沉積量，不再僅侷限在鄰接河口之近岸海域，尚且普遍擴及臺灣北部海域，總體之輸沙潛勢，已隨向北海流流速之增強而逐漸明確地陳現由南往北之輸沙方向與底床漂沙沉積趨勢。

在秋季期間，由於其為盛行西南季風期，全臺環島海域內之海流，均具有最強盛之流速，加以各河川適逢颱風之豐水期，因此，高河川輸沙量在強勁海流傳輸擴散作用下，促使高漂沙濃度與大沉積量，不僅陳現在鄰接河口之近岸海域，甚且擴及臺灣海峽之中、北段整體海域，其中，從臺中至嘉義海域，尤其是在濁水溪河口，漂沙濃度及沉積量均較其他海域優越；而在新竹至桃園海域，僅管頭前溪之河川流量與輸沙量不大，但在本域亦陳現有較高之漂沙濃度及沉積量。因此可判定，臺灣海域總體之輸沙潛勢，包括海流之優勢輸沙方向與底床漂沙沉積趨勢，應明確皆是由南往北。

在冬季期間，由於逐漸進入東北季風盛行期，在臺灣東部及臺灣海峽內之海流，流速因此均逐漸減弱，各河川亦進入枯水期，故具有高漂沙濃度與大沉積量的海域，普遍地再回歸至與河口鄰接之近岸。惟總體之輸沙潛勢，仍隨向北之海流而陳現具有由南往北之輸沙方向與底床漂沙沉積趨勢。

其次，於僅單獨考量濁水溪之河川輸沙情況下，再就圖 5-6 至圖 5-9 中臺灣西部海域之海表層輸沙潛勢而論，從各分季之漂沙濃度與底床漂沙沉積趨勢分布觀察可知，在春季期間，由於時值濁水溪之枯水期，河川輸沙在海流之傳輸擴散作用下，較大之漂沙濃度與沉積量，或輸沙潛勢之影響範圍，普遍僅侷限在鄰接河口之近岸海域。

在夏季期間，濁水溪逐漸進入颱風之豐水期，較大的河川輸沙量，在逐漸增強的海流作用下，輸沙潛勢之影響範圍，不再僅侷限在與河口鄰接之近岸，對於遠在臺灣北部之桃園至淡水海域，甚至是臺灣西北部外海，亦皆將面對衝擊。

在秋季期間，濁水溪進入颱風之豐水期，大的河川輸沙量在強勁的海流作用下，輸沙潛勢之影響範圍，除了在與河口鄰接之雲、嘉、南近岸海域外，甚且會擴及臺灣海峽之中、北段整體海域。

在冬季期間，濁水溪回復進入枯水期，稀少的河川輸沙在弱海流之傳輸擴散作用下，輸沙潛勢之影響範圍，除了再回歸至與河口鄰接之近岸海域外，甚且會擴及臺灣之中、北部近岸海域。

接著，統合 20 條河川輸沙與單獨考量濁水溪輸沙，並分別應用月平均之結果進行年平均統計分析，因此，臺灣海域之年平均輸沙潛勢，可綜合整理如圖 5-10 所示。圖中，先就統合 20 條河川輸沙在海表層及 40 米等水深層之漂沙濃度分布與底床漂沙沉積形態觀察可知，臺灣環島海域，在擬真海流(參見圖 4-21 至圖 4-22)、優勢恆常海流(參見圖 4-23 至圖 4-24)、或年平均海流(圖 5-10)之傳輸擴散作用下，漂沙濃度分布與漂沙沉積形態，均受河川輸沙所影響，其中，在臺灣中西部之雲、嘉、南海域，尤其具有最高之年平均漂沙濃度及漂沙沉積量，而在新竹至桃園之臺灣西北部海域及高屏溪口之臺灣西南部海域，亦明顯可見局部區域性相對較高之年平均漂沙濃度及漂沙沉積現象。此外，將圖 5-10 所示臺灣環島海域之年平均底床漂沙沉積形態與圖 2-7 所示之大尺度水下沙體沉積形態(莊、江，2002)作對照，可見兩者之沉積形態，部分甚具相似性，尤其是位在雲、嘉、南海域之雲彰隆起。因此，這

一相似性應可用以說明，臺灣環島海域之大尺度水下沙體沉積形態，不僅與統合 20 條河川之河川輸沙相關，更直接受擬真海流(參見圖 4-21 至圖 4-22)、優勢恆常海流(參見圖 4-23 至圖 4-24)、或月、季、年平均海流(參見圖 5-5 至圖 5-10)之傳輸擴散作用所影響。

最後，就單獨考量濁水溪輸沙在海表層及 40 米等水深層所引致之漂沙濃度分布與漂沙沉積形態觀察可知，臺灣中西部之雲、嘉、南近岸海域及臺灣西北部之新竹至桃園近岸海域，之所以具有全臺相對較高年平均漂沙濃度及漂沙沉積量之原因，主要均係受濁水溪輸沙影響所致。

5.6 臺灣海域海流對海岸長期性沖淤之影響

海岸之沖淤或海灘地形變化，一般可依據漂沙連續方程式進行評估計算(許，2001)。而就 $x-y$ 平面方向上具特定水深 h 之單位海域水體而言，漂沙連續方程式可以二維形式表示為

$$\frac{\partial d}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (5-7)$$

式中， d 為水深 h 之逐時沖淤變化量； λ 為沉積漂沙之孔隙率(porosity)； q_x 與 q_y 分別可用下式表示

$$\left. \begin{aligned} q_x &\approx C_s h U \\ q_y &\approx C_s h V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-8)$$

其係為 $x-y$ 方向通過特定水深斷面之漂沙傳輸通量；而 C_s 與 (U, V) 分別為對應之平均漂沙濃度與流速。

將式(5-8)代入式(5-7)後，再將其與式(5-2)所示的海域漂沙三維傳輸擴散方程式作對照比較，可見只要對式(5-2)作二維化之水深積分，則式(5-2)內之海域漂沙傳輸擴散濃度逐時變量，將可以式(5-7)內之水

深沖淤逐時變化量作等效比擬。亦即是在 $x-y$ 平面上具特定水深 h 之單位海域水體中，若漂沙經海流之傳輸擴散作用後，其漂沙濃度或底床漂沙沉積量具有逐時之遞增性，則海域之水深將逐時陳現為淤積形態；反之，則為沖蝕。換言之，當海域之漂沙長期性經海流之逐時傳輸擴散作用後，若累積之漂沙濃度為高，則該海域即具有高淤積潛勢；而若累積之漂沙濃度低，則具有低淤積潛勢，甚或具有沖蝕潛勢。

如上所述，對於臺灣海岸之沖淤或海灘地形變化，僅管其可依據式(5-7)所示之漂沙連續方程式進行評估計算，惟依據現地調查及相關研究報告指述，國內的海岸，長期性且普遍性皆面對嚴重的沖蝕，淤積之海岸或海灘，實際上已甚稀少且不多見。基於此一國內海岸所陳現大規模、長期性之沖蝕現實，進行海岸長期性沖淤潛勢評估，實際即可轉換為先行依據式(5-2)及式(5-5)計算海灘沖蝕漂沙之長期性漂沙濃度累積分布，然後，接續地再以海域之漂沙沉積趨勢作為評估重點。至於海岸或海灘實際之沖蝕漂沙，由於其不僅與颱風期間之河川輸沙量相關，更受局部近岸海域複雜多變之波浪特性所影響，惟為符合進行海岸長期性沖淤潛勢評估之單純目的，故而在本研究中，將不作近岸海域準確之漂沙來源與數量探求，而替代地僅以表 5-2 至表 5-9 所示經簡化的河川輸沙作比擬。

針對臺灣 20 條河川所各別推估之月平均流量及輸沙量(參見表 5-2 至表 5-9)，依據式(5-2)及式(5-5)計算，並以 3 至 5 月為春季、6 至 8 月為夏季、9 至 11 月為秋季、12 至次年 2 月為冬季，進行分季之統計分析(參見圖 5-6 至圖 5-10)，因此可得臺灣海域四季之海表層海流與海域漂沙濃度累積分布及底床之漂沙沉積趨勢，分別如圖 5-11 及圖 5-12 所示。圖中，海流流速大小與流向以箭矢表示；漂沙濃度高低與底床漂沙沉積量多寡，則以藍紅色階表示，紅色色階越深，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越高；藍色色階越淺，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越低。

在圖 5-11 及圖 5-12 中，首先，就分季之海流特性綜合觀察可知，臺灣海域之海流，其流速隨季節雖有強、弱之變化，但在臺灣海域，

無論是東部的西太平洋海域或西部之臺灣海峽海域，總體季平均之流向，四季皆陳現為由南而北。進一步將其與圖 4-23 及圖 4-24 所示之優勢恆常海流流場作對照，可見兩者具有甚相似之一致性。因此可確認，臺灣近岸或河口海域之大尺度海流，其流向明顯具有由南而北的優勢恆常特性。

其次，就圖 5-11 所示之分季漂沙濃度累積分布綜合觀察可知，臺灣東、西部之近岸及河口海域，四季均具有相對較高的漂沙濃度分布。而在臺灣西部海域，於夏、秋季之河川豐水期，具有高漂沙濃度之海域，甚至可擴及至臺灣海峽之中、北段整體海域。其中，從臺中至嘉義海域，尤其是在濁水溪河口，四季之漂沙濃度均較其他海域高；而在新竹至桃園海域，亦陳現有較高之漂沙濃度。因此可判定，臺灣總體海域，在流向由南而北的優勢恆常海流作用下，輸沙潛勢，明確亦為由南往北。

最後，對照圖 5-11，並就圖 5-12 所示之分季漂沙沉積量分布綜合觀察可知，臺灣環島近岸海域，由於河川輸沙之直接影響，四季之漂沙濃度，相對於離岸海域，普遍均較高，尤其是在臺灣西部海域，於夏、秋季之河川豐水期，具有較高漂沙濃度之海域，甚至可擴及臺灣海峽之中、北段整體海域。故而配合式(5-2)及式(5-7)之等效比擬，從四季各別累積之漂沙濃度高低分布特性研判，漂沙沉積之方向趨勢，主要亦為由南往北。因此，從臺南至桃園之近岸海域，四季應皆具有明確較高的漂沙沉積趨勢。

綜合而論，臺灣西部海岸或海灘雖然普遍陳現沖蝕，但沖蝕的漂沙，依據漂沙沉積趨勢進行評估，其實際具有沉淤在臺灣海峽中、北段海域的趨勢。其中，受具有全臺最大河川輸沙量之濁水溪影響，在雲、嘉、南近岸海域，漂沙沉積趨勢最顯著。而這一現象，或許可用以輔助闡釋位在雲、嘉、南海域之雲彰隆起(參見圖 2-1)及大尺度水下沙體沉積(參見圖 2-7)形成之原因。

表 5-1 臺灣 20 條河川自 2008 至 2010 年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		
	a	b	R 平方值	a	b	R 平方值	a	b	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 5-2 臺灣 20 條河川 2008 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 5-3 臺灣 20 條河川 2009 年月平均流量統計表(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 5-4 臺灣 20 條河川 2010 年月平均流量統計表(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 5-5 臺灣 20 條河川 2008 年至 2010 年之月平均流量統計表(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	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 5-6 臺灣 20 條河川 2008 年月平均河川懸移質輸沙量(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
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 5-7 臺灣 20 條河川 2009 年月平均河川懸移質輸沙量(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
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 5-8 臺灣 20 條河川 2010 年月平均河川懸移物質輸沙量(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
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 5-9 臺灣 20 條河川 2008 年至 2010 年月平均之河川懸移質輸沙量(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	823553.89	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

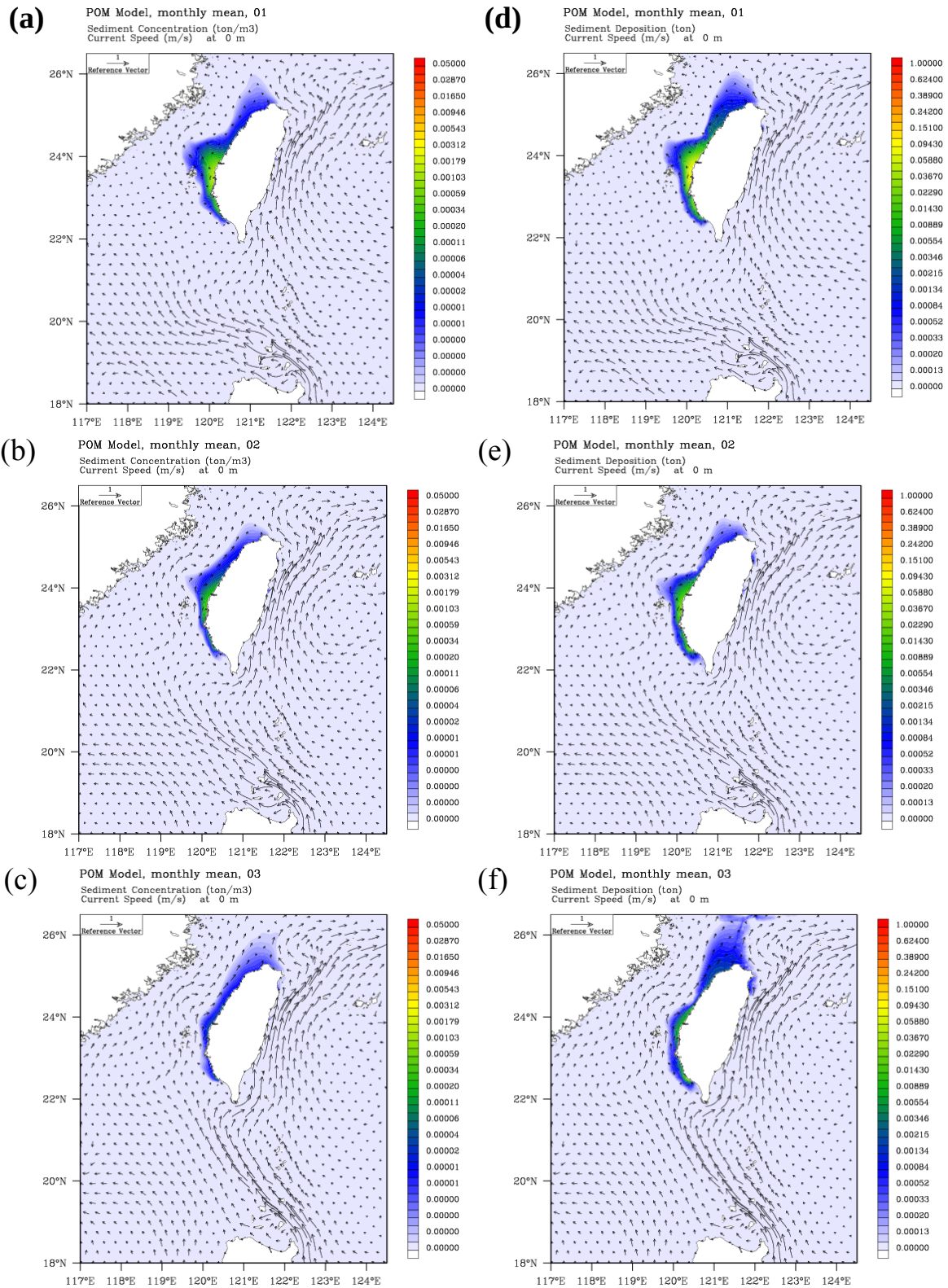


圖 5-5 臺灣海域 1 月至 3 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖

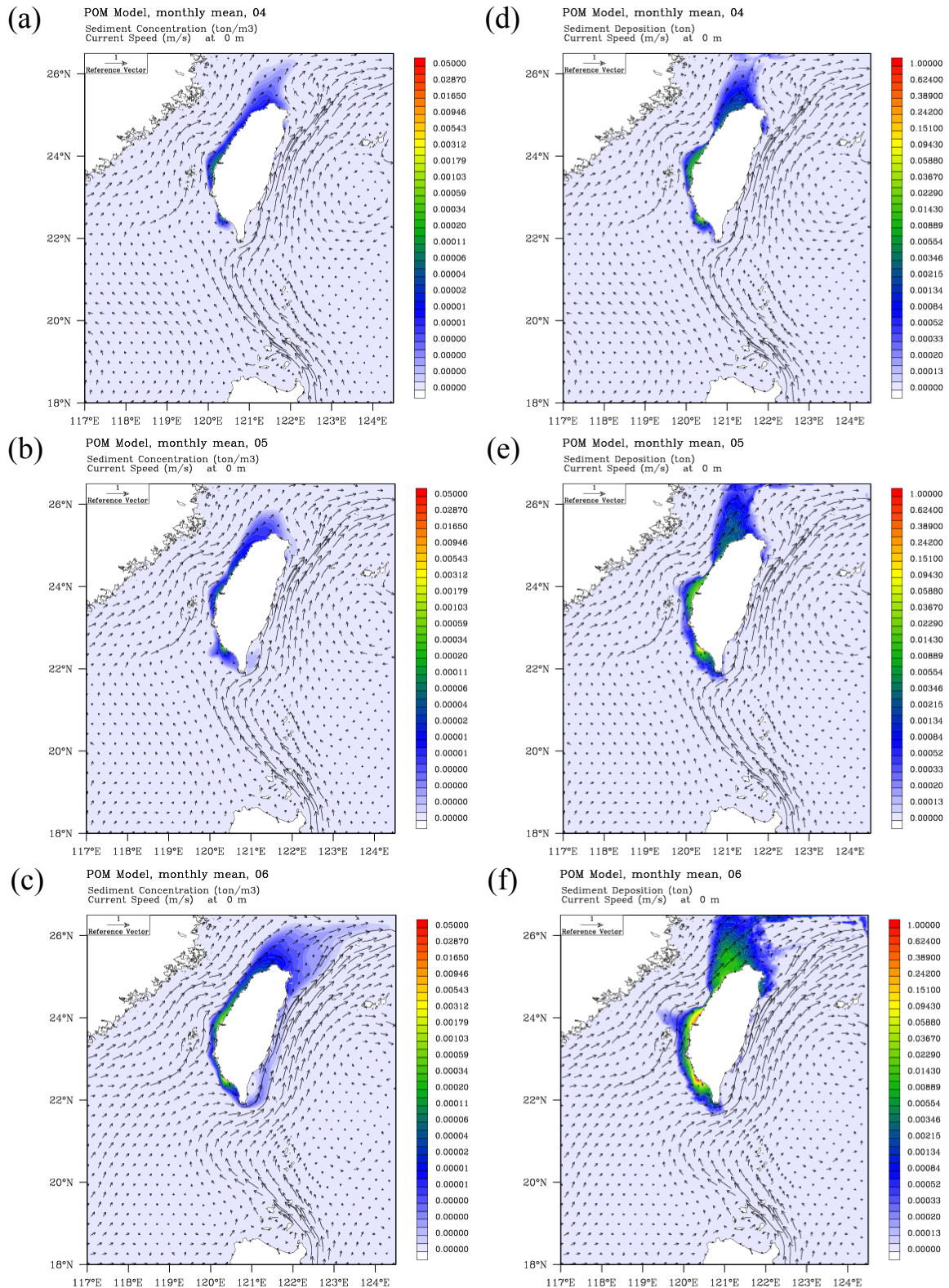


圖 5-5(續) 臺灣海域 4 月至 6 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度
(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖

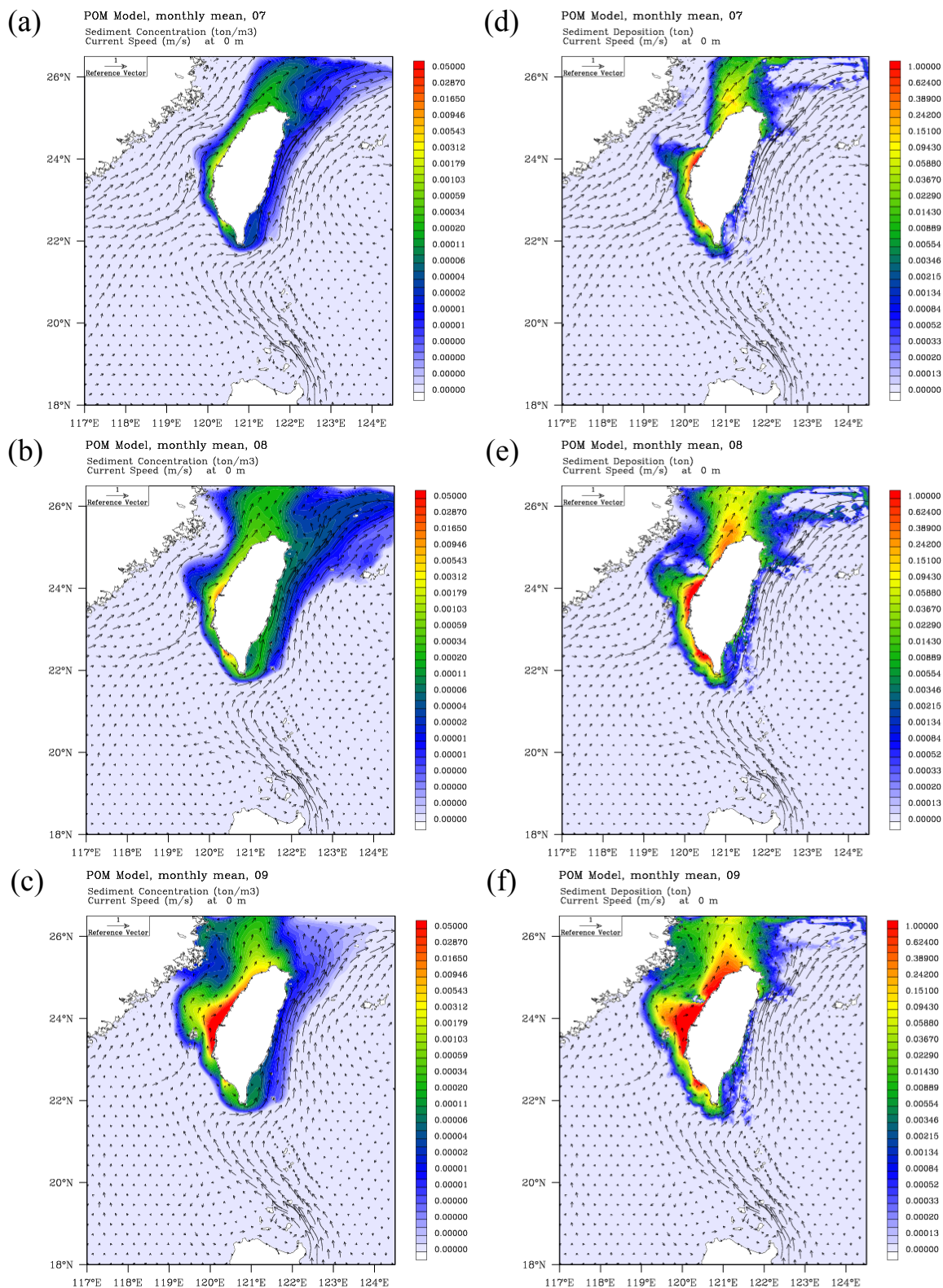


圖 5-5(續) 臺灣海域 7 月至 9 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖

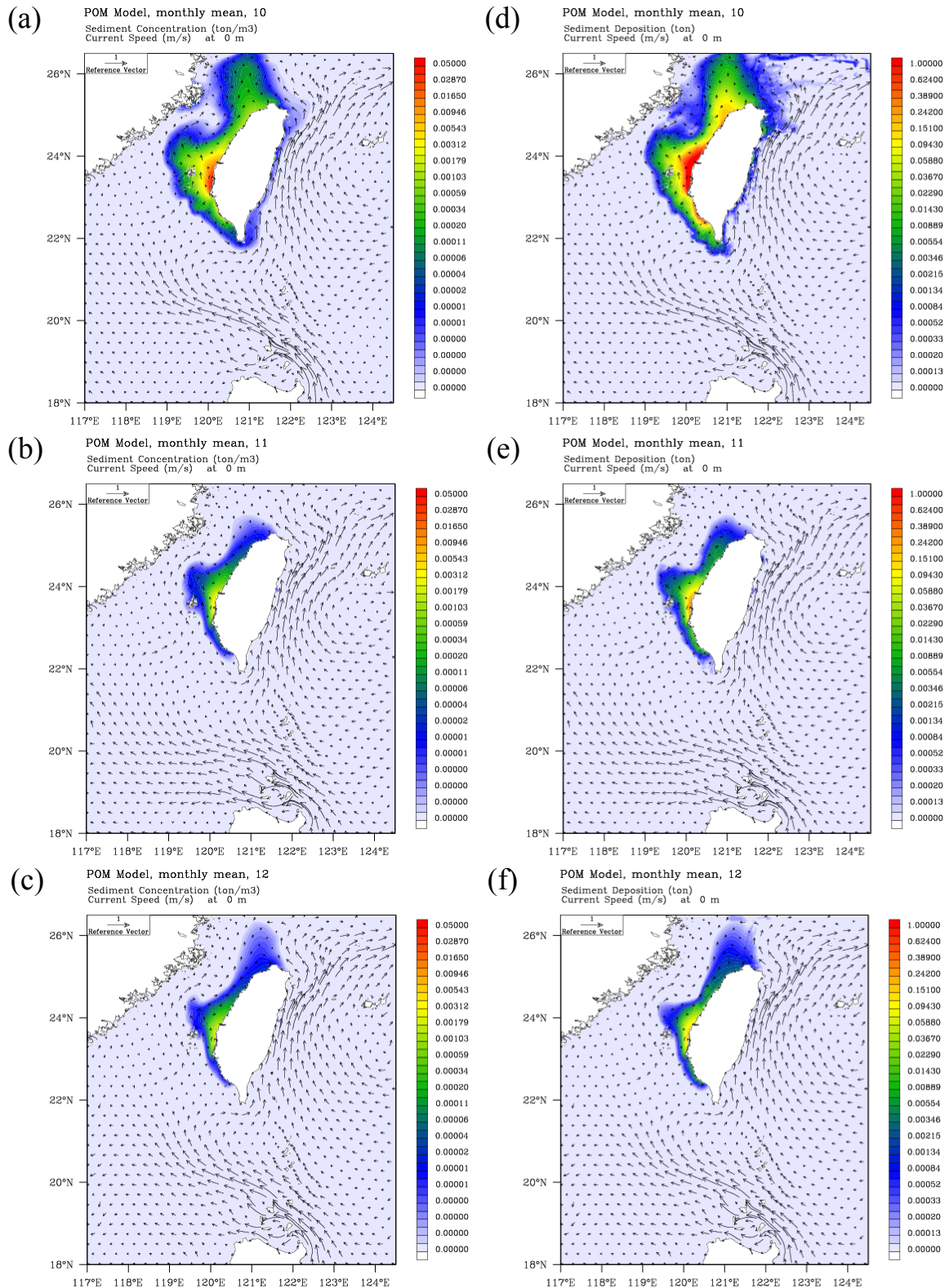


圖 5-5(續) 臺灣海域 10 月至 12 月(由上而下)模擬計算之月平均漂沙濃度(左)與底床漂沙沉積量(右)分布圖

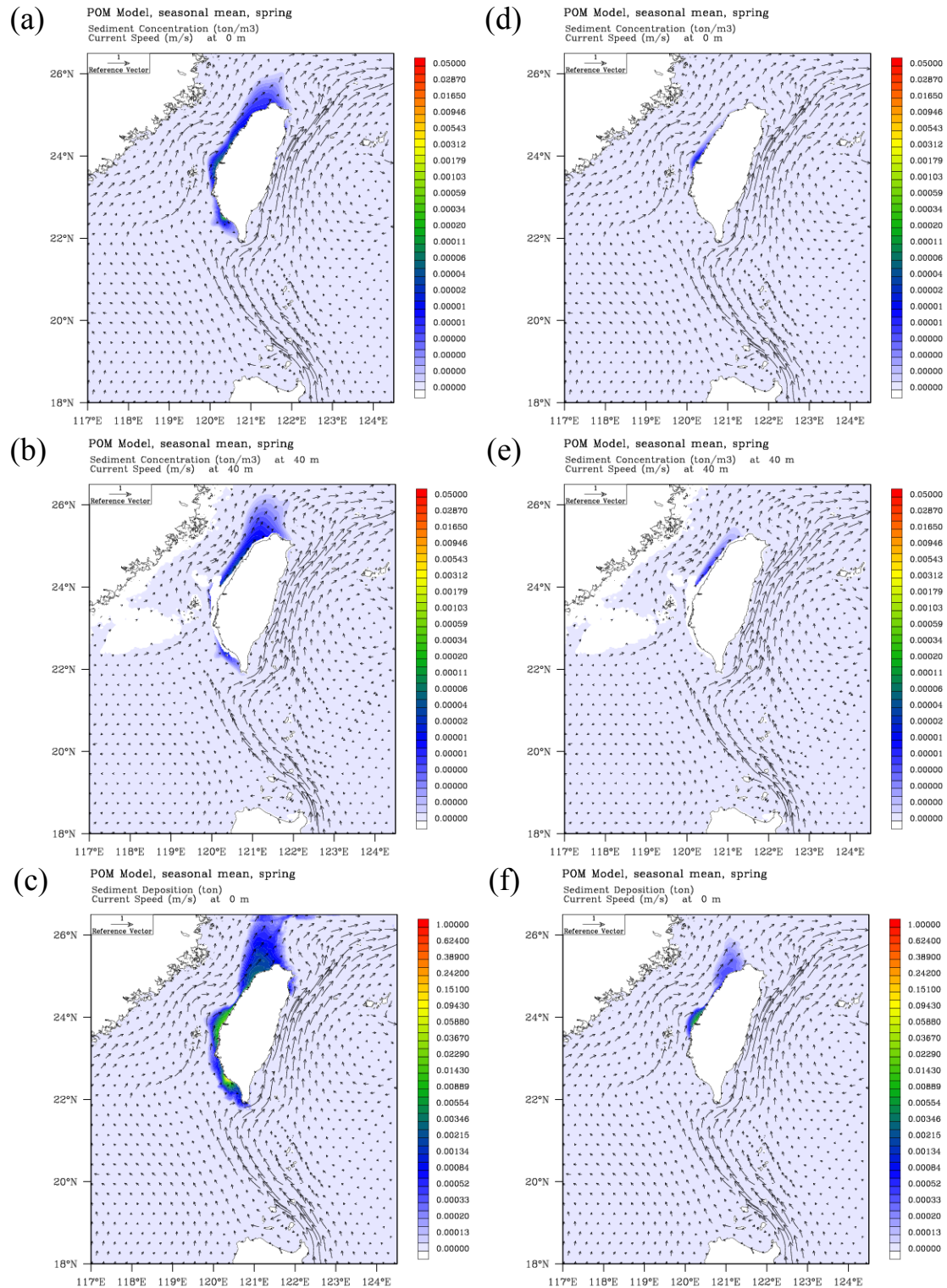


圖 5-6 臺灣海域春季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之春季平均漂沙沉積量(下)分布圖

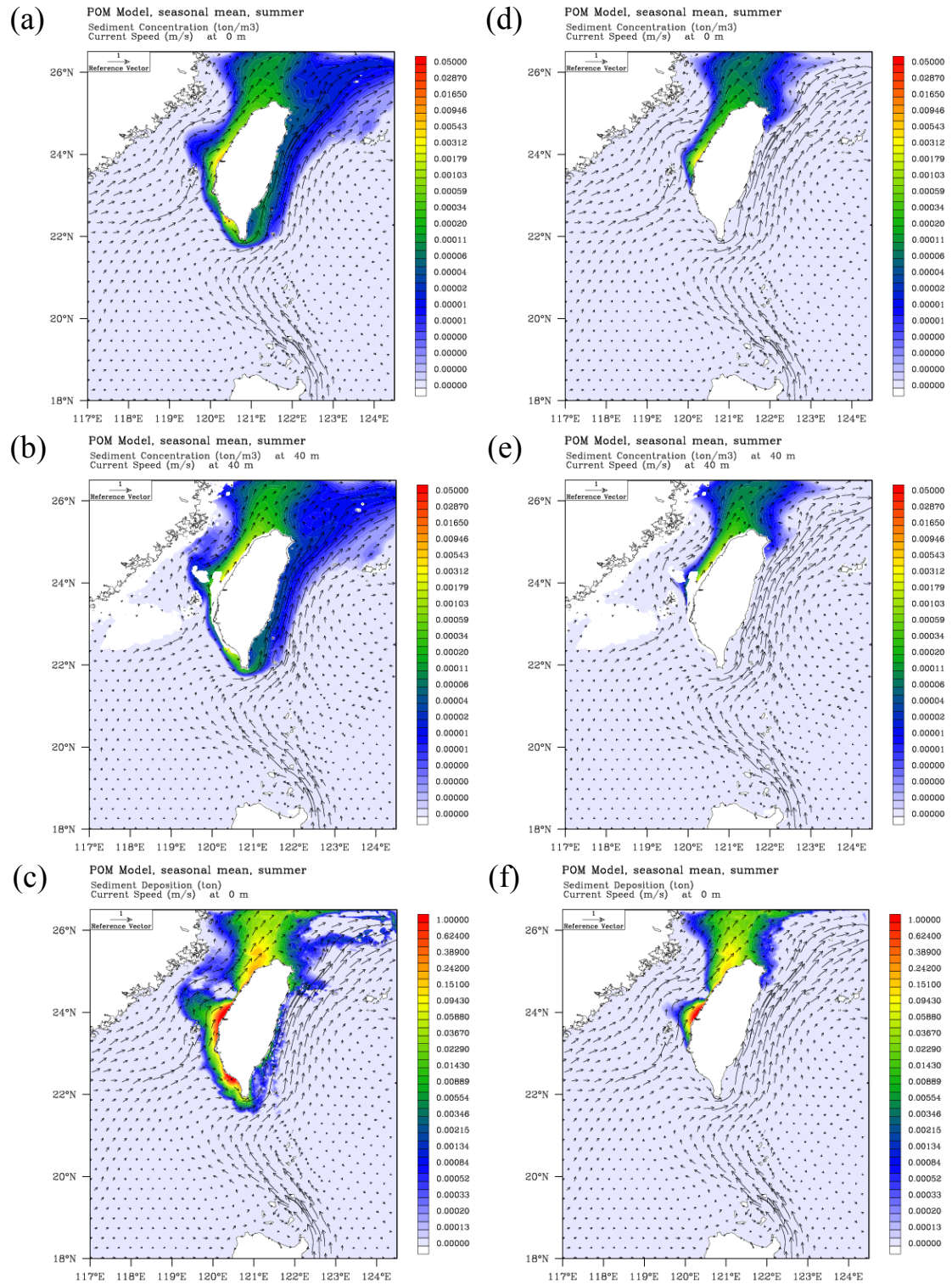


圖 5-7 臺灣海域夏季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之夏季平均漂沙沉積量(下)分布圖

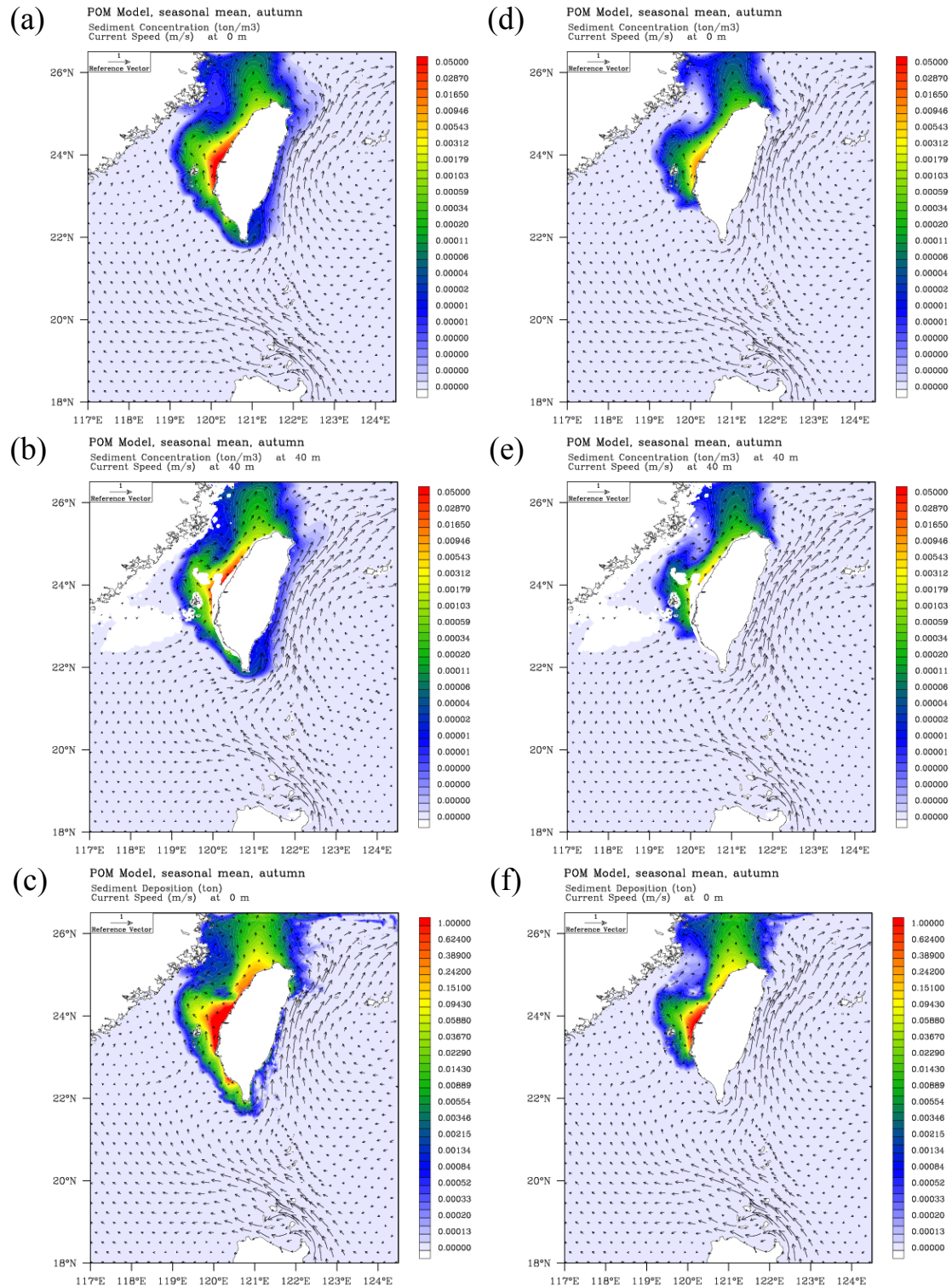


圖 5-8 臺灣海域秋季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之秋季平均漂沙沉積量(下)分布圖

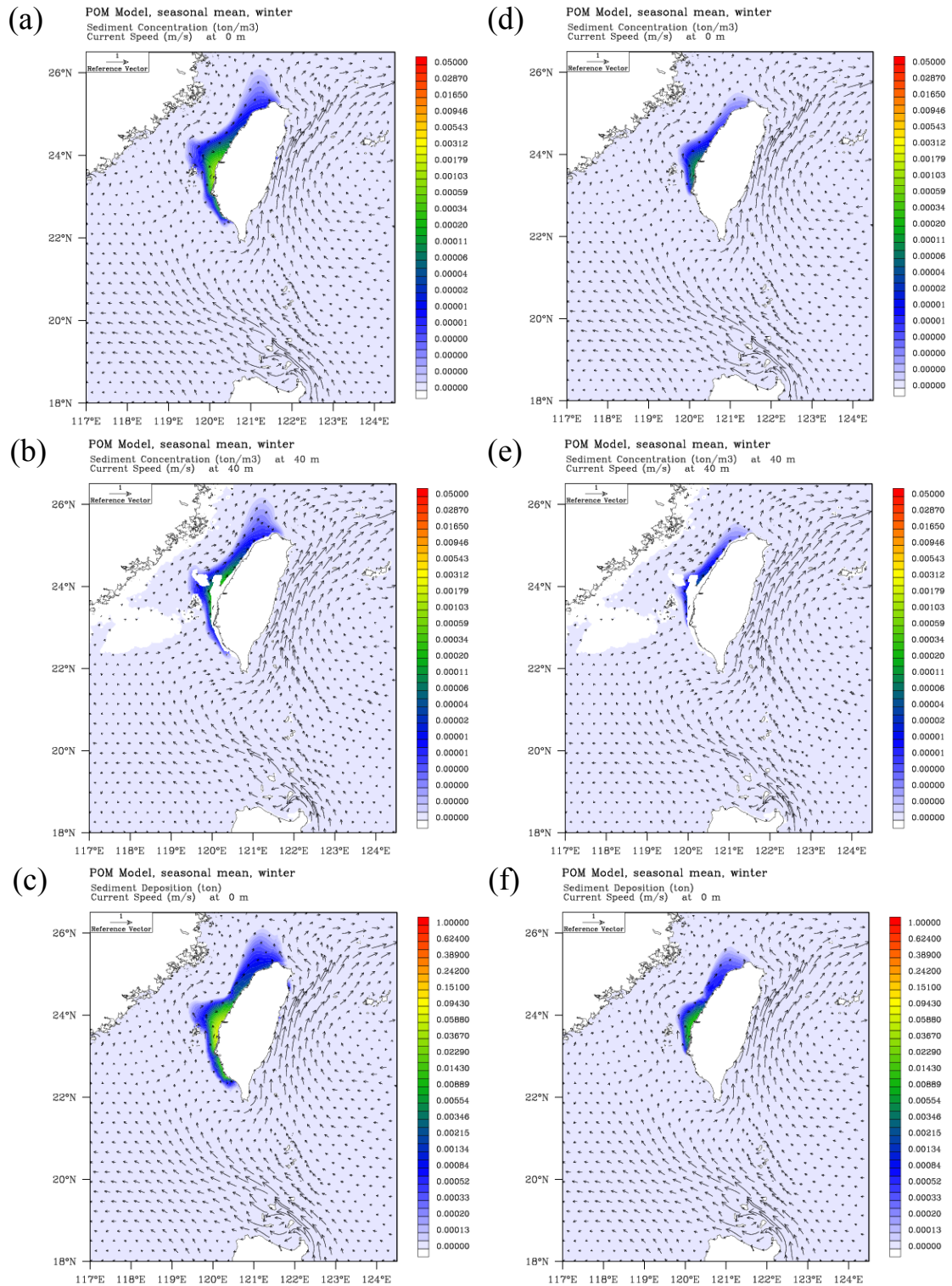


圖 5-9 臺灣海域冬季之平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之季平均漂沙濃度(色階)及底床之冬季平均漂沙沉積量(下)分布圖

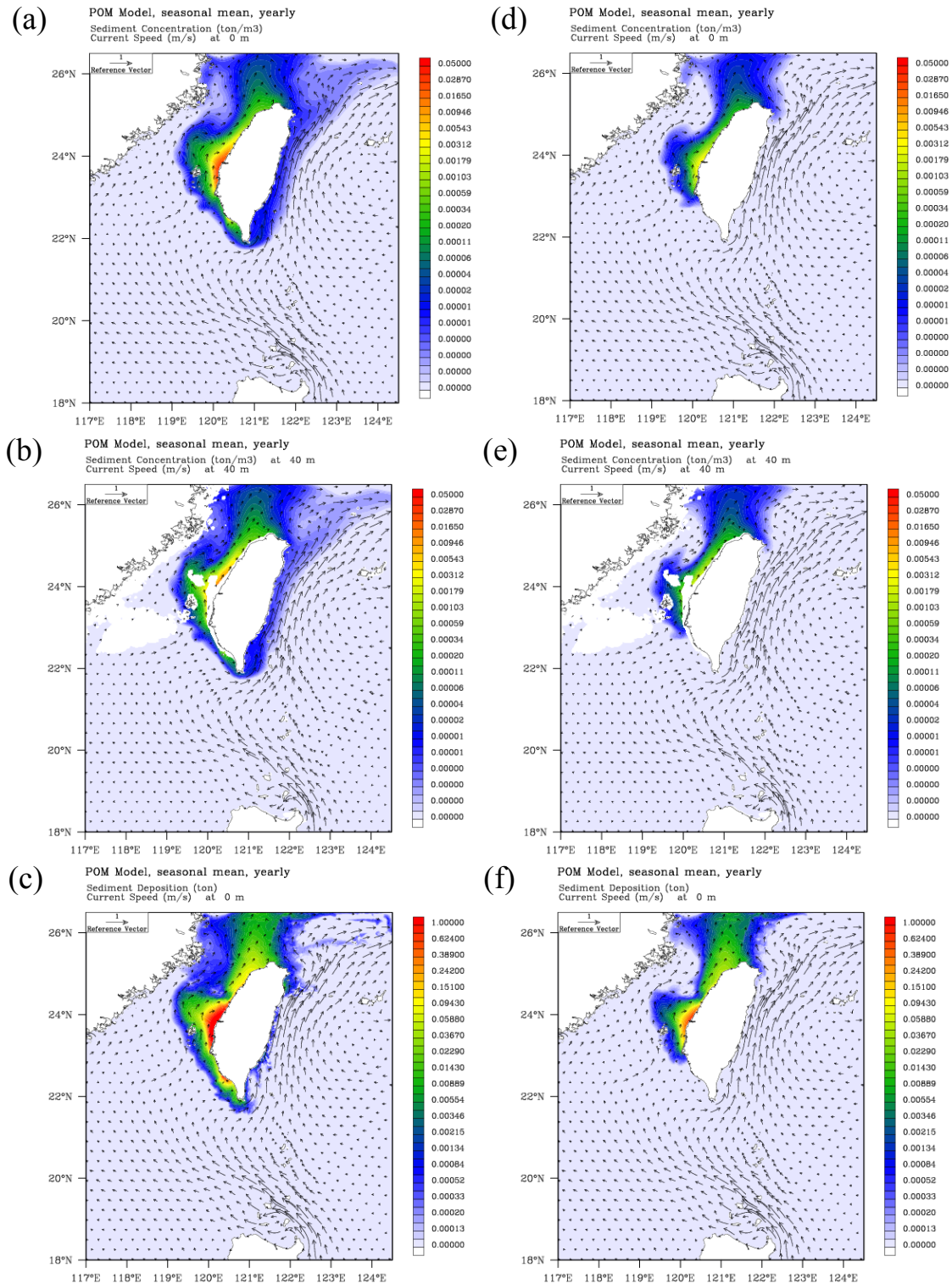


圖 5-10 臺灣海域之年平均海流(箭矢)及由 20 條河川(左)與濁水溪個別(右)輸沙所引致之海域表層(上)與 40 米等水深層(中)之年平均漂沙濃度(色階)及底床之年平均漂沙沉積量(下)分布圖

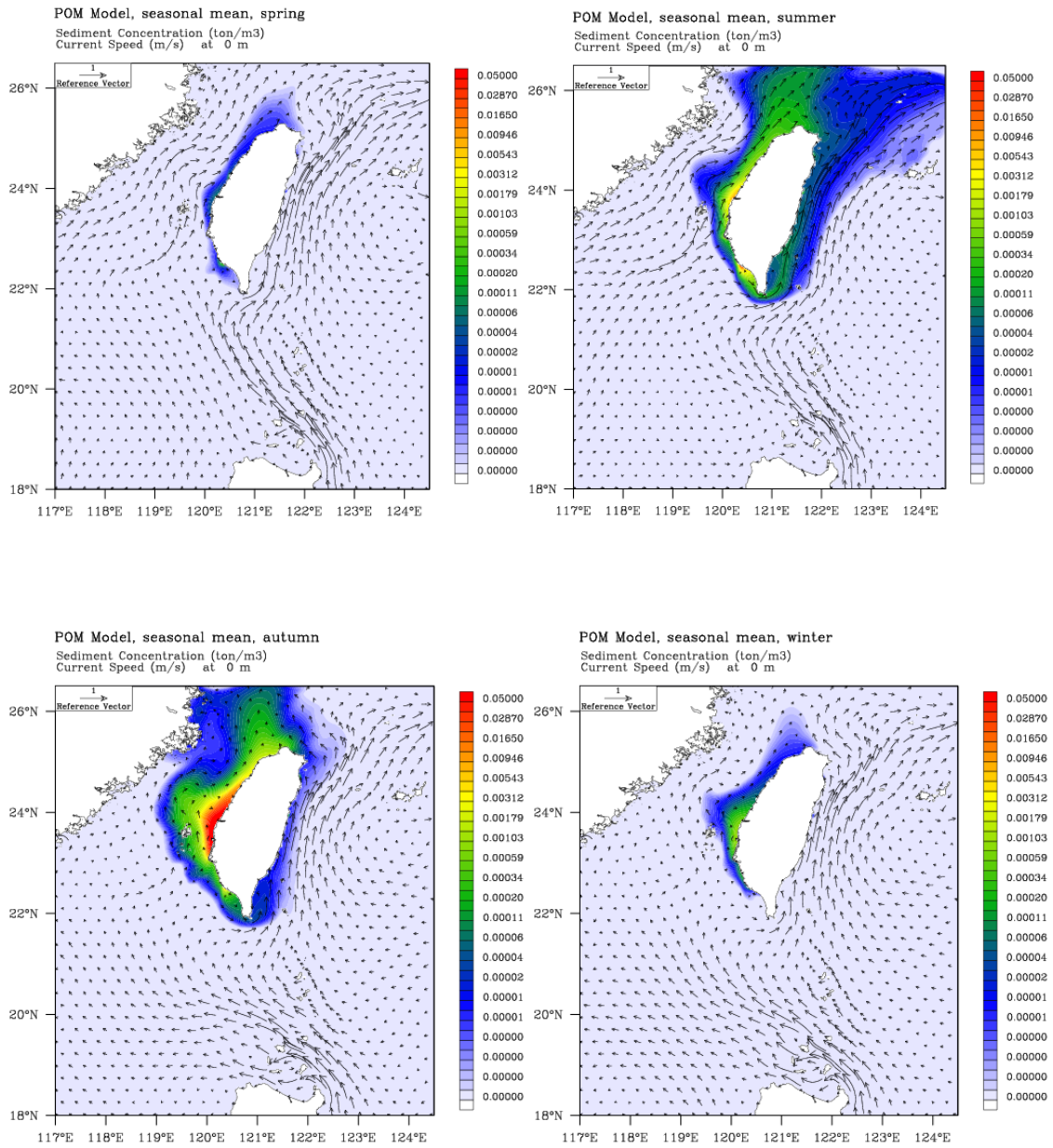


圖 5-11 臺灣海域海表層春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)四季之季平均海流(箭矢)與輸沙潛勢(色階)

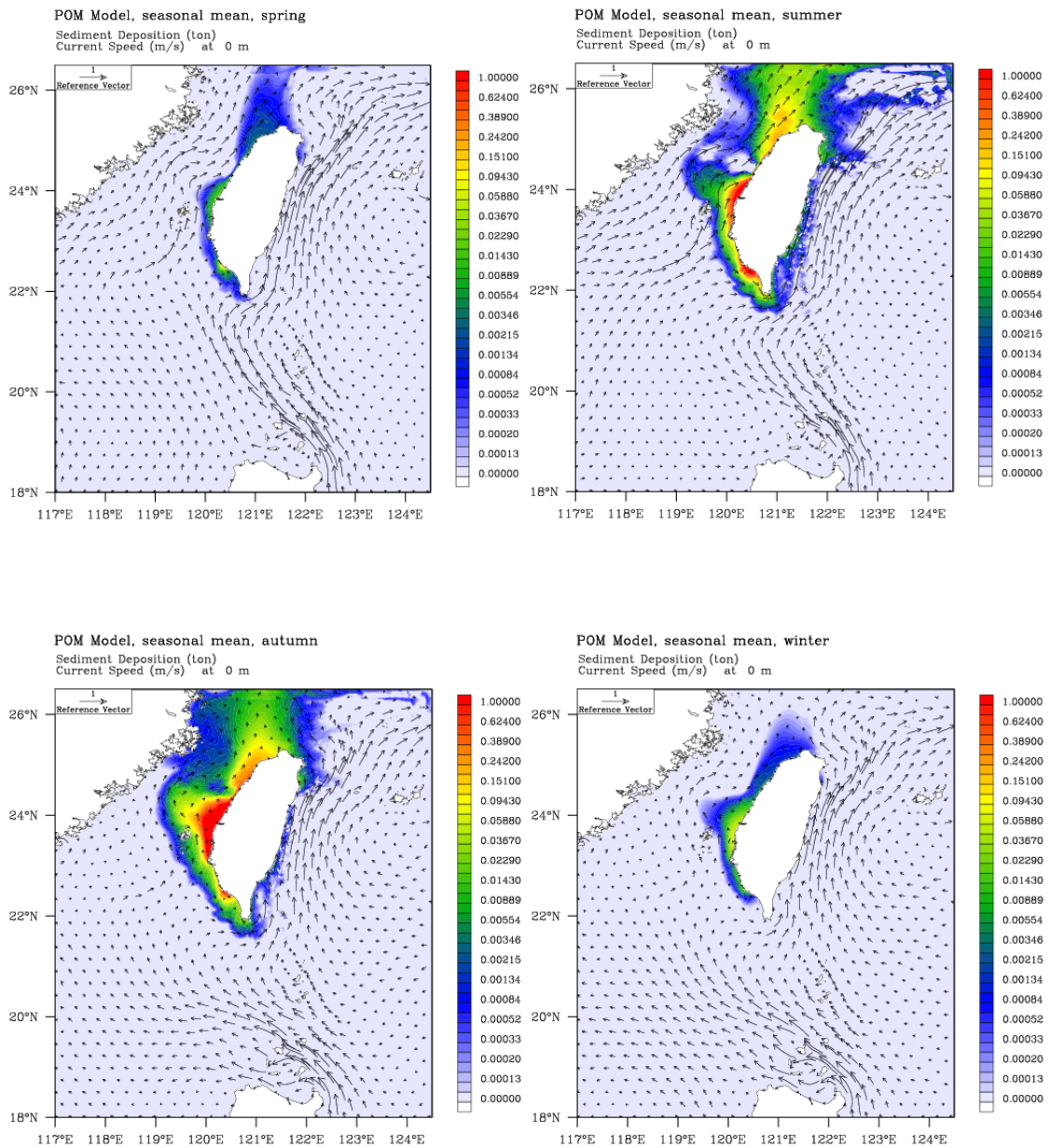


圖 5-12 臺灣海域海表層春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)四季之季平均海流(箭矢)與底床之漂沙沉積潛勢(色階)

第六章 結論與建議

6.1 研究目的與問題簡述

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：月或季變動特性、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，本年度研究之目的，主要在針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，引進建置美國普林斯頓大學新進發展公開之海洋數值模式 POM (Princeton Ocean Model)，利用其三維模式的特性，建立作業化的程序，再透過數值模式的應用，完成臺灣四周海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流模擬，進而先行掌握優勢恆常海流之流速與流向特性。

接著，本研究將就臺灣海岸普遍嚴重的沖蝕現實與颱風期間河川顯著的輸沙特性，再結合擬真海流對漂沙之傳輸擴散作用，應用分月、分季、分年之漂沙輸運潛勢與大尺度之漂沙沉積趨勢，分析探討臺灣環島近岸海域因優勢海流所衍生長期性、大規模之優勢輸沙潛勢，最後，以定性方式，闡釋臺灣環島沿岸海域的長期輸沙優勢方向與海岸的自然沖淤趨勢，達成「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」之年度研究目標，並具體完成四年期全程研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之研究總目標，從而藉以落實港灣及海岸水動力數值模擬之應用，深入研究港灣及海岸水理，改善港灣環境，維護海岸穩定，配合採行「自然生態工法」策略，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，精進災害風險評估系統，補充既有地球環境科技監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升近岸海域災害應變與預警能力，達成「藍色國土」之保育，促進領海資源之「永續經營及利用」。

本研究課題，與海洋資源的開發及海洋能源的永續利用息息相關，其不僅具有本土化特色，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。因此，本研究之推展與深化，不僅將有助於適合本土性自然工法及先期水海環境資源保育技術之研發，最重要的，尚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。

6.2 結論

針對「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」進行研究，所得主要之結論，綜述如后：

- (1) 應用 POM 三維海流水動力模式，本研究已可綜合洋流與潮流效應，充分有效地模擬計算臺灣海域之擬真海流。其中，東部海域的黑潮洋流、西南部海域的套流、及臺灣海峽海域內的黑潮支流或西南風吹送流等重要的海流特性，均可清晰陳現。
- (2) 自綜合洋流與潮流效應之擬真海流中，以逐時對應方式，扣除具週期性而往復流動之潮流，即可概略地掌握臺灣海域之恆常海流特性。
- (3) 臺灣海域之恆常海流，不分季節性且不論潮位之高低漲退，海流流向皆具有由南向北之恆常優勢特性。惟在臺灣海峽之南、北兩端海域，恆常海流流速會受潮流影響，而隨潮位之高低、漲退，分別作強弱消長之變化；至於在臺灣東部海域，恆常海流之流速與流向均甚固定，因其主要陳現黑潮洋流之特性。
- (4) 臺灣海域之漂沙，在大尺度擬真海流輸運下，主要之輸沙與沉積潛勢，均與恆常海流之流向一致，皆具有由南而北的特質。
- (5) 臺灣海域海流對海岸長期沖淤之影響，可藉大尺度擬真海流輸運河川輸沙之漂沙沉積形態陳現。故而在臺灣西部海岸，僅管

普遍存在嚴重之海灘沖蝕現象，但配合輸沙潛勢與漂沙沉積形態可知，臺灣西部海域，在河川輸沙影響下，實際上仍具有淤積趨勢，只是淤積趨勢係以大規模的水下沙體沉積形態陳現而已。

- (6) 依據大尺度擬真海流輸運河川輸沙之總體漂沙沉積形態研判，濁水溪之河川輸沙，應對存在臺灣西部海域之大規模水下沙體形成具有極重要且關鍵的影響。

6.3 建議

- (1) 目前學研領域對於具空間全平面性與時變性之實測與計算流場(流速向量)，尚無有效的定量性影響評估準則，也無準確性評估依據，相關課題，值得列入未來深入研究並作詳細探討。
- (2) 由於洋流及漂沙輸運與沉積特性之模擬計算，需要長時間之數值積分與大量計算儲存空間，而本研究在既有電腦計算資源之分配限制下，所建置之模式及所完成之模擬計算，時空解析度均待提昇，未來若電腦計算資源與能量增加，在臺灣近岸海域，預期應可得到更客觀準確的詳細海流及漂沙輸運與沉積特性之模擬計算結果。
- (3) 本研究利用三層巢狀格網架構，藉以提高計算海域範圍之空間解析度，惟巢狀格網架構之計算方式與計算步驟甚繁複，且需要大量資料儲存空間與計算時間，因此，未來若個人電腦計算效能可提昇，則應可朝平行計算或非結構型格網方式來減少計算步驟與模擬所需之計算時間。
- (4) 在臺灣近岸海域，當數值模式之格網範圍減小、空間解析度提高時，僅管其模擬計算所得之特徵海流特性相對地也較詳細，但因現階段所應用地形水深與海氣象(風力、氣壓、溫度與鹽度)資料庫之既有時空解析度限制，故而初步之成果，當與

近岸實測紀錄資料作驗證時，準確度均尚待提昇，因此，一般縮小計算海域範圍、提高其格網空間解析度之慣性迷思，應有所調整。

- (5) 政府在海岸及海洋領域的科研重點，近年來偏重在近岸颱風期間的防災預警與風險管理機制之建立，對於海岸及海洋具時空大尺度特性的防災預警基礎科研課題及人力與物力等資源的投注，尚甚欠缺長期持續性、全面性的總體規劃。為配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，本研究因此建議應強化規劃應用海洋水動力數值模擬科技之學能，並充實且充分分享既有水海資源資料庫之基本資訊，藉以能準確掌握臺灣鄰近海域海流之水動力特性，推展適合本土性的海洋能資源開發利用，研發先期水海環境保育與經理之關鍵技術，俾利有效提昇近岸海域防救災相關科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵，落實國家海洋政策。

6.4 研究成果之效益

- (1) 在學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會學術論文 7 篇，並出版研究報告 2 冊。
- (2) 在技術創新成就(科技整合創新)方面：引進及應用國際培訓資源，建置專業整合環境，強化國際互動機制，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，提昇海洋科技—藍色科技之科研能力，落實跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，統合國科會海洋學門海洋水文資料庫、NCEP/NCAR 海表面分析風場、NCEP/NCAR 海平面大氣壓力、NOAA OI SST 及 ERSST 海面溫度、及 NODC WOA 海洋溫、鹽度等 5 大類型之海洋物理資料庫，並將相關資料應用於臺灣近岸海域的擬真海流模擬計算，提供詳細地提供詳細地優勢恆常海流與漂沙沉積資訊。
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：掌握臺灣近岸海域詳細、全面的海流月、季變動特性與隨潮位高低漲退之時變特性，可促進海流能源開發利用之相關產業，提昇品管及經理效能，強化

海洋資源與能源資訊，敦節實施全面監測之人力及物力投注，提供政府及業界有關臺灣近岸海域海流與深層海水水溫與水質之月季變動資訊，輔助海洋資源與能源開發利用之有效經理，強化防災效能，樽節應變、減災、救災的成本。

- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：透過臺灣近岸海域大尺度恆常海流特性的研究，可充分掌握大尺度長期性之海岸輸沙優勢方向與沉積趨勢，從瞭解與順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運特性著手，避免對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，進而可配合採行「自然工法」策略，減少海岸災害防救各項人力、物力及財力等社會資源之投注，達成海岸保育與永續利用目標。
- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：本研究結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，強化跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，在國內自力完成臺灣海域擬真海流與優勢恆常海流流場之模擬計算，相關成果可提供交通部、本所、各港務分公司、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。具體配合政府推展「海洋國家」之策略目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海岸侵蝕治理之決策資訊，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，提升近岸海域災害應變與預警能力，精進災害風險評估系統，強化救災及預警科技之評估效能及應用。

6.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形

- (1) 針對臺灣近岸海域，本研究完成之綜合洋流與潮流效應之擬真海流數值模擬系統；探討之大尺度、長期性優勢恆常海流特性；評估之大尺度漂沙輸運及沉積趨勢，皆可應用以有效掌握臺灣海域季節性海流與漂沙沉積之變化特性。其中，優勢恆常海流、漂沙輸運及漂沙沉積趨勢等成果，尤其可提供交通部、環資部、內政部、各港務分公司、縣市政府、及各工程顧問公司等產、官、學、研單位，從事海岸開發與保育、港灣規劃、設計、擴建及維護等相關先期評估之應用依據。
- (2) 在臺灣四周海岸，本研究從順應長期性大平面範圍之自然海流

水動力輸運特性著手，完整詳細地掌握擬真海流所導致大尺度之優勢輸沙潛勢，減少對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，藉以厚植長期性大尺度海灘保育之關鍵技術，落實行政院推動採行「近自然工法」(郭金棟，2004)之海岸保育策略，順應自然海灘沖淤變遷趨勢，總體性、全面性(大尺度)的「永續」保育海岸。

- (3)配合行政院構建海洋國家的目標，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；依據國家科學技術發展計畫，補充既有地球環境科技監測體系的完整，推進本土化監測及評估關鍵技術之發展，推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。

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 Krone, R.B. (1976) "Mathematical modelling of sediment transport in estuaries," *Circulation, Sediments, and Transfer of Material in the Estuary*, M. Wiley, Ed., Estuarine Processes, Vol. II, Academic Press, pp. 98-106.
4. Barron, C. N., A. B. Kara, R. C. Rhodes, C. Rowley and L. F. Smedstad (2007) *Validation test report for the 1/8° global navy coastal ocean model nowcast/forecast system*, NRL Report No. NRL/MR/7320--07--9019, 149pp.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Chen, C. T. A., C. T. Liu, W. S. Chuang, Y. J. Yang, F.-K. Shiah, T. Y. Tang, and S. W. Chuang, (2003) "Enhanced buoyancy and hence upwelling of subsurface Kuroshio waters after a typhoon in the southern East China Sea," *J. Mar. Sys.*, 42, pp.65-79.
9. Cheng, R. T., Casulli, V. and J. W. Gartner (1993). "Tidal, Residual, Intertidal Mudflat (TRIM) model and its applications to San Francisco Bay, California. Estuarine," *Coastal and Shelf Science* 36, 235-280.
10. Cheng, R. T., Feng, S. and P. Xi (1986). "On Lagrangian residual ellipse. Physics of Shallow Estuaries and Bays." *J. van de Kreeke*, Ed., Springer-Verlag, 102-113.
11. DAVIS, A. M. and J. E. JONES (1996). "Sensitivity of tidal bed stress distributions, nearbed currents, overtides, and tidal residuals to frictional effects in the Eastern Irish Sea." *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 2553-2575.
12. Dean, R. G. and R. A. Dalrymple (1991). *Water wave mechanics for engineering and scientists*, Advanced Series on Ocean Engineering, 2, World Scientific Publishing, 353p.

13. DHI (1996). MIKE21 Sediment Process (MIKE21_ST): Sand Transport Module-Pure Current (Part I) and Current/Wave (Part II). User Guide and Reference Manual, Release 2.6, Danish Hydraulic Institute.
14. DHI (1998). *MIKE21_HD Coastal Hydraulics and Oceanography Hydrodynamic Module*. User Guide and Reference Manual, Release 2.7, Danish Hydraulic Institute.
15. Dworak, A. J. and J. GÓMEZ-VALDÉS (2003). "Tide-induced residual current in a coastal lagoon of the Gulf of California." *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* 57, 99-109.
16. Engelund, F. and E. Hansen (1976). "A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Channels." *Nordic Hydrology*, 7, pp.293-306.
17. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Friedrichs, C. T. and D. G. Aubrey (1988). "Nonlinear tidal distortion in shallow-water mixed estuaries." A synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.*, 27, 521-545.
22. Gilcoto, M., Aulvarez-Salgado, X. A. and F. F. Pe´rez (2001). "Computing optimum estuarine residual fluxes with a multiparameter inverse method (OERFIM): application to the Ria de Vigo (NW Spain)." *Journal of Geophysical Research* 106 (C12), 31303–31318.
23. Gómez-Valdés, J., Delgado, J. A. and J. A. Dworak (2003). "Overtides, compound tides, and tidal-residual current in Ensenada de la Paz lagoon, Baja California Sur, Mexico." *Geofísica Internacional*, 42 (4), 623-634.
24. 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.
25. Hou, H. S., Hsu, T. W., and T. Y. Lin (2000). "An Overview of Coastal Erosion along Taiwan Coast." *Proc. 22nd Ocean Engrg.*, Conf. In Taiwan, National Sun Yat-sen University, pp.417-424.
26. Jan, S., Chern, C. S. and J. Wang (2002). "Transition of Tidal Waves from the East to South China Seas over the Taiwan Strait: Influence of the Abrupt Step in the Topography." *J. Oceanography*, Vol. 58, No.6, pp. 837-850.

27. Juang, W. J., Lin, M. C. and W. J. Liou (2001). "Peculiar Appearance of Nearly Symmetrical Flooding Time along the Western Coast of Taiwan." *The Chinese Journal of Mechanics*, Vol. 17, No. 4, pp. 211-220.
28. Juang, W. J., Chiang, C. C. and M. C. Lin (2001). "Tidal Current Simulations on Seas Surrounding Taiwan." *Proc. 1st Conf. Asian and Pacific Coastal Engineering (APACE2001)*, Dalian, China, Vol.1, pp.86-95.
29. Juang, W.J., Lin, M. C. and C.C. Chiang (2004). "Visualization of tidal oscillation in the Taiwan Strait.", *Proc. 2nd International Conference of Asian and Pacific Coasts 2003*, Japan, p.apac010.1-12.
30. Juang, W.J. (2004). "Morphological Impacts of Tidal Residual Currents in the Taiwan Strait." *Proc. 2nd Sino-German Joint Symposium*, Nanjing, China, pp.249-260.
31. Kalnay et al. (1996) "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, pp.437-470.
32. 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.
33. Le Provost, C. and M. Fornerino (1985). "Tidal spectroscopy of the English Channel with a numerical model." *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1009-1031.
34. Lee, I. H., Wang, Y. H., Liu, J. T., Chuang, W. S. and J. P. Xu (2009) "Internal tidal currents in the Gaoping (Kaoping) Submarine Canyon," *Journal of Marine Systems*, 76, pp.397-404.
35. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation," RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
36. Li, C. and J. O'Donnell (1997). "Tidally driven residual circulation in shallow estuaries with lateral depth variation." *Journal of Geophysical Research* 102 (C13), 27915–27929.
37. Liang, W. D., T. Y. Tang, Y. J. Yang, M. T. Ko, and W. S. Chuang (2003) "Upper-ocean currents around Taiwan," *Deep-Sea. Res.*, II, 50, pp.1085-1105.
38. Lin, M. C., Juang, W. J. and T. K. Tsay (2000). "Applications of the Mild-Slope Equation to Tidal Computations in the Taiwan Strait." *J. Oceanography*, Vol. 56, pp. 625-642.
39. Lin, M. C., Juang, W. J. and T. K. Tsay (2001). "Anomalous Amplification of Semidiurnal Tides along the Western Coast of Taiwan." *Ocean Engineering*, Vol. 28, No. 9, pp. 1171-1198.
40. 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*, Vol. 9, No. 4, pp.705-738.
41. Loder, J. W., Yingshuo, S. and H. Ridderinkhof (1997). "Characterization of Three-Dimensional Lagrangian Circulation Associated with Tidal Rectification over a Submarine Bank." *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1729–1742.

42. Lynch, D. R., and C. E. Naimie (1993). "The M2 tide and its residual on the outer banks of the Gulf of Maine." *J. Phys. Oceanogr.*, 23, 2222–2253.
43. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans," *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.
44. Marinone, S. G., (1997). "Tidal residual currents in the Gulf of California: Is the M2 tidal constituent sufficient to induce them?" *J. Geophys. Res.*, 102, 8611-8623.
45. Martin, P.J. (2000) *Description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0*, NRL Report No. NRL/FR/7322/00/9962, 45pp.
46. 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.
47. Masselink, M. and C. Pattiaratchi (2000). "Tidal asymmetry in sediment resuspension on a macrotidal beach in northwestern Australia." *Marine Geology*, 163, 257–274.
48. 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.
49. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
50. 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 Forecasting: Conceptual Basis and Applications*, Pinardi, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
51. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982) "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems," *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, pp. 851-875.
52. Murty, T. S., Barber, F. G. and J. D. Taylor (1980). "Role of advective terms in tidally generated residual circulation." *Limnol. Oceanogr.*, 25, 529-533.
53. Naimie, C. E., (1996). "Georges Bank residual circulation during weak and strong stratification periods: Prognostic numerical model results." *J. Geophys. Res.*, 101, 6469–6486.
54. 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>.
55. 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.

56. 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.
57. 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.
58. 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.
59. Oey, L. Y. (2005) "A wetting and drying scheme for POM," *Ocean Modelling*, 9, pp. 133-150.
60. Oey, L. Y. (2006) "An OGCM with movable land-sea boundaries," *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.
61. 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.
62. Parker, B. B. (1991). The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (review). In: *Tidal hydrodynamics* (Parker, B. B., ed.). John Wiley and Sons, New York, pp.237-268.
63. Pedlosky, J. (1979). *Geophysical fluid dynamics*, Springer-Verlag, New York, 624pp.
64. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
65. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
66. 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.
67. 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.
68. 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.
69. Stacey, M. T., Burau, J. R. and S. G. Monismith (2001). "Creation of residual flows in a partially stratified estuary." *Journal of Geophysical Research*, 106 (C8), 17013–17037.
70. 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.

71. Tee, K. T. (1977). "Tide-induced residual current – Verification of a numerical model." *J. Phys. Oceanogr.*, 7, 396-402.
72. 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.
73. Tang, T. Y., J. H. Tai, and Y. J. Yang (2000) "The flow pattern north of Taiwan and the migration of the Kuroshio," *Cont. Shelf Res.*, 20, pp.349-371.
74. Tang, Y. and K. T. Tee (1987). "Effects of mean and tidal current interaction on tidally induced residual current." *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 215–230.
75. Uncles, R. J. (2002). "Estuarine Physical Processes Research: Some Recent Studies and Progress." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55, 829–856.
76. U.S. Army, Coastal Engineering Research Center (1977): *Shore Protection Manual*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C..
77. Walters, R. A. (1997). "A model study of tidal and residual flow in Delaware Bay and River." *Journal of Geophysical Research* 102, 12689–12704.
78. Wang, D.-P. and L.-Y. Oey (2008) "Hindcast of waves and currents in Hurricane Katrina," *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, April, pp.487-495.
79. Wang, X. H. (2002) "Tide-induced sediment resuspension and the bottom boundary layer in an idealized estuary with a muddy bed," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 32, pp. 3113-3131.
80. Wang, Y. H., Jan, S. and D. P. Wang (2003). "Transports through Taiwan Strait from Shipboard ADCP Observations (1999-2001)." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 195-201.
81. Wang, Y. H., Chiao, L. Y., Lwiza, K. M. M. and D. P. Wang (2004) "Analysis of flow at the gate of Taiwan Strait," *J. Geophys. Res.*, 109, C02025. doi:10.1029/2003JC001937.
82. Werner, F. E. and D. R. Lynch (1987). "Field verification of wave equation tidal dynamics in the English Channel and Southern North Sea." *Adv. Water Resour.*, 5, 115-129.
83. Westerink, J. J., K. D. Stolzenbach and J. J. Connor (1989). "General spectral computations of the nonlinear shallow water tidal interactions within the Bight of Abaco." *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 1348-1371.
84. Wong, K. C. (1985). "On the effects of spatial variation in amplitude and phase of the oscillatory tidal currents on the residual Lagrangian drifts." *Water Resour. Res.*, 21, 769–774.
85. Wu, C. R., Tang, T. Y. and S. F. Lin (2005). "Intra-seasonal variation in the velocity field of the northeastern South China Sea." *Continental Shelf Research*, 25, 2075-2083.

86. Wu, C. R. and Y. C. Hsin (2005). "Volume transport through the Taiwan Strait: A numerical study." *Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences, TAO*, 16(2), 377-391.
87. Wu, C. R. and C. W. J. Chang (2005). "Interannual variability of the South China Sea in a data assimilation model." *Geographical Research Letters*, 32, L17611, 4pp.
88. 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.
89. Yanagi, T. (1999). *Coastal oceanography*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 162 pp.
90. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
91. Zervas, C. (1999). "Tidal Current Analysis Procedures and Associated Computer Programs." *NOAA Technical Memorandum NOS CO-OPS 0021*, U.S. Department of Commerce, National Ocean Service, Silver Spring, Maryland, 103 pp.
92. Zimmerman, J. T. F. (1979). "On the Euler-Lagrange transformation and the Stokes drift in the presence of oscillatory and residual currents." *Deep-Sea Res.*, 26, 505-520.
93. Zimmerman, Z. T. F. (1981). "Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies." *Nature*, 290, 549-555.
94. 聯勤 (1978), 「臺灣省全圖-五十萬分之一比例尺」, 中華民國聯合勤務總司令部測量署。
95. 孫湘平 等(1981) "中國沿岸海洋水文氣象概況", 科學出版社, 中國。
96. 劉肖孔 (1983) 「中國海域三度空間數值模式」, 行政院科技顧問組, 共 156 頁。
97. 李賢文 (1989) 「台灣鄰近海域潮汐預報數值模式」, 第二屆海洋數值模式研習會論文集, 港灣技術研究所, pp.179-195 頁。
98. 郭金棟 (1990), 「臺灣省海岸地形變化及其未來之開發利用」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 共 219 頁。
99. 林勝豐、楊穎堅、唐存勇 (1995) 「臺南近海 M2 潮流及淨流之三度空間分佈」, 第 17 屆海洋工研討會論文集, pp.1479-1489.
100. 吳仁友 (1997), 「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
101. 許泰文、溫志中 (1997), 「河川與海岸穩定對策之研究-宜蘭海岸侵蝕對策之研究(III)」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, CKHOTR-97-005, 共 65 頁。

102. 張金機、黃清和 (1997), 「臺灣四周海岸侵蝕現況分析」, 八十六年度海岸工程研討會-臺灣四周海岸沖蝕防治技術, 港灣技術研究所, 台南, pp.1-26。
103. 陳陽益、許弘芑、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。
104. 劉倬騰、劉家瑄、許明光 (1999), 「臺灣東部黑潮發電應用調查規劃」研究報告, 臺灣電力公司委託研究計畫 4318-1, 國立臺灣大學海洋研究所。
105. 林琿、閻國年、宋志堯 (2000), 「東中國海潮波系統與海岸演變模擬研究」, 科學出版社, 中國, 共 266 頁。
106. 黃煌輝 等 (2000), 「外傘頂洲保護措施進行數值分析及水工模型試驗研究」, 期初報告, 國立成功大學水工試驗所, 共 145 頁。
107. 莊文傑 (2000), 「臺灣海峽潮波協振盪之研究」, 國立臺灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。
108. 莊文傑、江中權 (2000a), 「台灣四周海域海流數值模擬研究」, MOTC-IOT-IHMT-NA8916 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 282 頁。
109. 莊文傑、江中權 (2000b), 「臺灣海峽兩岸之潮汐特性」, 第 11 屆水利工程研討會論文集, 台北, pp.I:15-21。
110. 郭金棟、簡仲和 (2001), 「臺灣地區既有海堤功能檢討」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 共 173 頁。
111. 歐善惠、許泰文、張憲國 (2001), 「永續的鑽石海岸-臺灣海岸災害防救與永續利用規劃」, 經濟部水資源局, 共 150 頁。
112. 許泰文 (2001), 「海岸漂沙」, 「海岸工程學」第七章, 郭一羽主編, 台南市, 文山書局, 共 474 頁。
113. 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, pp.533-541。
114. 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。
115. 經濟部水利處 (2001), 「臺灣海岸概況」, <http://www.wca.gov.tw/2001/wr/coast.htm>。
116. 王玉懷 (2002), 「臺灣海峽流量知多少」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.132-136。
117. 詹森 (2002), 「全方位探索臺灣海峽」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.127-131。
118. 劉康克 (2002), 「認識臺灣附近的海洋環境」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.102-111。

119. 葉姍霈 (2002), 「臺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。
120. 莊文傑、江中權 (2002), 「台灣四周海域海流數值模擬研究(二)—高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」, MOTC-IOT-IHMT-NA9017 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 182 頁。
121. 莊文傑、江中權 (2002), 「潮流與臺灣環島沿岸之水下沙體」, 第 24 屆海洋工程研討會論文集, 臺灣海洋工程學會, 梧棲, pp.579-586。
122. 莊文傑、江中權 (2002), 「臺灣環島海域潮流引致之輸沙潛勢」, 第 7 屆海峽兩岸水利科技交流研討會, 美華水利學會 等, 台南, pp.621-628。
123. 蔡丁貴、莊文傑、蘇青和 (2002), 「近岸災害防救系統發展構想」, 第 24 屆海洋工程研討會論文集—專題講座論文集, 臺灣海洋工程學會, 梧棲, pp.43-54。
124. 莊文傑、江中權 (2003), 「臺灣海峽海域潮波振盪型態之確認」, 第 25 屆海洋工程研討會論文集, 臺灣海洋工程學會, 基隆, pp.31~38。
125. 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」, MOTC-IOT-91-HA15 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 262 頁。
126. 郭金棟 (2004), 「海岸保護—海岸環境創造序論」, ISBN: 9576553814, 科技圖書, 共 439 頁。
127. 莊文傑、江中權 (2004), 「臺灣四周海域海流數值模擬研究(四)—蘇澳及花蓮港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」, MOTC-IOT-92-H3BA02 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 350 頁。
128. 盧鴻復、吳朝榮 (2005), 「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」, 海洋技術在軍事上應用(三)專輯, 海洋技術, 第十四卷, 第四期, pp.8-14。
129. 莊文傑、江中權 (2005), 「臺灣海峽的水深地形對潮波振盪之影響研究」, MOTC-IOT-93-H3DA004 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 438 頁。
130. 莊文傑、江中權 (2005), 「臺灣四周海域的潮波系統」, 第 27 屆海洋工程研討會論文集, 臺灣海洋工程學會, 台中, pp.154~161。
131. 莊文傑、江中權 (2006), 「臺灣四周海域旋轉潮波系統之同潮圖」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.325-330。
132. 張育綾、吳朝榮、陳陽益 (2006), 「納莉颱風強度變化與黑潮之關係」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.301-306。
133. 江紫綾、吳朝榮、李忠潘 (2006), 「呂宋海峽渦流之脫離與運動」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.331-336。

134. 盧鴻復、吳朝榮、李忠潘 (2007), 「臺灣東北海域湧升流之時空變化」, 第 29 屆海洋工程研討會論文集, 國立成功大學, 臺灣海洋工程學會, pp.613-618。
135. 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。
136. 莊文傑 (2008), 「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(1/2)—臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」, MOTC-IOT-96-H3DA002 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 200 頁。
137. 歐善惠、廖建明、許泰文、辛志勇、莊文傑 (2008), 「臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」, MOTC-IOT-96-H3DB005 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 116 頁。
138. 經濟部水利署 (2008), 「台灣水文年報」。
139. 經濟部水利署 (2009), 「台灣水文年報」。
140. 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)—臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬」, MOTC-IOT-97-H3DA002 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 140 頁。
141. 廖建明、莊文傑、許泰文 (2009), 「臺灣鄰近海域洋流模擬之初步探討」, 第 31 屆海洋工程研討會論文集, 國立中興大學, 臺灣海洋工程學會, pp.609-614。
142. 經濟部水利署 (2010), 「台灣水文年報」。
143. 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。
144. 李忠潘等人 (2010), 「中區汙水處理廠填海造陸工程環境監測計畫-海域環境調查」, 四年期計畫報告書稿, 國立中山大學。
145. 林勝豐、張恆文 (2010), 「POM 海洋模式在東部海域之應用研究」, 2010 天氣分析與預報研討會暨第 5 屆國際海洋大氣研討會論文集, 中央氣象局, pp.59-64。
146. 莊文傑、廖建明 (2010), 「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(1/4)—POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」, MOTC-IOT-98-H3DA004 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 142 頁。
147. 廖建明、莊文傑、許泰文、何興亞 (2010), 「台灣西南海域海潮流模擬與特性探討」, 第 32 屆海洋工程研討會論文集, 國立臺灣海洋大學, 臺灣海洋工程學會, pp.609-614。

148. 林勝豐、胡哲魁、顏志偉 (2010), 「臺灣四週上層海域海流能量計算」, 第 32 屆海洋工程研討會論文集, 國立臺灣海洋大學, 臺灣海洋工程學會, pp.803-807。
149. 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」, MOTC-IOT-99-H3DA007 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 186 頁。
150. 蘇青和、廖慶堂、徐如娟 (2011), 「2009 年港灣海氣地象觀測資料年報」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
151. 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。。
152. 莊文傑、廖建明 (2011), 「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)－臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討」, MOTC-IOT-99-H3DA004 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 210 頁。
153. 廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌、陳聖詒 (2011), 「臺灣海域綜合潮流與洋流效應之海流數值模擬」, 第 33 屆海洋工程研討會論文集, 國立高雄海洋科技大學, 臺灣海洋工程學會, pp.531-536。
154. 張瑀峻、邱銘達、詹森、錢樺、鄭皓元 (2011), 「澎湖海域精細化潮流模式應用於潮流發電評估之研究」, 第 33 屆海洋工程研討會論文集, 國立高雄海洋科技大學, 臺灣海洋工程學會, pp.835-840。
155. 林勝豐、胡哲魁、顏志偉 (2011), 「澎湖海域之海流潛能評估」, 第 33 屆海洋工程研討會論文集, 國立高雄海洋科技大學, 臺灣海洋工程學會, pp.871-874。
156. 許泰文、廖建明、莊文傑、陳聖詒 (2011), 「南灣海域水動力和溫度變化之模擬」, 第 3 屆海峽兩岸海洋環境監測及預報技術研討會, 廈門大學。
157. 扈治安、洪崇勝(2011)「臺灣海峽沉積物的來龍去脈：多示蹤劑法研究」, 行政院國家科學委員會自然科學簡訊研究成果報導, 第 23 卷第 1 期, 4-8。
158. 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, pp.435-440。
159. 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」, MOTC-IOT-100-H3DB004a 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 409 頁。
160. 莊文傑、廖建明、李俊穎 (2012), 「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(3/4)－臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估」,

MOTC-IOT-100-H3DA004b 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 304 頁。

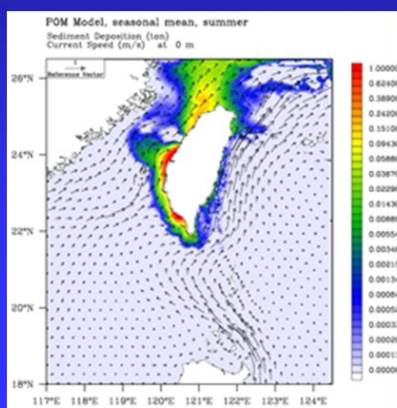
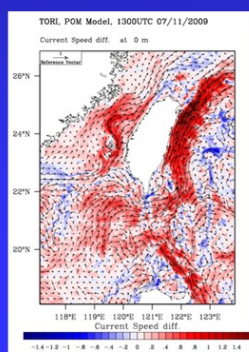
161. 廖建明、莊文傑、許朝敏、陳思樺、高家俊 (2012)，「臺灣海域由海流引致之漂沙傳輸現象探討」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，國立成功大學，臺灣海洋工程學會，pp.535-540。
162. 溫志中、張君名、莊文傑 (2012)，「潮流作用下台灣漁港淤沙研究」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，國立成功大學，臺灣海洋工程學會，pp.375-380。
163. 莊文傑、廖建明、許泰文 (2012)，「臺灣四周近岸海域洋流對潮流流場之影響評估」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，國立成功大學，臺灣海洋工程學會，pp.85-90。
164. 廖建明、許朝敏、莊文傑 (2013)，「臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估」，MOTC-IOT-101-H3DB004a 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 268 頁。
165. 國立臺灣大學海洋研究所海流數值模擬，<http://140.112.65.17/odbs/Achievement/numerical/main.html>，台北，臺灣，中華民國。
166. 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 1 期末報告審查簡報資料

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
101 年度政府科技計畫期末報告審查

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4/4)
—臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響—

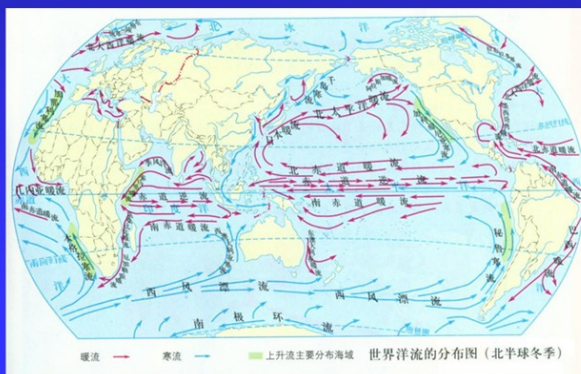
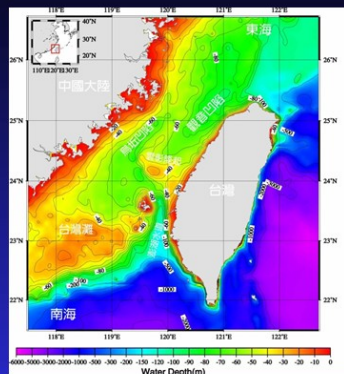
- 研究人員：莊文傑¹、廖建明²、李俊穎³
 1. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
 2. 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心副研究員
 3. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
- 研究方式：自行研究
- 研究經費：5萬元



1

簡報內容

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 研究成果與討論
- 結論與建議



2

研究緣起與研究目的

研究緣起：

- ◆ 深藏的疑問：臺灣1,520公里海岸80%沖蝕，沖蝕的漂沙與河川輸沙，受海流作用，輸送到何處？沉積在那裏？水下沙體沉積形態具意義嗎？
- ◆ 基本認知：海流(洋流與潮流)是自然營造力；與大尺度(大規模、長期性)的海域輸沙及漂沙沉積密切關聯。
- ◆ 海域環境：臺灣海域海流盛行，國內海岸工程之學者專家常關切黑潮洋流的影響，尤其是優勢海流。

研究目的：

- 研究企圖：配合採行近自然工法策略；深耕大尺度海岸保育之根本重點課題。
- 研究成果應用：順應自然海域環境，減少對自然沖淤變遷過程的人為介入或干擾，落實「永續」的海岸經理及海岸保育。



研究方法

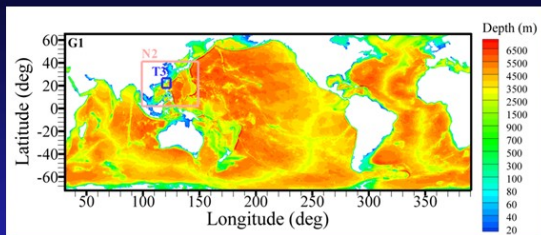
應用數值模式進行海流模擬計算

- POM (Princeton Ocean Model) 三維海流水動力模式
 - 善用國際培訓研究資源，全球甚多學研單位引用；
 - 含二階紊流閉合模式、溫度、鹽度對流擴散方程式，能描述三維複雜的海洋物理水動力變動特性；
 - 外模式(external mode) 2D；和內模式(internal mode) 3D；
 - 水深向Sigma座標；可解析地形梯度具大變化的海域；

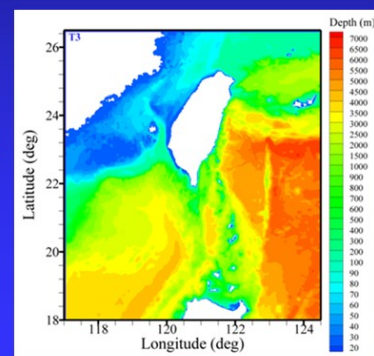
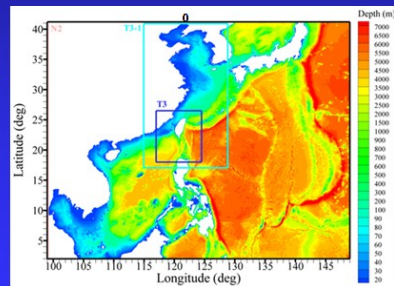
模式建構重點：

- 針對臺灣海域，建構巢狀格網架構，綜合洋流與潮流效應，配合河川輸沙，藉擬真海流之漂沙輸運潛勢及沉積形態，評估優勢海流特性及對海岸長期性變遷之影響。
- 模式趨動力：利用美國NGDC之ETOPO1環球水深地形資料庫，再結合美國NCEP/NCAR之風場與氣壓場資料庫、NOAA之OI SST海面溫度資料庫、及NODC之WOA05水深分層溫鹽資料庫；NAO99b及OTPS全球潮位模式。

臺灣海域海流模擬計算之巢狀格網架構

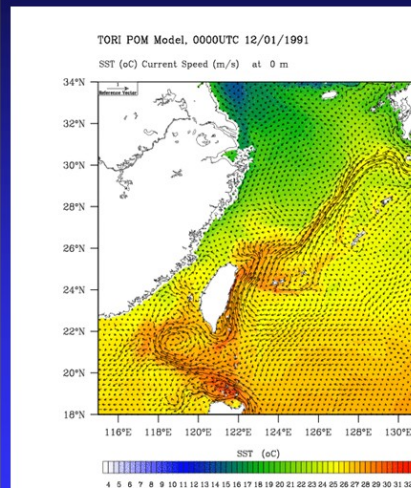
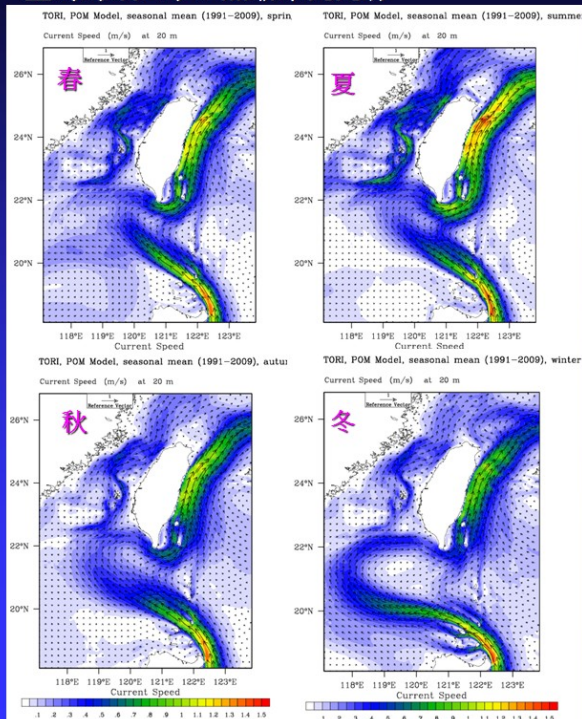


模式	模式範圍	格網點數	空間格網解析度	緩衝區格點數
G1	180 E~180 W 70 N~75 S	1443x553x26	1/4	0
N2	99 E~149 E 2 N~41.2 N	1251x981x21	1/25	10
T3	117 E~124.5 E 18 N~26.5 N	376x426x21	1/50	10



研究成果及討論_黑潮洋流

■ 臺灣海域四季之黑潮洋流流場



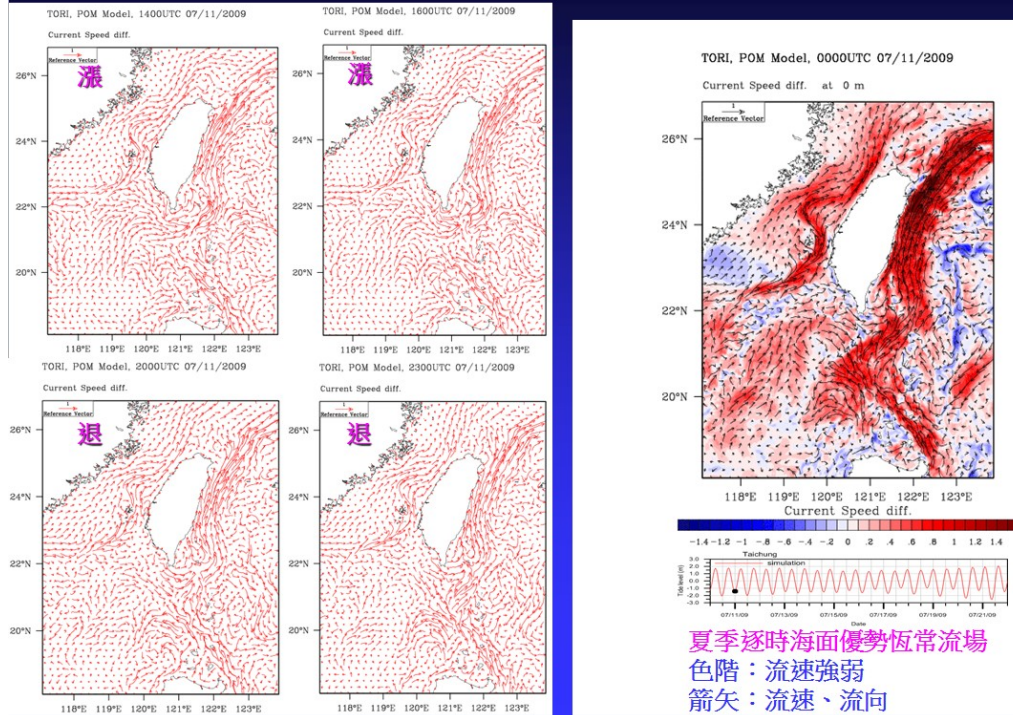
逐日海面溫度與黑潮流場

色階：溫度；

箭矢：流速、流向

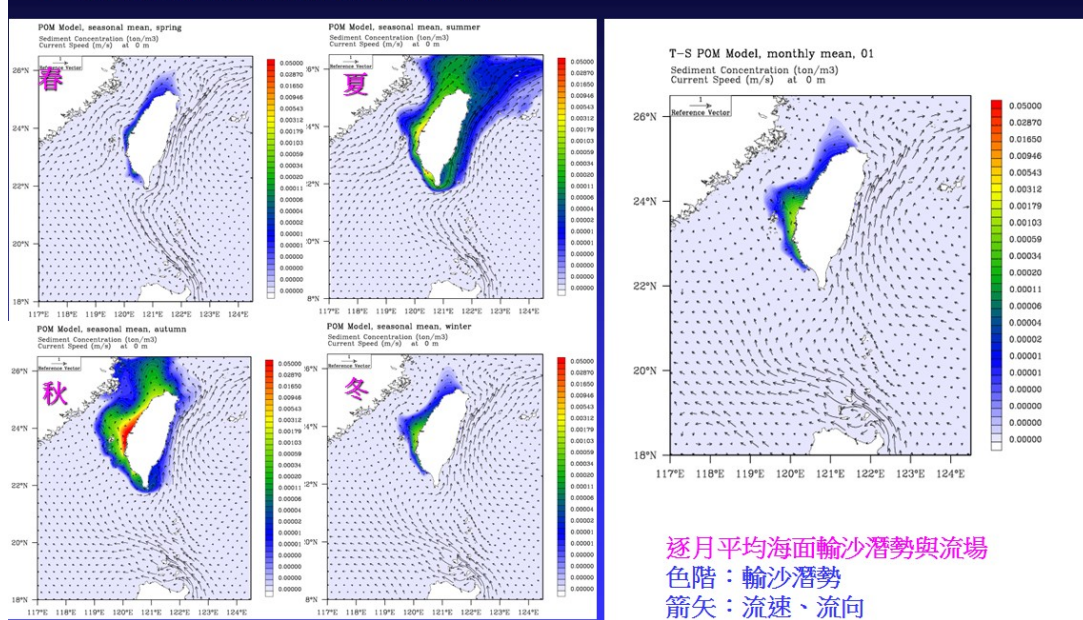
■ 研究成果及討論_ (擬真海流—潮流)之恆常海流

■ 臺灣海域 (擬真海流—潮流)之優勢恆常流場



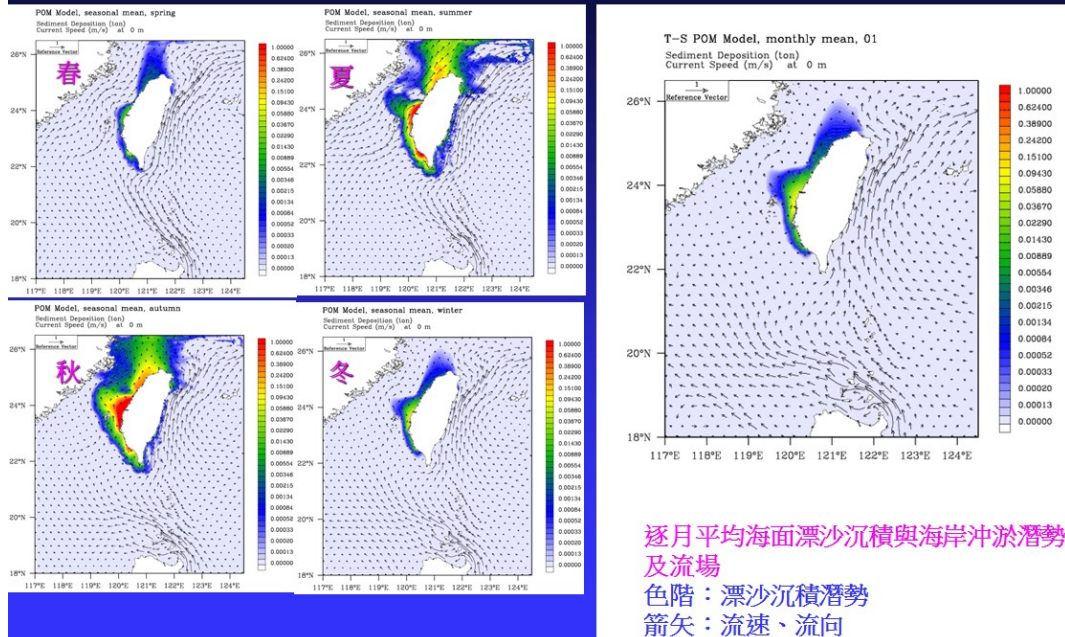
■ 研究成果及討論_ 輸沙潛勢

■ 臺灣海域 擬真海流四季之輸沙潛勢



■ 研究成果及討論_漂沙沉積與海岸沖淤潛勢

■ 臺灣海域 擬真海流四季之漂沙沉積與海岸沖淤潛勢



結論

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4)(4)

- 應用POM三維海流水動力模式，綜合洋流與潮流效應，充分有效地模擬計算臺灣海域之擬真海流；
- 自綜合洋流與潮流效應之擬真海流中，以逐時對應方式，扣除具週期性而往復流動之潮流，可具體準確地地掌握臺灣海域之恆常海流特性；
- 確認臺灣海域之恆常海流，不分季節性且不論潮位之高低漲退影響，海流流向皆具有由南向北之恆常優勢特性，不過，在臺灣海峽之南北兩端海域，恆常海流流速會受潮流影響而隨潮位之高低漲退分別作強弱消長之變化；
- 臺灣海域之漂沙，在大尺度擬真海流輸運下，主要之輸沙與沉積潛勢，均與恆常海流之流向一致，皆具有由南而北的特質；
- 臺灣海域海流對海岸長期沖淤之影響，可藉大尺度擬真海流輸運河川輸沙之漂沙沉積形態陳現，故而在臺灣西部海岸，儘管普遍存在嚴重之海灘沖蝕現象，但配合輸沙潛勢與漂沙沉積形態可知，臺灣西部海域，在河川輸沙影響下，實際上仍具有淤積趨勢，只是淤積趨勢係以大規模的水下沙體沉積形態陳現而已；
- 依據大尺度擬真海流輸運河川輸沙之總體漂沙沉積形態研判，濁水溪之河川輸沙，應對存在臺灣西部海域之大規模水下沙體形成具有極重要且關鍵的影響。

03/02/2011

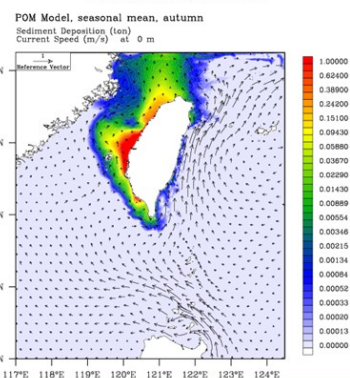
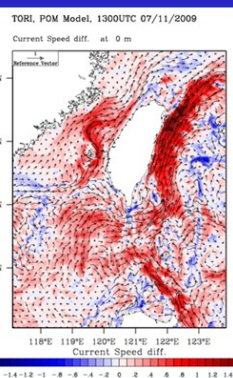
12

敬請 指教 賜正！

勞力！ 感恩！

計畫主持人：莊文傑 研究員
共同研究：廖建明、李俊穎 副研究員

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4~4)
臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響



附錄 2 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表

交通部運輸研究所 101 年度計畫

「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」

期末報告審查會議紀錄

壹、時間：民國 102 年 1 月 30 日（星期三）上午 9 時 40 分

貳、地點：本所港研中心 2 樓簡報室

參、主持人：港研中心 簡仲璟科長

紀錄：李俊穎

肆、出席審查委員及人員：

（一）審查委員：

	簽名
梁乃匡委員	梁 乃 匡
蕭松山委員	蕭 松 山
張憲國委員	張 憲 國
陳陽益委員	陳 陽 益
李忠潘委員	李 忠 潘

（二）出席人員：

	簽名
簡仲璟科長	簡 仲 璟
莊文傑研究員	莊 文 傑
李俊穎副研究員	李 俊 穎

審查委員評審意見與建議	處理情形
一、梁乃匡 委員 (評分：89) 1. 本報告運用數值模擬探討台灣附近海流，進而推估海底沖淤。著眼於大尺度空間與時間的變化，由於數值模擬已考慮三度空間及海洋的垂直分層，與實際現象已很接近，頗具學術參考價值，建議未來將成果在海洋科學研討會發表，已增加深入討論的機會。	感謝梁委員乃匡教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與嘉勉。所提建議遵照辦理。
二、陳陽益委員 (評分：88) 1. 近岸流與碎波帶特性，若能考慮，則更可描述近岸之區域性的沖淤。 2. 有岬灣近岸宜以較密的網格來計算，如此較能展現區域性的環流(或漩渦)，如此較能表現出該區的沖淤。	感謝陳委員陽益教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝提示指教。近岸流與碎波帶特性，屬小尺度課題。對於複合大、小尺度之海流及近岸之區域性沖淤課題，待另案研究評估後，再遵照試行辦理。 2. 感謝提示指教。應用高解析度計算網格以考量近岸地形並含括區域性環流對沖淤之影響，將併同意見 1 於另案研究評估後，再遵照試行辦理。
三、李忠潘 委員 (評分：90) 1. 中英文摘要不一致，請修正。 2. 海岸侵淤，主要受控於砂源(如河川輸砂)的變化，以及近岸碎波場與其引起的沿岸流流場。碎波帶外的流場，只扮演被帶至外海的輸砂的去向，與海岸侵淤的關係較不明顯。因此，本研所得到的漂沙侵淤趨勢(或潛勢)與海岸的侵淤並不一致。 3. 本研究對 Kuroshio 及潮流共存的模擬頗有價值。 4. 文內所述台灣海峽內四季是否均有黑潮分支，請再確認(如圖 4.2-4.5；圖 4.21-4.23)。	感謝李委員忠潘教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 遵照辦理。 2. 感謝提示指教。碎波帶內之近岸海流確實會主控區域短期性的海岸侵淤特性。僅管如此，依據現地調查及相關研究報告指述，國內 80%的海岸皆長期性面對嚴重的沖蝕，淤積之海岸或海灘甚稀少且不多見。因此，本研究僅就海岸的侵蝕現實，選擇應用大尺度的水下沉積沙體作為驗證基礎，藉颱風期間之河川輸沙，探討海岸或海灘之沖蝕漂沙，其受大尺度海流作用後，長期性可能的輸運路徑與大規模性之潛在沉積海域趨勢。 3. 感謝肯定與嘉勉。 4. 感謝提示指教。於內文陳述將加強蒐集文獻資料作確認。

四、張憲國 委員 (評分：89) 1. 報告撰寫非常充實，深具學術價值。 2. 潮汐進入台灣海峽的方式是否主要由北向南？ 3. 圖 4-21 至圖 4-24 的洋流及潮流合併效應流況在台灣南部有環流的原因為何？ 4. 如何從輸沙潛勢的數值計算結果評估海洋地形沖淤？	感謝張委員憲國教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與嘉勉。 2. 依據莊、江(2000；2003)應用矩形海峽內兩凱文波(Kelvin waves)相交會所陳示之波動特性及莊、江(2005；2006)建構複合擬真潮波同潮圖之等潮時線時變特性進行辨識結果，現階段本研究仍判定並主張，半日型及全日型潮波，其在台灣海峽內的主要行進方向，確實應是由北向南，不過，因為澎湖及台灣淺灘南側之東亞大陸棚架緣地形對入射潮波所產生之反射效應，故而台灣海峽內仍具有兩相向潮波相交會的波動特性。 3. 感謝提示指教。對於綜合洋流及潮流效應之擬真海流在台灣南部海域陳示環流流場的原因，本研究確未進行深入探討，現階段僅能推測其除了可能與高屏海脊之特殊地形水深有關外，最可能之主要影響原因，應係黑潮洋流受潮汐漲退流場及其相互交互作用之綜合影響所致。 4. 感謝提示指教。基於台灣海岸大部分(80%)皆陳現長期性沖蝕之現實，故沖淤評估的重點，實際即可轉換並著重為計算海域之漂沙沉積趨勢。因此，本研究首先針對大尺度的海域漂沙輸送路徑或方向之趨勢，將其定義為輸沙潛勢，其次，應用台灣河川之月、季輸沙濃度變化作大尺度海域漂沙之主要來源，再以綜合洋流及潮流效應之擬真海流作輸運動力，透過漂沙濃度傳輸擴散作用的計算模擬，從而可求得計算海域區域漂沙濃度分布之月、季變動特性，最後，依據一般以漂沙連續方程式計算海岸地形沖淤變化之概念，即可簡化地從計算海域具月、季變動之區域漂沙濃度高、低分布特性，直接進行地形淤積趨勢之評估。換言之，當海域漂沙濃度透過海流之傳輸擴散作用後，當特定海域具有較高之漂沙濃度情況下，即應具有較可能的淤積趨勢。
---	---

5. 如何分離計算洋流與潮流? 6. 計算表面流場的原因說明。	5. 洋流與潮流的分離計算模擬，取決於計算海域的大小及其邊界條件之處理。應用 POM 模式，在進行純洋流計算模擬時，結合 NCEP/NCAR 海氣象資料庫之溫、鹽、氣壓、風力等資料，計算海域將從全太平洋海域開始逐次以巢狀格網架構縮小計算範圍並提高海岸地形之解析度，子格網海域的邊界條件直接自母格網海域萃取，因而即可逐時計算臺灣海域之純洋流流場；在進行純潮流計算模擬時，仍應用 POM 模式，惟計算海域僅針對臺灣海域之地形水深，再配合 NAO99b 之全球潮位模式，預報並設定考量純潮波運動特性之逐時潮位邊界條件，從而即可逐時計算臺灣海域之純潮流流場。詳細流程，請參考第 4.5 節內文之陳述說明。 6. POM 模式為三維水動力計算模式，可用以計算全海域任意等水深層之海流流場、水位、溫度、鹽度分布。惟臺灣海域位在東亞大陸棚架上，鄰近海域之水深，深淺分布從數千米至數十米，因此，為避免陳現淺水海床層上之空白流場，故擇選海表面層之流場，藉以能完全陳現特定海域範圍內之全平面流場特性。
五、蕭松山委員 (評分：89) 1. 近岸海流對海岸長期的水下漂沙沉積及運移影響研究，本研究應為國內海工界首見對此問題深入探討，成果值得肯定。 2. 本研究成功的應用 POM 三維水動力模式，同時考慮洋流與潮流效應，計算台灣海域流場之恆流特性，並依據以研判海流對海岸長期沖淤之影響，研究成果值得肯定。 3. 研究成果對海岸「永續」、保育、防災，相關工作評估，應可提供重要參考數據，建議能再加強說明研究成果，以提供未來應用。 4. 報告書之參考文獻(157 及 164)格式建議一致。	感謝蕭委員松山教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與嘉勉。 2. 感謝肯定與嘉勉。 3. 遵照辦理。並已於第 6 章各節內文作強化說明。 4. 遵照辦理。並已作相關一致性之修訂。