

101-33-7606
MOTC-IOT-100-H3DA004b

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 —



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 月

101-33-7606
MOTC-IOT-100-H3DA004b

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 —

著 者：莊文傑、廖建明、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 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(3/4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估/莊文傑、廖建明、
李俊穎著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 101.03

面 ； 公分

ISBN 978-986-03-1859-3 (平裝)

1. 海流 2. 潮流 3. 數值分析

351.96

101003285

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 —

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 101 年 3 月

印 刷 者：群彩印刷科技股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：400 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：1010100342

ISBN：978-986-03-1859-3 (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(3/4) — 臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估 —			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN978-986-03-1859-3(平裝)	政府出版品統一編號 1010100342	運輸研究所出版品編號 101-33-7606	計畫編號 100-H3DA004b
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計劃主持人：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 100 年 01 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：洋流、海流、潮流、臺灣海域、POM、數值模式、黑潮、影響評估			
報告內容重點摘要：			
<p>海流是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源、能源、及深層海水產業「永續經營及利用」的最根本關鍵課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。</p> <p>本研究為政府科技計畫地球環境科技群組固定期程之任務導向型一般研究計畫，全程研究期間為 4 年(98 至 101 年度)，主要的研究目標在達成準確模擬計算臺灣鄰近海域之洋流，並評估其對近岸海流之影響。本年為第 3 年期之研究，研究重點主要在應用新近引進建置的 POM (Princeton Ocean Model) 三維海洋環流數值模式，利用美國 NGDC 之 ETOPO1 環球水深地形資料庫，再結合美國 NCEP/NCAR 之日平均風場與氣壓場資料庫、NOAA 之 OI SST 週平均海面溫度資料庫、及 NODC 之 WOA05 水深分層長期年平均溫鹽資料庫，透過全球海域-西北太平洋海域-臺灣四周海域-臺灣 7 大港口外廓 4 局部近岸海域之巢狀格網架構與正交曲線格網配置，採用 MPI 平行計算方式提昇計算效率，據以對臺灣近岸海域綜合考量季節性洋流與潮流共同效應之海流，進行模擬計算，並透過 7 大港口外廓海域之實測海流紀錄作準確性驗證，而後，以綜合洋流與潮流效應之計算海流對漲退潮期間計算潮流之逐時序差異流場，評估隨季節變化之洋流(黑潮與黑潮支流)對臺灣環島近岸潮流流場所可能造成之影響。</p> <p>相關臺灣近岸海流計算與驗證結果顯示：本研究目前已可充分詳細地具體模擬計算潮流、黑潮、黑潮支流及套流等顯著存在於臺灣四周海域的大尺度海流特性。另外，依據綜合考量洋流與潮流效應對純潮流之逐時序差異流場，進行評估洋流對潮流之影響結果可確認：在臺灣東部近岸，潮流受洋流之影響甚輕微，但值得特別注意的是，在分別距離蘇澳港與花蓮港海岸各約 14 公里與 6 公里的外海，即可發現主流偏向東部近岸且流速約可高達 1.8 m/s 之強勁黑潮；而在臺灣海峽海域及北自基隆港、南至安平港之臺灣西部近岸之潮流，明顯會受四季皆盛行於臺灣海峽內之洋流(含括季風影響下的黑潮支流及中國沿岸流與風趨流等)所影響，惟影響之輕重程度，隨季節性與台中港潮位之逐時序漲退變化而有所不同與差異。</p>			
研究成果之效益：			

- (1) 學術成就：發表國內學術期刊論文 1 篇、研討會論文 5 篇，並出版研究報告 2 冊。
- (2) 技術創新：應用 POM 三維非線性海洋環流水動力模式，在國內透過合作研究方式，自力完成臺灣近岸海域大尺度洋流與潮流流場的模擬計算環境建構，並進一步創新建構臺灣四周近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流流場。
- (3) 經濟效益：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，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海洋資源、能源、及深層海水產業「永續經營及利用」之決策資訊，敦節海岸保育監測之人力及物力投注，掌握大尺度之輸沙優勢方向，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行。
- (4) 社會影響：擴展科研成果之政策應用，充實藍色國土資訊，促進本土化海洋環境的瞭解，深化海洋水文與地球科學教育之內涵。

可供本所或其他政府機關後續應用情形：

- (1) 本研究在國內自力建構完成的臺灣鄰近海域海流流場，可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考。
- (2) 本研究在國內創先建構的臺灣鄰近海域海流流場，可提供本所、各港務局及經濟部、水利署等相關政府單位從事海洋資源、能源、及深層海水產業「永續經營及利用」的完整資訊，同時更可作為本所、各港務局及經濟部、水利署等相關政府單位從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。
- (3) 本研究之海流流場成果，可提供教育部及國科會，補充本土性詳實的海洋水文資訊，豐富地球科學教育之內涵。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 3 月	304	400	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 (3/4)—The impact survey of the Kuroshio on tidal currents for coastal seas around Taiwan			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-1859-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100342	IOT SERIAL NUMBER 101-33-7606	PROJECT NUMBER 100-H3DA004b
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PROJECT ADVISOR: Juang Wen-Jye PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liau 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 2011 TO December 2011
KEY WORDS: Ocean Circulation, Currents; Tidal Currents, Seas around Taiwan, POM, Numerical Model, Kuroshio, Impact Assessment			
<p>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.</p> <p>The total period of this study had been scheduled to be 4 years with main goal set on simulating the ocean circulation, in particular the Kuroshio, and evaluating its impacts on near shore currents on coastal seas around Taiwan. For this 3rd year research, the purposes mainly go to focus on surveying the impacts of the Kuroshio on tidal currents. Both of the Kuroshio and tidal currents associated with the composite currents that combined the effects of both the Kuroshio and tides are computed and simulated by applying the 3-D ocean model of POM, the Princeton Ocean Model. On modeling, four layers nested grids scheme composed of the global ocean, the Pacific Ocean, the seas around Taiwan, and the locally coastal seas is implemented. A nudging technology that modifying the flow velocities among grid interfaces of boundaries is adopted. The well known and commonly used ocean databases such as the global topography of ETOPO1, the wind and atmospheric pressure of NCEP/NCAR, the sea surface temperature of NOAA/OISST, and the climatologically fields of in situ temperature and salinity of NODC/WOA05, are successfully linked. Specially, on simulating the near shore currents on locally coastal seas around Taiwan, the topographical database with fine spatial resolution of 500m that managed by the National Science Council is applied. Furthermore, the orthogonal curvilinear grids are set to improve the simulating capacities and the parallel computation scheme of Open MPI (i.e., the Message Passing Interface) is adopted to enhance the computational efficiencies. The composite currents are verified with measurements on sites out of the entrances of 7 ports, respectively. The impacts then are assessed by the hourly difference maps of currents fields which subtracting the tidal currents from the composite currents in different seasons.</p> <p>From the verifications of simulations with investigations collected from relating researches and field measurements, it is found that all of the variety and subtle circulation patterns exhibiting on seas around Taiwan, such as the Kuroshio associated with its branch, loop currents and the internal tides, can be clearly presented and simulated in good accuracy. Moreover, cooperating POM with the database of global tides model of</p>			

NAO99b or OTPS to include the synthetic effects of tides and Kuroshio, the composite currents then are successfully computed. By the hourly difference maps of currents fields which subtracting the tidal currents from the composite currents in different seasons to assess the impacts of the Kuroshio on tidal currents, the results show that there are only mild impacts presenting on the east coastal seas of Taiwan. However, due to the interactions of strong tidal currents with Kuroshio branch that prevailing on the Taiwan Strait all year round, significant impacts accordingly are found on the west coastal seas in all seasons. The degrees of impacts are various, and it seriously depends on the status of flooding and ebbing tides.

<p>DATE OF PUBLICATION</p> <p>March 2012</p>	<p>NUMBER OF PAGES</p> <p>304</p>	<p>PRICE</p> <p>400</p>	<p>CLASSIFICATION</p> <p><input type="checkbox"/>RESTRICTED <input type="checkbox"/>CONFIDENTIAL</p> <p><input type="checkbox"/>SECRET <input type="checkbox"/>TOP SECRET</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>UNCLASSIFIED</p>
<p>The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.</p>			

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—

目 錄

目錄	V
圖目錄	IX
表目錄	XXI
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 文獻回顧	1-4
1.3 工作項目	1-7
1.4 研究成果之預期應用	1-8
第二章 POM 模式之理論介紹	2-1
2.1 模式特性	2-1
2.2 控制方程式	2-2
2.2.1 三維連續方程式與動量方程式	2-2
2.2.2 紊流閉合模式	2-4
2.2.3 σ 座標轉換	2-6
2.2.4 外模式-水深積分方程式	2-9
2.2.5 邊界條件	2-10

2.3 數值方法	2-12
2.3.1 格網配置	2-12
2.3.2 數值離散	2-14
2.3.3 穩定條件	2-15
2.4 乾溼格網	2-17
第三章 POM 模式執行環境建置	3-1
3.1 軟硬體設備建置	3-1
3.2 POM 模式操作與相關檔案	3-5
3.3 POM 模式應用之資料庫	3-5
3.3.1 海表面風場資料	3-6
3.3.2 海平面大氣壓力資料	3-7
3.3.3 海面溫度	3-8
3.3.4 海洋鹽度與溫度	3-8
3.3.4 海洋鹽度與溫度	3-10
3.3.5 全球地形水深	3-11
3.3.6 國科會海洋學門海洋資料庫	3-11
第四章 臺灣近岸海域海流之模擬計算	4-1
4.1 緒論	4-1
4.2 臺灣鄰近海域洋流特性概述	4-1
4.3 臺灣近岸港口外廓海域之海流特性概述	4-5
4.4 臺灣近岸海域之洋流模擬	4-20

4.4.1 計算海域範圍與巢狀格網系統之建構-----	4-20
4.4.2 巢狀格網架構之邊界條件處理-----	4-25
4.4.3 模擬計算之時空參數設定-----	4-26
4.4.4 臺灣鄰近海域洋流之模擬計算-----	4-28
4.4.5 臺灣鄰近海域之洋流特性驗證-----	4-29
4.4.6 臺灣東部海域深層海水溫鹽度變動特性驗證-----	4-35
4.5 臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬.....	4-56
4.5.1 臺灣近岸計算海域巢狀格網配置與海流模擬計算架構 -----	4-56
4.5.2 臺灣四周海域單純含括潮汐效應之計算潮流流場--	4-57
4.5.3 臺灣四周海域綜合洋流與潮流效應之計算海流流場	4-58
4.5.4 臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之計算海流流場	4-59
4.5.4 臺灣7大港口外廓海域綜合洋流與潮流效應之計算海流 驗證-----	4-61
4.6 臺灣近岸海域洋流對潮流流場之影響評估.....	4-64
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 研究目的與問題簡述.....	5-1
5.2 結論.....	5-2
5.3 建議.....	5-3
5.4 研究成果之效益.....	5-5
5.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形.....	5-6
參考文獻.....	參-1

附錄 1 POM 模式操作手冊	附 1-1
一、前言	附 1-2
二、模式架構	附 1-2
2.1 模式檔案與目錄架構	附 1-3
2.2 編譯與安裝	附 1-6
三、程式說明	附 1-11
3.1 前置處理程式	附 1-11
3.2 主程式 pom2k.exe	附 1-16
3.3 主程式 pom.exe	附 1-23
3.4 後置處理程式	附 1-31
3.5 命令腳本	附 1-33
四、繪圖與分析程式	附 1-35
五、操作範例說明	附 1-38
附錄 2 期末報告審查簡報資料	附 2-1
附錄 3 期末報告審查會議及審查委員意見處理表	附 3-1

圖目錄

圖 2-1	POM 模式所採用之 σ 座標系統 (MELLOR, 2003)	2-9
圖 2-2	內外模式相嵌示意圖 (MELLOR, 2003)	2-13
圖 2-3	二維外部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003)	2-13
圖 2-4	三維內部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003)	2-14
圖 2-5	POM 內外模式之計算流程圖	2-16
圖 2-6	以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖	2-20
圖 3-1	POM 模式建置與資料處理流程	3-4
圖 3-2	POM 模式採行 MPI 平行化計算之效率評估圖	3-5
圖 4-1	全球主要洋流的分布(資料來源：P://BLOG.DILI8844.COM/WP-CONTENT/ UPLOADS/2010/04/F922DF39FF1579EE3B87CE40.JPG)	4-2
圖 4-2	基隆港海象測站佈置示意圖(曾 等, 2011)	4-7
圖 4-3	蘇澳港海象測站佈置示意圖(曾 等, 2011)	4-8
圖 4-4	花蓮港海象測站佈置示意圖(曾 等, 2011)	4-8
圖 4-5	高雄港海象測站佈置示意圖(曾 等, 2011)	4-9
圖 4-6	安平港海象測站佈置示意圖(蘇 等, 2011)	4-9
圖 4-7	臺中港海象測站佈置示意圖(曾 等, 2011)	4-10
圖 4-8	臺北港海象測站佈置示意圖(蘇 等, 2011)	4-10
圖 4-9	基隆港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-11
圖 4-10	蘇澳港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-12
圖 4-11	花蓮港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-13
圖 4-12	高雄港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-14
圖 4-13	安平港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-15
圖 4-14	臺中港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-16

圖 4-15 臺北港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖	4-17
圖 4-16 全球海域(G1)之計算範圍與地形水深	4-21
圖 4-17 西北太平洋海域(N2)之計算範圍與地形水深	4-22
圖 4-18 臺灣四周海域(T3)之計算範圍與地形水深	4-22
圖 4-19 臺灣近岸海域(T-NS)之計算範圍與地形水深	4-23
圖 4-19(續) 臺灣近岸海域(T-NS)計算範圍含括臺北(左)及基隆(右)商港之北 部局部海域(T-NS_N)計算範圍與地形水深；	4-23
圖 4-19(續) 臺灣近岸海域(T-NS)計算範圍含括臺中商港之中西部局部海域 (T-NS_W)計算範圍與地形水深；	4-24
圖 4-19(續) 臺灣近岸海域(T-NS)計算範圍含括高雄商港(左)之西南部局部海 域(T-NS_SW)及含括蘇澳與花蓮商港(右)之東部局部海域(T-NS_E) 計算範圍與地形水深	4-24
圖 4-20 巢狀格網邊界(紅)及邊界緩衝區(藍)示意圖	4-26
圖 4-21 全球計算海域(G1)於西北太平洋海域範圍內自 1991 年至 1996 年之 年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場	4-38
圖 4-22 西北太平洋計算海域(N2)自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上) 與 300 米等水深層(下)之計算海流流場	4-39
圖 4-23 臺灣四周計算海域(T3)自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場	4-40
圖 4-24 臺灣四周計算海域(T3)式自 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	4-41
圖 4-25 臺灣四周(T3)計算海域 20 米(上)與 50 米(下)等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較	4-42
圖 4-26 臺灣四周(T3)計算海域 20 米等水深層(表層)1991 至 2009 年實測(左) 與模擬計算(右)之春季(上)與夏季(下)季平均流場流態比較	4-43
圖 4-26(續) 臺灣四周(T3)計算海域 20 米等水深層(表層)1991 至 2009 年實測	

- (左)與模擬計算(右)之秋季(上)與冬季(下)季平均流場流態比較.. 4-44
- 圖 4-27 臺灣鄰近海域 0 至 200 米等水深層 1982 至 2005 年間春(A)、夏(B)、秋(C)、冬(D)之季平均計算流速分布圖(資料來源；HSIN ET AL., 2008)4-45
- 圖 4-28 臺灣東部海域 CODAR 實測(左；資料來源：國研院台灣海洋科技研究中心)及模擬計算(右)所得之海表面黑潮流場對照比較 4-45
- 圖 4-29 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之驗證比較..... 4-46
- 圖 4-30 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之經度位置驗證比較 . 4-46
- 圖 4-31 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之緯度位置驗證比較 . 4-46
- 圖 4-32 AOML 編號 62302、62303、62309、71347、71351 及 63190 浮標(由左而右、由上而下)於 2006 及 2007 年之實測與推算流跡驗證比較 4-47
- 圖 4-33 臺灣鄰近計算海域(T3)於北緯 21 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)一南北向(下)分量驗證..... 4-48
- 圖 4-34 臺灣鄰近計算海域(T3)於北緯 23 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)一南北向(下)分量驗證..... 4-49
- 圖 4-35 臺灣鄰近計算海域(T3)於北緯 25 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)一南北向(下)分量驗證..... 4-50
- 圖 4-36 臺灣東部海域分別自北緯 24 度至 21 度(由上至下)水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化..... 4-51
- 圖 4-37 臺灣海峽中段海域水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化..... 4-51
- 圖 4-38 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均鹽度分布比較 4-52
- 圖 4-39 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度分布比較 4-53
- 圖 4-40 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里(121.75°E; 24.0°N)於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均溫度時序變化. 4-54
- 圖 4-41 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里(121.75°E; 24.0°N)於水深分別為 20

	米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均鹽度時序變化.4-55
圖 4-42	臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬計算巢狀格網配置與 架構.....4-56
圖 4-43	臺灣四周海域(T3)冬季潮流之模擬計算流場 2009/01/12 08:00(上)； 10:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-68
圖 4-43(續)	臺灣四周海域(T3)冬季潮流之模擬計算流場 2009/01/12 12:00(上)；14:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-69
圖 4-43(續)	臺灣四周海域(T3)冬季潮流之模擬計算流場 2009/01/12 16:00(上)；18:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-70
圖 4-44	臺灣四周海域(T3)冬季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/01/12 08:00(上)；10:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-71
圖 4-44(續)	臺灣四周海域(T3)冬季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流 場 2009/01/12 12:00(上)；14:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-72
圖 4-44(續)	臺灣四周海域(T3)冬季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流 場 2009/01/12 16:00(上)；18:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-73
圖 4-45	臺灣四周海域(T3)冬、夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/01/12 20:00(上)；2009/07/09 08:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-74
圖 4-45(續)	臺灣四周海域(T3)夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流 場 2009/07/09 10:00(上)；12:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-75
圖 4-45(續)	臺灣四周海域(T3)夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流 場 2009/07/09 14:00(上)；16:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-76
圖 4-45(續)	臺灣四周海域(T3)夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流 場 2009/07/09 18:00(上)；20:00(下)(參考潮位：臺中港).....4-77
圖 4-46	臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海 面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值， 黑點表示計算時刻為 2009/07/01 08:00.....4-78
圖 4-46(續)	臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表

- 層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 10:00 4-79
- 圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 12:00 4-80
- 圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 14:00 4-81
- 圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 16:00 4-82
- 圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 18:00 4-83
- 圖 4-47 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 08:00..... 4-84
- 圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 10:00..... 4-85
- 圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 12:00..... 4-86
- 圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 14:00..... 4-87
- 圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海

- 流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 16:00..... 4-88
- 圖 4-48 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 08:00..... 4-89
- 圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 10:00..... 4-90
- 圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 12:00..... 4-91
- 圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 14:00..... 4-92
- 圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 16:00..... 4-93
- 圖 4-49 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 08:00..... 4-94
- 圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 10:00 4-95
- 圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 12:00 4-96
- 圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面

- 之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 14:00 4-97
- 圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 16:00 4-98
- 圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 18:00 4-99
- 圖 4-50 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 08:00 4-100
- 圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 10:00 4-101
- 圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 12:00 4-102
- 圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 14:00 4-103
- 圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 16:00 4-104
- 圖 4-51 臺灣四周計算海域(T3)與臺灣近岸之北部(T-NS_N；上)、中西部(T-NS_W；中左)、東部(T-NS_E；中右)及西南部(T-NS_SW；下)等 4 局部巢狀格網計算海域內及邊界上之計算流場校驗 4-105
- 圖 4-52 基隆港港口外廓海域(T-NS_N)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮

	位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年10月份).....	4-106
圖 4-52(續)	基隆港港口外廓海域(T-NS_N)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年10月份).....	4-107
圖 4-53	基隆港港口外廓海域(T-NS_N)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-108
圖 4-54	臺北港港口外廓海域(T-NS_N)夏季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年6月份).....	4-109
圖 4-54(續)	臺北港港口外廓海域(T-NS_N)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年10月份).....	4-110
圖 4-55	臺北港港口外廓海域(T-NS_N)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-111
圖 4-56	臺中港港口外廓海域(T-NS_W)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年10月份).....	4-112
圖 4-56(續)	臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年12月份).....	4-113
圖 4-57	臺中港港口外廓海域(T-NS_W)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-114
圖 4-58	蘇澳港港口外廓海域(T-NS_E)夏季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年8月份).....	4-115
圖 4-58(續)	蘇澳港港口外廓海域(T-NS_E)秋季觀測與模式模擬結果之海流	

	與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時 序列圖(2010年9月份).....	4-116
圖 4-59	蘇澳港港口外廓海域(T-NS_E)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮 流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-117
圖 4-60	花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮 位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序 列圖(2009年11月份).....	4-118
圖 4-60(續)	花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)秋季觀測與模式模擬結果之海流 與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時 序列圖(2010年9月份).....	4-119
圖 4-61	花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮 流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-120
圖 4-62	安平港港口外廓海域(T-NS_SW)夏季觀測與模式模擬結果之海流與 潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序 列圖(2009年6月份).....	4-121
圖 4-62(續)	安平港港口外廓海域(T-NS_SW)秋季觀測與模式模擬結果之海 流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速 時序列圖(2010年9月份).....	4-122
圖 4-63	安平港港口外廓海域(T-NS_SW)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及 潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-123
圖 4-64	高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)秋季觀測與模式模擬結果之海流與 潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序 列圖(2009年11月份).....	4-124
圖 4-64(續)	高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)夏季觀測與模式模擬結果之海 流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速 時序列圖(2010年6月份).....	4-125
圖 4-65	高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及	

潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較.....	4-126
圖 4-66 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流 流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 08:00...	4-127
圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流 流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 10:00	4-128
圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 12:00	4-129
圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 14:00	4-130
圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 16:00	4-131
圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 18:00	4-132
圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 20:00	4-133
圖 4-67 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流 流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 08:00...	4-134
圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 10:00	4-135
圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右) 之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 12:00	4-136

圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/04/12 14:00	4-137
圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/04/12 16:00	4-138
圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/04/12 18:00	4-139
圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/04/12 20:00	4-140
圖 4-68 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/07/09 08:00	4-141
圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/07/09 10:00	4-142
圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/07/09 12:00	4-143
圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/07/09 14:00	4-144
圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/07/09 16:00	4-145
圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中),參考潮位(下):臺中港,2009/07/09 18:00	4-146

圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/07/09 20:00	4-147
圖 4-69 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 08:00...	4-148
圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 10:00	4-149
圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 12:00	4-150
圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 14:00	4-151
圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 16:00	4-152
圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 18:00	4-153
圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中), 參考潮位(下): 臺中港, 2009/10/05 20:00	4-154

表目錄

表 3-1 NCEP/NCAR 分析風場資料格式.....	3-6
表 3-2 NCEP/CFSR 氣候預測風場資料格式.....	3-7
表 3-3 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式.....	3-7
表 3-4 NCEP/CFSR 氣候預測海面大氣壓力資料格式.....	3-8
表 3-5 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式.....	3-9
表 3-6 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式.....	3-9
表 3-7 NCEP/CFSR 氣候預測海面溫度資料格式.....	3-10
表 3-8 NODC WOA05 海洋溫鹽資料庫格式.....	3-10
表 3-9 NGDC ETOPO2v2G 全球地形水深資料庫格式.....	3-11
表 3-10 NGDC ETOPO1 全球地形水深資料庫格式.....	3-11
表 3-11 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料.....	3-12
表 3-12 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料.....	3-13
表 3-13 國科會海洋學門水深資料庫格式.....	3-13
表 4-1 國內 7 大商港外廓海域具有海流觀測資料(灰色)之月份統計.....	4-6
表 4-2 國內 7 大商港港內具有潮位觀測資料(灰色)之月份統計.....	4-7
表 4-3 國內 7 大商港海域具有風力觀測資料(灰色)之月份統計.....	4-7
表 4-4 巢狀格網計算海域範圍與計算條件.....	4-27
表 4-5 巢狀格網計算海域不同時空解析度之海氣象資料庫應用.....	4-27
表 4-6 POM 模式之重要計算參數設定.....	4-28
表 4-7 臺灣東部近海相關黑潮傳輸量之研究(HSIN ET AL., 2008).....	4-37

附表 1	NCL 命令腳本與圖形對照表	附 1-36
附表 2	CREATEPROJ.SH 命令腳本中所需參數表	附 1-40

第一章 緒論

1.1 研究緣起

海洋是陸地河川的總匯聚所，具有豐富的生態，為生養哺育地球萬物的重要生產區。海流則是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)「永續經營及利用」的最根本課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術(林 等，2010；蔡 等，2010；柯 等，2010；陳 等，2011；張 等，2011；林 等，2011)。此外，基於海洋與氣候的大尺度特性，又基於其彼此間複雜的交互作用與影響，因此，海流的研究，長久以來一直是跨國界、跨學門領域的艱鉅工作，其不僅牽涉層面相當的廣泛，更需要透過大量水下、海上、太空等人力與物力資源的整合。是以先進的海洋國家，無不積極參與投入，其中，臺灣及日本即曾有黑潮觀測計畫，韓國亦曾有東北亞海洋觀測系統等。至於海洋模式的研發與國際分享，歐洲有 COHERENS(Coupled Hydrodynamical Ecological model for Regional Shelf seas)模式，美洲則有 POM (Princeton Ocean Model)、ROMS (Regional Ocean Modelling System)、及 HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model)等模式的公開。

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮，全年皆由南而北流經東部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南流經臺灣海峽；除此之外，基於臺灣海峽的水深地形所引致的半日型潮波共振效應，在臺灣海峽的南北兩端開口，常年有潮波的無潮點存在，因此，導致潮流的流速普遍甚強勁，洋流與強勁潮流的交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性或漂沙移運沉積型態產生異常的特殊變化，如在高雄港外海即可測得漲潮流向向南而退潮流向向北的特殊海流特性(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，常明顯可見型態甚特殊之大型水下沉積沙體(莊，2009)。

氣候變遷、全球暖化、能源需求等課題，皆是 21 世紀全球必須共同面對、因應的重大挑戰，而發展再生能源，勵行「節能減碳」，目前已是我國政府甚重要的施政政策。在再生能源中，除了太陽能、生質能、水力、風力等外，尚包括潮差、潮流、波浪、溫差等蘊藏量龐大的海洋能源(劉等，1999；盧等，2007；徐、顏，2007；林、張，2010；蔡等，2010；柯等，2010；陳等，2011；張等，2011；林等，2011)。

臺灣四面環海，總體海岸又鄰近東亞大陸棚架緣，特殊的地理與海域環境，加上大陸及海洋氣候型態的綜合影響，促使臺灣鄰近海域，亦蘊藏有豐富的海洋能源。2005 年，經濟部即曾就臺灣周圍海域的海流能、波浪能、及海洋溫差能之開發潛力進行調查。2008 年 6 月 5 日行政院會通過「永續能源政策綱領」，宣示 2025 年再生能源發電量占比應達 8% 以上為目標。2008 年，經濟部能源局更委託工業技術研究院執行為期 3 年之「海洋能源發電系統評估與測試計畫」，希望透過海洋能源穩健開發之研究，建立自立、自主之海洋能源開發技術。此外，立法院於 2009 年 6 月 12 日通過「再生能源發展條例」，訂定再生能源發電容量獎勵總量為 650~1,000 萬瓩，進一步宣示政府加強推動再生能源發電之政策，並對「再生能源」定義為太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、水力（不含抽蓄水力）、國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源。

黑潮，流量是亞馬遜河的一百倍，是密西西比河、長江的一千倍。其主流由南向北經過臺灣東岸，平均流速每秒一公尺以上，是強勁且穩定的洋流。若能善加開發利用，則其確實是我國發展替代能源的重大天然海洋資源。行政院產業科技策略會議於 2008 年 12 月 15 日召開，會中，行政院科技顧問、臺灣大學李嗣涔校長即曾對「黑潮發電」的開發利用課題提出詳細說明(李承宇，聯合電子報，第 2965 期，2008/12/16)。另外，臺灣大學應用力學所陳發林教授在「台大對新政府的期許—台灣能源自主與產業開創契機」報告書中亦曾表示：「黑潮

是上天給臺灣最好的禮物，也是臺灣能源自主的唯一希望。目前全球尚未有針對洋流發電的設備技術；如果臺灣率先投入，不只發電，相關的設備與技術每年就可帶來超過兩千億元的產值。」(李承宇，聯合電子報，第 2965 期，2008/12/16)。至於黑潮發電開發利用之可行性，臺電在十年前，即曾進行相關研究，並曾對實際技術面待克服的問題進行過探討，同時也曾對其可能造成地球環境生態的衝擊影響進行評估(朱婉寧，聯合報，2008/12/16)。

為補充既有地球環境科技監測體系的完整，針對以上臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形與地理環境，並為政府相關海洋政策及海洋能資源利用目標之達成，因此，有必要針對大尺度潮流與洋流之特性進行綜合研究，並探討洋流對潮流等近岸水動力特性之相關影響。此外，國內深層海水產業刻正於臺灣東部海域大陸棚緣蓬勃發展，而為促進該產業之永續開發、經營、管理、與利用，推進本土化深層海水水溫水質變化監測及評估關鍵技術之發展，更需藉助於近岸海流的長期監測與研究。

近年來，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」之重點與特性，主要即在順應「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，詳實考量綜合洋流與潮流效應之近岸海流特性，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，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人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，亦即在「大尺度」之「永續」性上，可充分與「近自然工法」相關聯，並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)，從而可藉以厚植維護海岸穩定及海灘保育之關鍵技術(莊、廖，2010；2011)，落實「近自然工法」策略之推展與實行。

本研究為 4 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」之第三分年研究課題。全程研究計畫係依據第七次全國科學技術會議結論、國家科技發展綱領，並配合海洋科技發展相關策略及措施而擬定。可預期地，本研究將可成為我國從事深層海水水資源開發利用、海洋資源保育、海岸保護、與近岸災害防救之新興課題，且必為配合達成海洋國家永續發展目標之科研重點。另外，本研究課題，與海洋資源的開發及海洋能源永續發展利用息息相關，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(大尺度之永續性)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。

本研究全程研究之總目標，主要在針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，透過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，結合國際長期性海氣象資料庫之應用，綜合考量大尺度之洋流與潮流效應，完成臺灣鄰近海域之近岸海流模擬，再藉實測資料，檢驗分析海流特性，從而達成港灣及海岸水動力數值模擬之應用，探討港灣及海岸水理，改善港灣環境，維護海岸穩定，落實採行「近自然工法」策略，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」。

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(quasi-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溯升之近岸海域。

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 $32.7 \pm 4.4Sv$ ；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，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)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，模擬洋流之水動力特性，並探討初始條件、邊界條件與計算海域範圍對洋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。

1.3 工作項目

本研究為 4 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」之第三分年研究課題，研究重點在延續前二年針對臺灣近岸海域之海流模擬經驗與結果(莊、廖，2010；2011)，進一步應用 POM 三維海流模式，採取 MPI (Message Passing Interface) 平行

計算與正交曲線座標格網配置方式，提昇近岸地形之空間解析度，改善模式計算效率，進而透過臺灣近岸海域實測海流之驗證，完成綜合考量洋流與潮流共同效應之近岸海流模擬計算，並進行臺灣近岸海域洋流對近岸潮流之影響評估。鑑此，本年度研究之重點工作項目如下：

- (1) 改善 POM 模式之模擬計算流程、計算能量、計算效率與環境。
- (2) 引進國內外最新與高解析度之海氣象資料庫，並將其應用於臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬。
- (3) 探討基隆、臺北、臺中、安平、高雄、花蓮、蘇澳等國內 7 大主要商港近岸海域實測海流之水動力特性。
- (4) 檢核與驗證國內 7 大主要商港海域近岸實測海流與綜合洋流及潮流效應之模擬計算成果。
- (5) 進行臺灣近岸海域洋流對近岸潮流之影響評估。
- (6) 建立臺灣鄰近海域海流模擬作業化系統，整理研究成果，撰寫 POM 模式操作手冊及研究報告。

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) 建立臺灣鄰近海域海流數值模擬作業系統；探討臺灣鄰近海域海流之水動力特性；進行臺灣近岸海域洋流對近岸潮流之影響評估；掌握臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響。
- (2) 針對臺灣近岸海域，確立洋流與潮流對近岸海流之影響性，評估大尺度海流特性之變化，釐清臺灣西海岸長期性海岸變動之機制；強化總體性海岸保育策略(如：恆常海流之流速與流向、海岸長期沖淤潛勢等)及海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)永續開發利用之基礎關鍵資訊。
- (3) 成功綜合洋流與潮流之共同效應進行海流模擬計算；有效掌握臺灣

鄰近海域海流水動力特性之季節性變化，俾利交通部、水利署、內政部、環保署、及縣市政府等從事海洋能源開發與利用及海洋資源保育之評估依據。

- (4) 建立並提供臺灣東部海域海流之季節性變化資訊，俾利交通部、經濟部、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣東部海域深層海水開發之海洋物理特性評估。
- (5) 在臺灣四周海岸，建立綜合洋流與潮流水動力效應之優勢海流，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，藉以厚植海灘保育之關鍵技術，落實採行「近自然工法」(郭金棟，2004)策略以維護海岸穩定，提供長期性大尺度自然海灘沖淤變遷趨勢之評估資訊，俾利水利署、經建會、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣海岸長期沖淤潛勢之影響評估。
- (6) 全面性與總體性地評估臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響，配合行政院推動海洋國家的長期性、全面性、總體性的海岸保育與防災策略，厚植臺灣維護海岸穩定之關鍵技術及採行「近自然工法」策略保育海灘之依據。
- (7) 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。

第二章 POM 模式之理論介紹

2.1 模式特性

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性水動力前提下，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，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，為充分考量水深、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，由於海水與淡水在此交會，兩者密度不同，故存在鹽、淡水混合和鹽水入侵的問題，透過鹽度狀態方程式，POM 模式也可以加入河川流量來模擬計算河口海域之鹽度變化與相關之河口物理動力機制。

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漩擴散係數，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。以下簡介該模式之控制方程式、邊界條件與相關之數值方法。

2.2 控制方程式

2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

POM 模式的基本控制方程式為質量和動量守恆方程式。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：

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

式中， U 、 V 分別為 x 、 y 水平方向的流速； W 為 z 垂直方向的流速，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：

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_u \dots\dots\dots (2-2)$$

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

而垂直方向的動量方程式，由於垂直方向流速(W)的大小比起水平方向的流速(U, V)尺度小了許多，故把垂直方向的動量方程式化簡為下列的靜水壓方程式來代替表示：

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

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 為動量垂直渦漩混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent momentum mixing)， g 為重力加速度， f 為科氏力參數， F_u 、 F_v 分為 x 、 y 方向之雷諾應力(Reynolds Stresses)。

將式(2-4)的靜水壓方程式作垂直積分，因此可得流體中的壓力為：

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

溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

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

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

其中 θ 表示溫度， S 為鹽度， K_H 為溫度(熱能)和鹽度的垂直渦漩混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)，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：

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

而在控制方程式中的 F_u 、 F_v 、 F_θ 、 F_S ，其分別可表示如下：

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

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

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

式(2-11)中， 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

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

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)。

2.2.2 紊流閉合模式

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

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

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

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

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

其中 L 表示為：

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

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

動量以及熱能和鹽度之垂直渦旋擴散係數分別表示如下：

$$K_M = q l S_M \dots \dots \dots (2-17)$$

$$K_H = q l S_H \dots \dots \dots (2-18)$$

$$K_q = q l S_q \dots \dots \dots (2-19)$$

其中 S_M 、 S_H 、 S_q 定義為穩定函數，而以下式表示：

$$S_H [1 - (3A_2 B_2 + 18A_1 A_2) G_H] = A_2 [1 - 6A_1 / B_1] \dots \dots \dots (2-20)$$

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

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

上二式中

$$G_H \equiv \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \dots\dots\dots(2-23)$$

其中參數分別為

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

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

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

2.2.3 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：

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

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：

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

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

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

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

式中， $D \equiv H + \eta$ 。將上列式(2-25)至(2-28)代入控制方程式，則上列所有的方程式，將可自卡式座標系統完全轉換至 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 2-1 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：

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

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，

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

而轉換至 σ 座標系統之連續方程式可改寫為：

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

動量守恆方程式則轉換為：

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

$$\frac{\partial VD}{\partial t^*} + \frac{\partial UVD}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y^*}$$

$$+ \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma} \left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + DF_v \quad (2-33)$$

溫度守恆方程式可改寫為：

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

鹽度守恆方程式可表示為：

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

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：

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

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

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

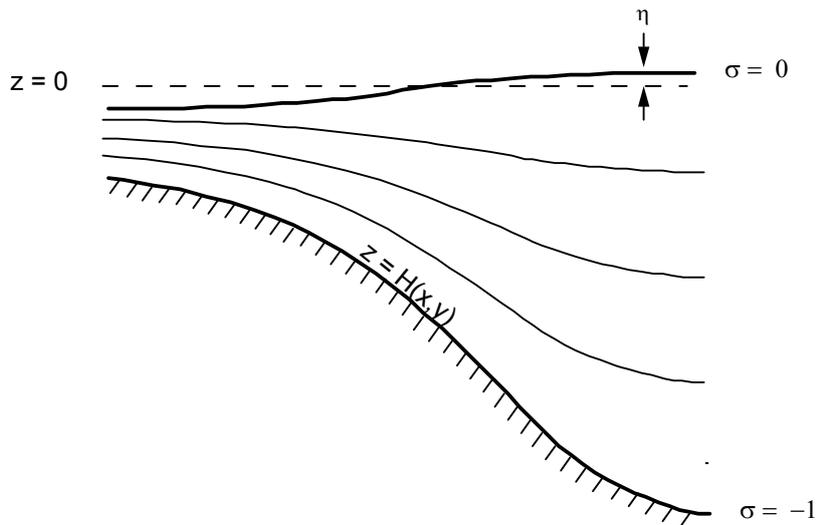


圖 2-1 POM 模式所採用之 σ 座標系統 (Mellor, 2003)

2.2.4 外模式-水深積分方程式

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(2-31)至(2-33)，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

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

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

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

式中，

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

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

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

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

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

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

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

在 POM 模式中，當外模式運算時，式(2-39)與(2-40)之等號右側項保持為定值，而在內模式計算時才重新更新其值。至於若單獨執行二維模式，則設定 $G_x = G_y = 0$ 。

2.2.5 邊界條件

連續方程式，式(2-31)的水面及底床邊界條件可設定為

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

動量方程式，式(2-32)、(2-33)兩式的表面邊界條件可寫為

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

而底部邊界條件則可寫為

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

式中，

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

κ 為 von Karman 常數，其值可設為 0.4； z_0 為摩擦糙度參數； σ_{Kb} 為 σ 座標於垂直層 $K = Kb$ 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(2-34)、式(2-35)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

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

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

而紊流閉合方程式，式(2-36)、(2-37)的水面和底床邊界條件分別為：

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

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

其中 B_1 為紊流閉合常數， u_r 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

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

FBC 為已知或設定之單位寬度流通量(flux)，其通常可依據上層格網計算值設定或得知，而其上之水位邊界條件，則可設定為

$$\eta = BC \dots\dots\dots(2-49)$$

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

$$c_e = \sqrt{gH} \dots\dots\dots(2-50)$$

為線性一階之淺水波速。

2.3 數值方法

2.3.1 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 2-2 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 2-3 與圖 2-4 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。

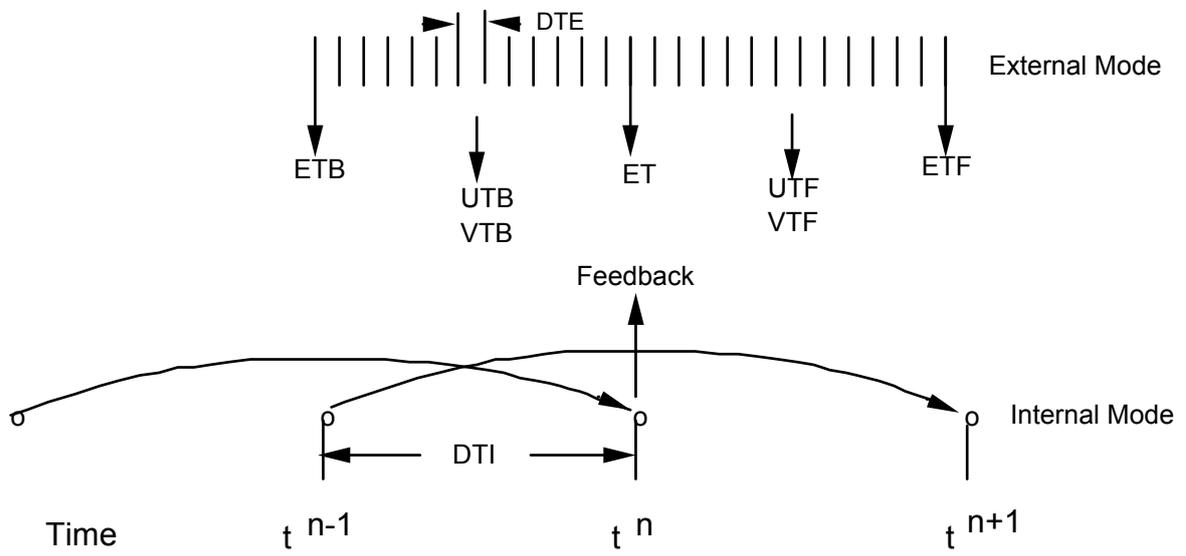


圖 2-2 內外模式相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

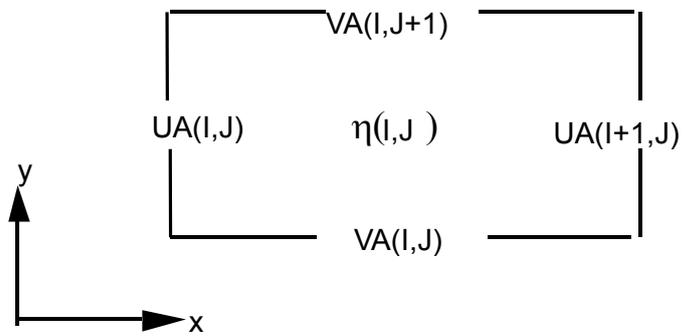


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

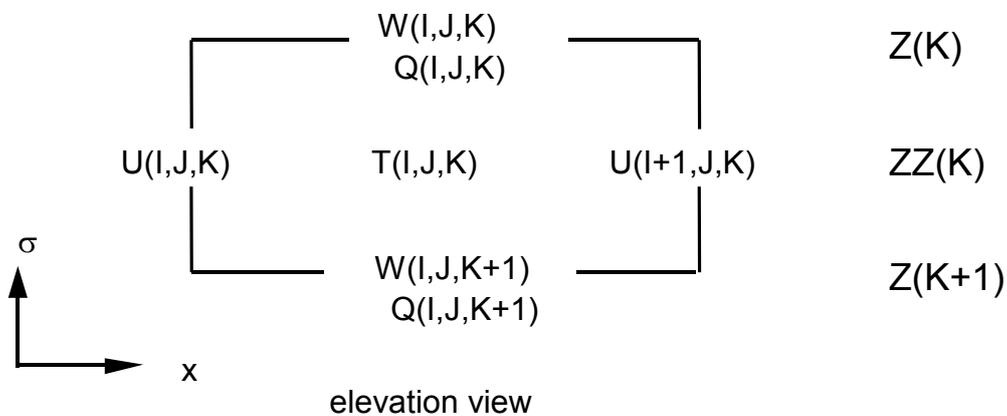
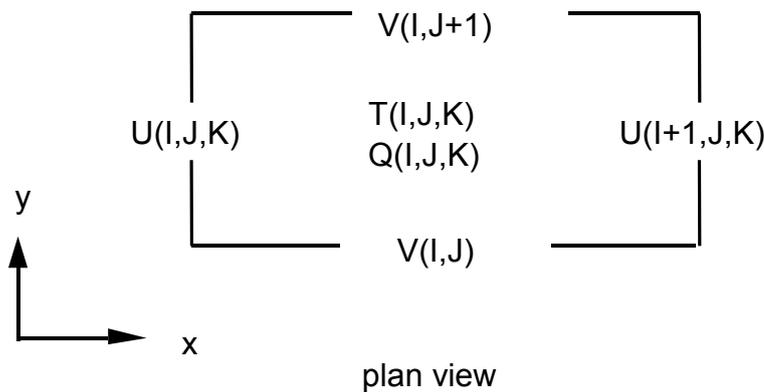


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

(Q 表示 K_m 、 K_h 、 q^2 或 $q^2 l$; T 表示 T 、 S 或 ρ)

2.3.2 數值離散

關於 POM 模式中的數值離散技巧，在三維模式計算中，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

$$\frac{\partial DT}{\partial t} + Adv(T) - Dif(T) = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (2-51)$$

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

$$\frac{\tilde{D}\tilde{T} - D^{n-1}T^{n-1}}{2\Delta t} = -Adv(T^n) + Dif(T^{n-1}) \dots\dots\dots(2-52)$$

$$\frac{D^{n+1}T^{n+1} - \tilde{D}\tilde{T}}{2\Delta t} = \frac{1}{D^{n+1}} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T^{n+1}}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots(2-53)$$

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

$$T_s = T^n + \frac{\alpha}{2} (T^{n+1} - 2T^n + T^{n-1}) \dots\dots\dots(2-54)$$

其中， T_s 是平滑化的解， α 取 0.05。在式(2-54)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。

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

$$-Adv(T)h_x h_y = \delta_x (Dh_y UT) + \delta_y (Dh_x VT) + h_x h_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\Delta \sigma} \dots\dots\dots(2-55)$$

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，在 POM 模式預設為中央差分法。而模式的總體計算流程與相對應的重要處理程序，如圖 2-5 中所示。

2.3.3 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

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_t} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots(2-56)$$

$$C_t = 2(gH)^{1/2} + U_{\max} \dots\dots\dots(2-57)$$

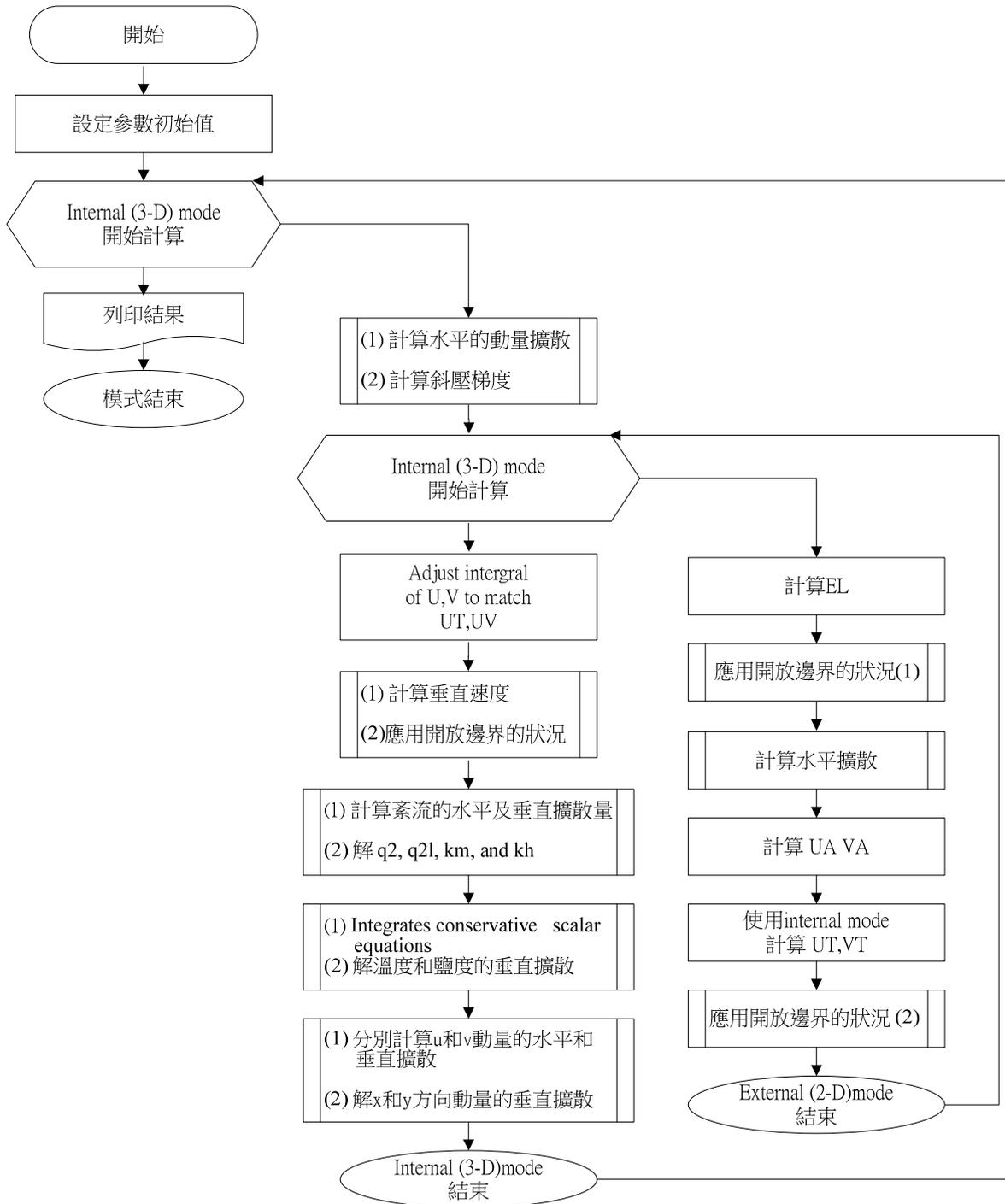


圖 2-5 POM 內外模式之計算流程圖

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

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{C_T} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots(2-58)$$

$$C_T = 2c + U_{max} \dots\dots\dots(2-59)$$

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

$$\Delta t_d \leq \frac{1}{4A} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1} \dots\dots\dots(2-60)$$

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

$$\Delta t_c \leq \frac{1}{2\Omega \sin \phi} \dots\dots\dots(2-61)$$

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 σ 座標的關係，故會在靠近海岸處的淺水海域，形成不可計算的奇異點，故在水深給定時必需設定最小水深，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可能的最小水深。

2.4 乾溼格網

為了近岸潮流的模擬所需，本研究於沿海地區亦考量乾溼格網技巧的應用。而為了在沿海地區之計算方便，通常使用一有限水深的假設來限制流體運動，而海陸交界處，則被假設成一流體無法通過的垂

直邊界，但此一假設，在潮間帶與容易溢淹處是不適宜的。因此，為了合理地模擬海岸地區流體溯升、洩降、或溢淹等效應，在最新版本 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)。相關之乾溼格網機制數值技巧，概述如下。

模擬領域可定義為海洋地區 R 與陸地邊界 ∂R ，在 ∂R 則假設垂直方向的通量為零，在 R 中的海洋狀態則可由模式模擬。在原始的 POM 模式中利用一最小水深的限制來產生一陸地格網遮罩(land mask) FSM 定義出 R 與 ∂R ，小於最小水深(通常為 10 公尺)的區域視為陸地(FSM=0)，反之為海洋(FSM=1)，故在模式中零通量的狀態則是以變數與遮罩的相乘來模擬陸地邊界的零通量。Oey (2006)據此延伸出一乾溼格網遮罩(WETMASK)完成乾溼格網的機制，此方法亦避免了對 POM 模式程式碼進行大幅修改。如圖 2-6 中所示，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

$$D = H + \eta(x, y, t) = H_{msl} + \eta_{msl}(x, y, t) \dots\dots\dots (2-62)$$

當溢淹區中無水時 $H_{dry} \geq D$ 為乾格網 WETMASK=0，反之為溼格網 WETMASK=1，其中 H_{dry} 為最小水深。由於 POM 模式採用 C-grid，故水深平均流速 \bar{U} 與 \bar{V} 可表示為，

$$\bar{U}_{i,j} = 0 \text{ if } (D_{i,j} + D_{i-1,j})/2 \leq H_{dry} \dots\dots\dots (2-63a)$$

$$\bar{V}_{i,j} = 0 \text{ if } (D_{i,j} + D_{i,j-1})/2 \leq H_{dry} \dots\dots\dots (2-63b)$$

為了適當的模擬乾或溼格網變化時產生的連續性問題，以下兩式進行限制乾溼格網的變化所產生的流速，

$$\bar{U}_{i,j} = 0 \text{ if } \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \text{ and } \bar{U}_{i,j} > 0 \text{ or}$$

$$\text{WETMASK}_{i,j} = 0 \text{ and } \bar{U}_{i,j} < 0 \dots\dots\dots (2-64a)$$

$$\bar{V}_{i,j} = 0 \text{ if } \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \text{ and } \bar{V}_{i,j} > 0 \text{ or}$$

$$\text{WETMASK}_{i,j} = 0 \text{ and } \bar{V}_{i,j} < 0 \dots\dots\dots(2-64b)$$

由於上述的限制與技巧僅止於處理水深平均運動方程式的狀態，對於三維模式中狀態方程式的溫度與鹽度並未處理，故引入下式：

$$\frac{\partial(T,S)}{\partial t} = -\alpha_{relax}[(T,S)-(T_{clim},S_{clim})] \text{ if } \text{WETMASK} = 0 \dots\dots\dots(2-65)$$

來消散乾格網中所殘留的 T 與 S ，其中 $\alpha_{relax} = 2day^{-1}$ 。

另外，在三維模式中，流速於乾溼格網交界處亦須修正為：

$$U_{i,j,k} = \bar{U}_{i,j} \text{ if } \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \dots\dots\dots(2-66a)$$

$$V_{i,j,k} = \bar{V}_{i,j} \text{ if } \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \dots\dots\dots(2-66b)$$

由於POM模式在時間積分上採用外模式與內模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 ($N\Delta t_e = t_i$)，如此會形成乾溼交界於當內模式計算時距內產生變化時無法作即時反應，因此，Oey(2006)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。而對於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，故對於此種情況，式(2-45e)應修正為下式：

$$C_z = MAX \left[\frac{K^2}{[\ln(1+z_b/z_0)]^2}, 0.0025 \right] \dots\dots\dots(2-67)$$

式中， z_b 為 $K = Kb - 1$ 層之厚度。

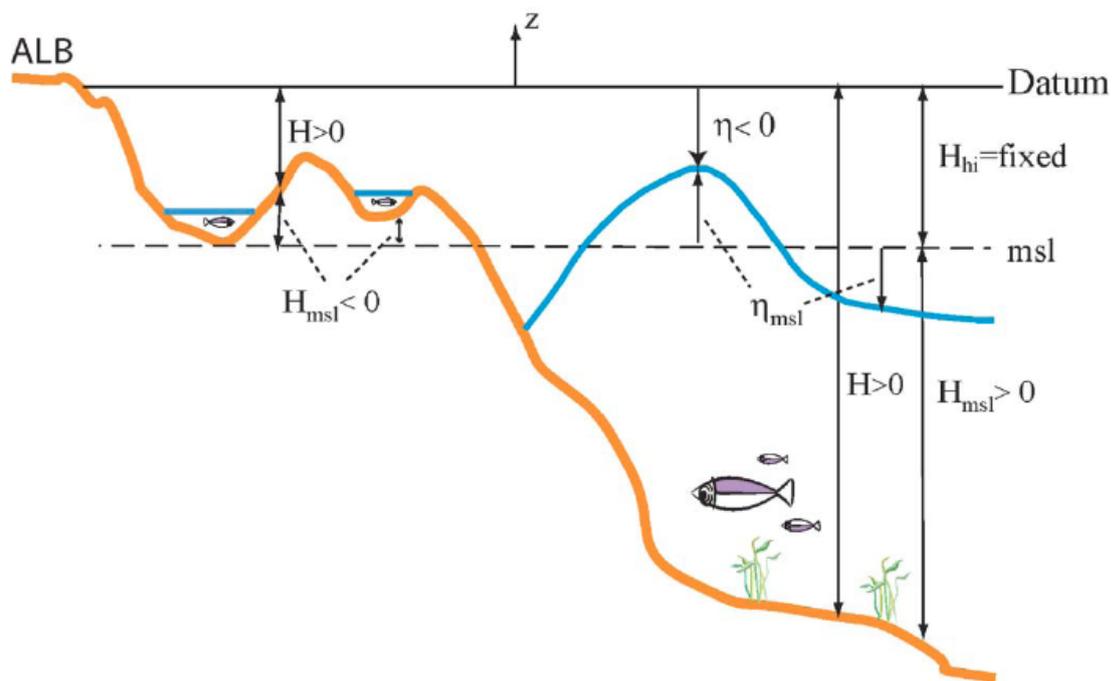


圖 2-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖

第三章 POM 模式執行環境建置

本研究於先前分年計畫中所引進建置之 POM 三維海流模式，已成功試行並將其應用於臺灣鄰近海域之海流模擬(莊、廖，2010；2011)。本年度之研究重點，主要在針對臺灣各主要商港之外廓海域，建構足以陳現綜合洋流與潮流效應之近岸海流流場，並與實測海流數據作驗證比較，進而探討臺灣近岸海域海流之水動力特性，評估洋流對近岸潮流之影響。為了有效落實研究目的，本章將描述模式之建置過程、所需要的軟硬體設備及所需應用的海氣象資料庫。

3.1 軟硬體設備建置

本研究經評估現階段及未來應用之需求，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，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。惟因 POM 模式之原始主程式，並未提供完整的資料輸入介面，為了方便模式執行與使用，本研究因此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 3-1 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，透過 POM 模式進行模擬，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高解析度之近岸地形影響，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，藉以充分利用硬韌體資源以進行快速運算，俾大量節省模式測試運轉之時間。除此而外，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、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，儘管其程式撰寫改編相對較為簡單，且 Intel Fortran 編譯程式已包含有相關之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，但為了提升電腦之模擬計算效能與增加未來擴充性，本研究仍以發展 MPI 版本之 POM 模式為主，主要原因係 MPI 平行程式可以在分散式記憶體之叢集平行系統上執行，也可以在共用記憶體之平行系統上執行。而叢集平行系統由許多相同規格之計算節點(主機)所組成，每組計算節點亦可具有多組中央處理器(CPU)，每組中央處理器通常具有多組計算核心(Core)，透過高速網路連結計算節點組成一大型平行計算系統。故未來需要提升模式解析度，其所增加的計算能量可以透過增加

計算節點的方式來進行，其系統擴充性較佳，亦較符合經濟效益，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 1.4.4 版程式庫，其具有完整 MPI-2 標準、適用於各種網路環境(如 TCP、OpenFabrics、SM、Myrinet、UDAPL 等)、支援多種排程軟體與作業系統、高效能等特點，其 Open MPI 下載網址為 <http://www.open-mpi.org/software/ompi/v1.4/downloads/openmpi-1.4.4.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，使用者必須自行安裝後，透過 Open MPI 程式庫與 Intel Fortran 程式的配合才可進行 MPI 版本 POM 模式之編譯。圖 3-2 為 POM 模式具有 $201 \times 442 \times 21$ 之三維計算格點，利用不同核心數量計算一天所需時間之比較圖，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。

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我描述資料的格式，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，其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，本研究採用 3.6.3 版，而因全部模擬計算資料之讀寫皆透過 NetCDF 程式庫來完成，故在模式建置時亦須同時安裝此程式庫。

於後置繪圖與資料處理方面，本研究亦採用開放源碼軟體為主，如 GMT (Generic Mapping Tools) 與 NCL (NCAR Command Language) 等

進行圖形的繪製時，則透過命令腳本方式，直接呼叫 GMT 或 NCL 軟體，相關繪製圖形的命令腳本範例與操作方式，可參考附錄中之「POM 模式操作手冊」。

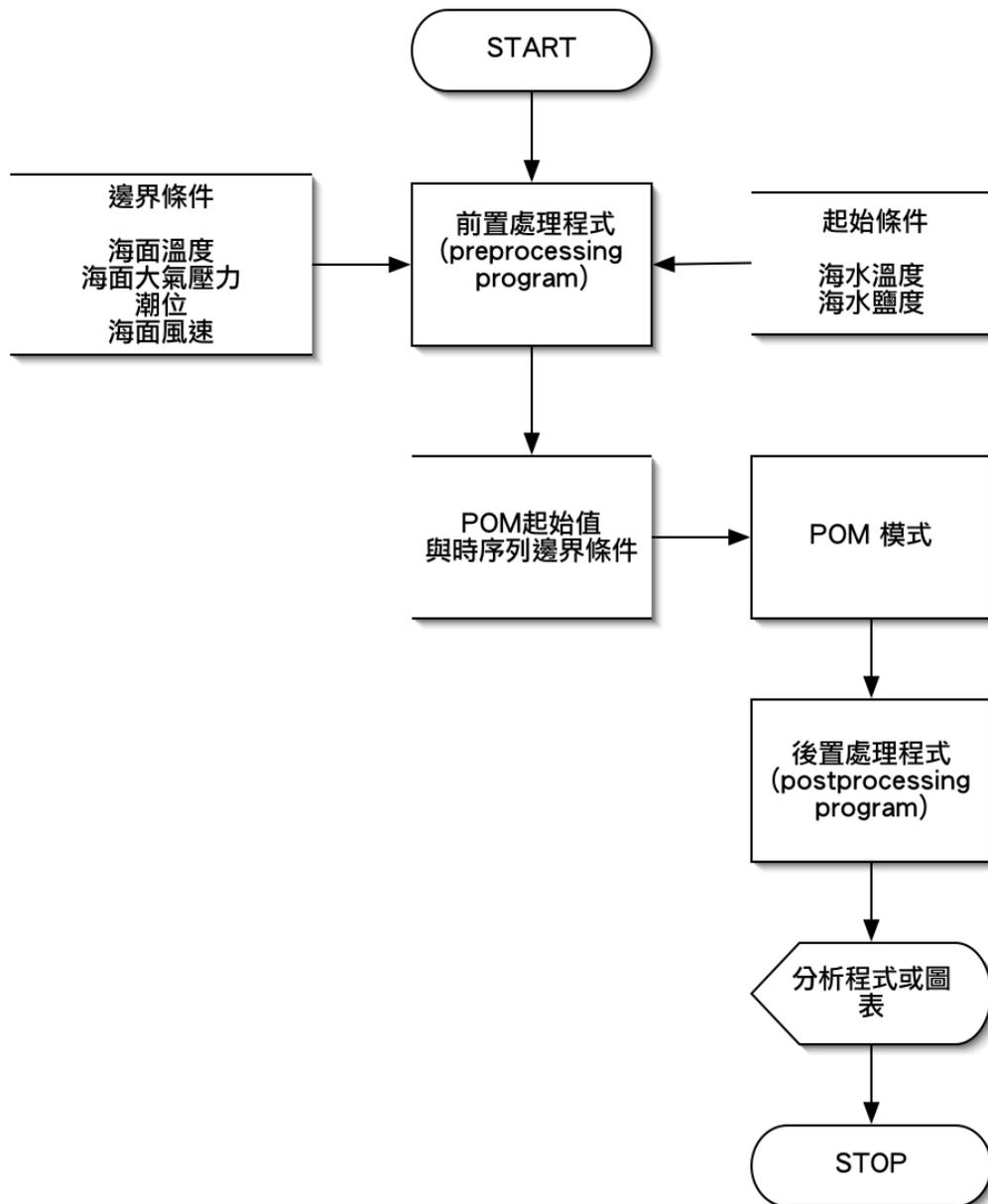


圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程

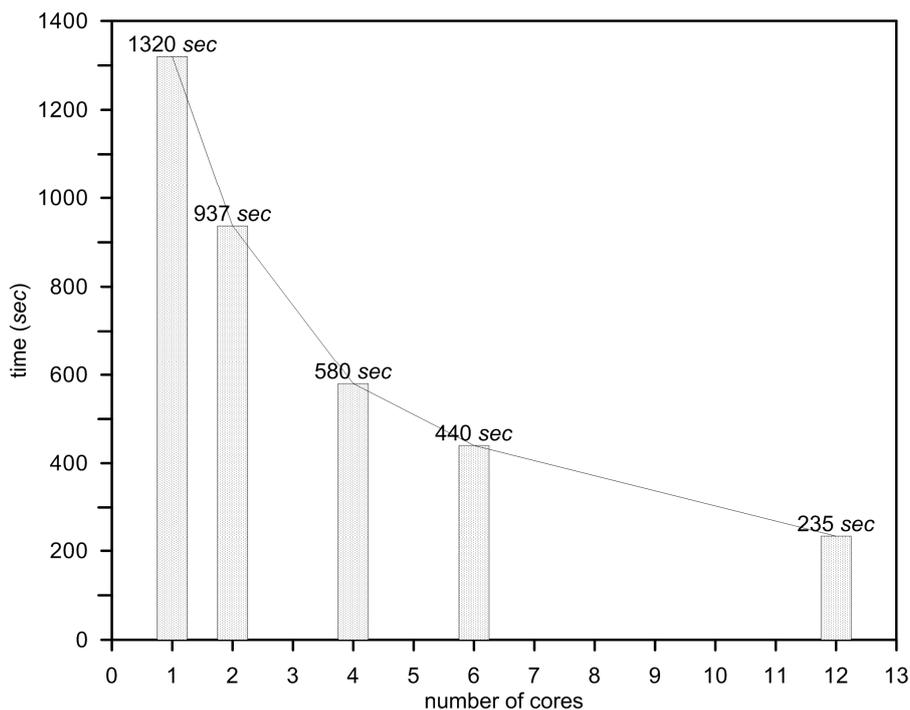


圖 3-2 POM 模式採行 MPI 平行化計算之效率評估圖

3.2 POM 模式操作與相關檔案

關於 POM 模式的操作與相關檔案的說明，在附錄「POM 模式操作手冊」中有詳細的介紹。在現有規劃上，模式的操作大致上可分為程式碼、可執行程式、輸出入資料與命令腳本檔等四大類檔案。在程式碼方面，是以 Fortran 程式語言進行開發，故其附加檔名為 f90、f、inc 與 h；編譯後之可執行程式，則是以 exe 做為附加檔名；輸出入資料方面，附加檔名 in 為可執行程式之命令輸入檔、inp 與 dat 則為可執行程式之資料輸出與輸入檔、nc 則為 NetCDF 資料格式檔案；命令腳本檔則是使用 shell script。使用者可以透過命令腳本大量執行某一段時間內的 POM 模式模擬與資料分析，藉以省去資料輸入檔的繁複製作。

3.3 POM 模式應用之資料庫

在 POM 模式之邊界與初始條件設定方面，本研究應用現有國際上可得的海氣象資料庫，作為驅動模式所需之外力依據，以下則簡述本

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範圍。

3.3.1 海表面風場資料

在風場資料方面，蒐集了 NCEP/NCAR 分析風場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)，其資料為模式運算後資料同化之分析場結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為日平均與月平均值，空間格網為 T62 Guassian Grid，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。表 3-1 為 NCEP/NCAR 分析風場資料格式說明。

表 3-1 NCEP/NCAR 分析風場資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
時間間距(interval)	日平均(daily mean)、月平均(monthly mean)
空間資訊(spatial)	192x94 格網化資料 T62 Gaussian grid 0.0E~358.12E，88.542S~88.542N
變數(variable)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海平面 10 公尺高(10m)
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 大氣模式水平方向具有 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 6 小時解析度之海面 10 公尺高之風速、海面大氣壓力及海洋模式之溫度場資料，表 3-2 所示即為該資料之格式說明。

表 3-2 NCEP/CFSR 氣候預測風場資料格式

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)	海平面 10 公尺高(10m)
資料型式(type)	GRIB2

3.3.2 海平面大氣壓力資料

關於海平面大氣壓力資料，本研究採用與海面風場相同來源之 NCEP/NCAR 分析場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)(Kalnay et al., 1996)，其資料與 NCEP/NCAR 海表面風場資料相同為模式運算後資料同化之分析場，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為日平均與月平均值，空間解析度為 2.5 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。表 3-3 與表 3-4 分別為 NCEP/NCAR 與 NCEP/CFSR 之海平面大氣壓力資料格式說明。

表 3-3 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
時間間距(interval)	日平均 daily mean、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	144×73 格網化資料 2.5 degree latitude x 2.5 degree longitude global grid 0.0E~357.5E, 90.0S~90.0N
變數(variable)	海平面大氣壓力(sea level pressure)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-4 NCEP/CFSR 氣候預測海面大氣壓力資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1979/01/01~迄今
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)	海平面大氣壓力(sea level pressure)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	GRIB2

3.3.3 海面溫度

關於海面溫度資料，本研究蒐集了 NOAA OI V2 之海面溫度資料 (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature)，其資料為資料測站與衛星資料利用最佳內插法之輸出結果。資料時間範圍自 1981 年至今，時間解析度為 7 天，空間解析度為 1.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html>。表 3-5 為 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式說明。

另外，本研究亦蒐集 NOAA ERSST V3 之海面溫度資料 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature)，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，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.html>。表 3-6 及表 3-7 分別即為 NOAA ERSST V3 與 NCEP/CFSR 之海面溫度資料格式說明。

3.3.4 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，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資

料，資料時間為 1900 年至 2005 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，資料網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。表 3-8 為 WOA05 海洋資料庫格式說明。

表 3-5 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 3-6 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

表 3-7 NCEP/CFSR 氣候預測海面溫度資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1979/01/01~迄今
時間間距(interval)	6 小時 6-hourly、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	720×361 格網化資料 0.5 degree latitude x 0.5 degree longitude global grid 0.0E~359.5E，90S~90N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	GRIB2

3.3.4 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，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料，資料時間為 1900 年至 2005 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，資料網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。表 3-8 為 WOA05 海洋資料庫格式說明。

表 3-8 NODC WOA05 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

3.3.5 全球地形水深

關於全球地形水深資料，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，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，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 3-9 及表 3-10 分別為 ETOPO2v2g 與 ETOPO1 全球地形水深資料庫之格式說明。

表 3-9 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 3-10 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

3.3.6 國科會海洋學門海洋資料庫

為進行臺灣近海海流模擬結果之驗證，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。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。其資料網址為 <http://www.odn.ntu.edu.tw/ctd/>，表 3-11 為海洋資料庫之海洋水文資料之格式說明。

國科會海洋學門海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。其資料網址為 <http://www.odn.ntu.edu.tw/adcp/>。表 3-12 所示即為海洋資料庫之海流資料格式說明。

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。其資料網址為 <http://www.odn.ntu.edu.tw/bathy/>，海洋資料庫之水深資料格式說明如表 3-13 所示。

表 3-11 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 3-12 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 3-13 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(topography & bathymetry)
資料型式(type)	ASCII

第四章 臺灣近岸海域海流之模擬計算

4.1 緒論

延續本研究「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之先期序列成果(莊、廖，2010；2011)，利用所引進建置之 POM 模式、資料輸出入處理及成果展示之三維海洋環流模擬計算系統，本研究現階段已可應用 Linux 之命令腳本(shell script)方式(參閱附錄一_POM 模式操作手冊)，簡單方便地選定計算領域範圍，透過設定全球、西太平洋、及臺灣鄰近海域之巢狀格網架構，結合包括 NCEP/NCAR 分析風場資料、NOAA OI SST V3 海溫資料及 NODC WOA 之海洋水文資料，據以模擬計算臺灣鄰近海域之洋流。

針對臺灣近岸海域之海流模擬，為充分考量風力、潮汐、地形與港灣外廓結構物之影響，提昇計算海流之準確性，本年度研究將利用較高時空解析度之海氣象資料庫來改善模式之邊界與初始條件設定。而為進行模擬計算海流總體水動力特性之驗證，本研究除了將引用相關研究成果作相互對照比較外，並將進一步利用浮標追蹤資料、岸基測流雷達資料與國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odn.ntu.edu.tw/wordpress/>)之實測海流紀錄與水文資料，來驗證計算海流流場與溫、鹽場年季變動之合理性；對於臺灣近岸海域之海流，本研究將綜合洋流與潮流效應進行模擬計算，再收集財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心(海洋中心)在臺灣西南部近岸高屏峽谷之錨碇串列海流量測資料，及本中心在國內各主要商港港口外廓海域之長期海流監測資料，作詳細之準確性檢核與驗證，藉以分析探討海流對近岸潮流之影響性。

4.2 臺灣鄰近海域洋流特性概述

洋流亦可稱為海流，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。全球主要洋流的分布如圖 4-1 所示。

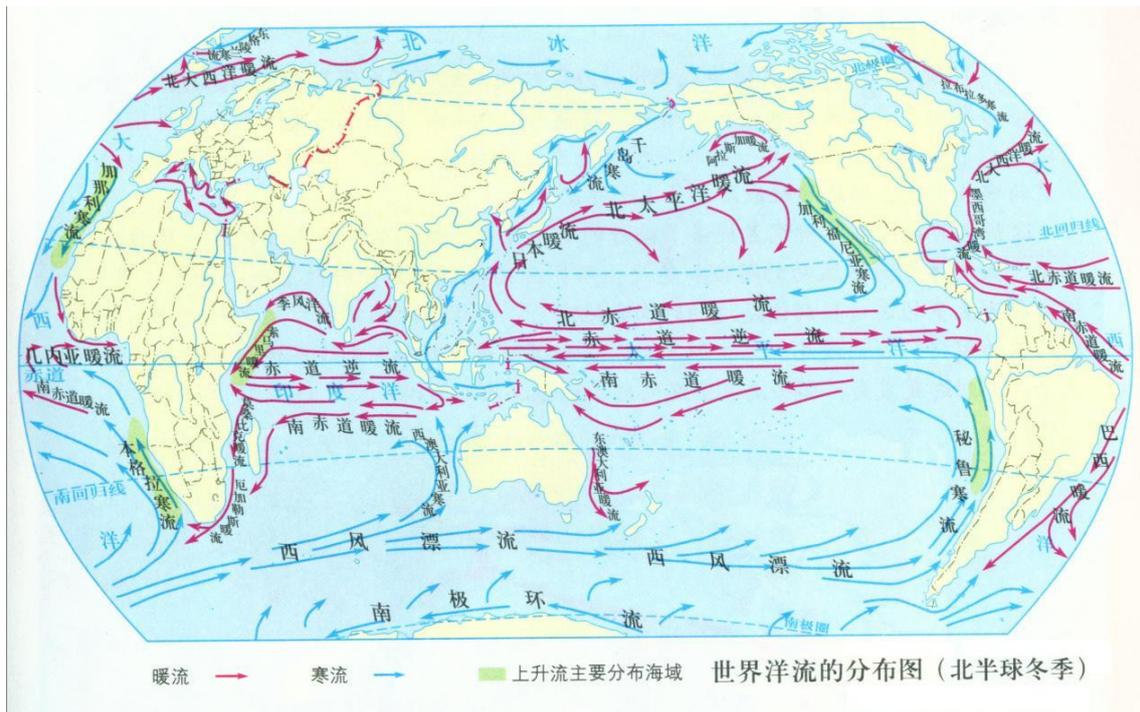


圖 4-1 全球主要洋流的分布(資料來源：<http://blog.dili8844.com/wp-content/uploads/2010/04/f922df39ff1579ee3b87ce40.jpg>)

與赤道與南北緯 30 度間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。

臺灣，位處北緯 21 度至 26 度間，為一海島，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，海岸線全長約 1,200 公里(含澎湖群島總長約 1,520 公里)。島上山嶽高聳，東部海岸因海岸山脈面海矗立，岸邊多懸崖峭壁，海底坡降陡峻，距岸不遠處即為深海；西部海岸離山脈較遠，加以早年各主要河川均西向流入臺灣海峽，順流而下之大量泥沙堆積於近海地區，遂助長海灘向外伸展，故而沿海平原地形坡降相對上較平緩，海灘承其餘勢坡度亦緩。受地形水深之影響，臺灣鄰近海域之洋流與潮流，在臺灣南北部與東西部海域均有不同之變化(莊、江，2000a；2000b；2002；2003；2004；2005；盧、吳，2005；盧等，2007；莊、廖，2010；2011)，故而洋流與潮流皆為影響臺灣近海環境之大尺度重要自然因素，其中，洋流主要可影響氣候及漁場分佈；而潮流可影響河川與港灣的自淨能力以及沿海漂沙輸運與汙染物質的擴散。

有關臺灣鄰近海域之洋流特性，從以往的實測與研究成果可知，較重要的洋流應屬黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名臺灣海流，其係來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30°C，冬季水溫不低於 20°C，當其由赤道向北流至臺灣南端海域附近時，分成兩股，主流沿臺灣東岸北上，然後受蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後，再彎曲順東海之陸架緣朝東北向流去，表面流速可達 1 m/sec，有時可高達 2 m/sec，一般而言，夏季流速較快。此外，黑潮主流之寬度約為 110~150 公里，主流中軸

線距臺灣東岸約 50~150 公里，主要流速範圍為 0.6~1.0 m/sec，惟隨區域與季節而有所不同，最強之流速出現在接近臺灣海岸處，流速向東緩慢降低，在主流右側常有一反向向南之大型渦流存在；黑潮主流由海面向下可伸延深至 600 米，在此深度之流速仍約可達 0.1~0.2 m/sec，在臺灣東部近岸，黑潮潮流亦可延展深至 200 米，流速則仍可超過 0.3 m/sec。值得一提的是，黑潮流經臺灣鄰近海域時，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，湧昇流會把二、三百米深的中層海水帶到表層來，由於中層海水含較豐富的營養鹽，這些高養分的海水將使浮游生物繁殖旺盛，引來魚群，因而形成良好的漁場，為臺灣近海漁業帶來大洋暖水性魚種，例如鮪魚、鰹魚、旗魚、鬼頭刀等等，位處臺灣北部海域的彭佳嶼，就是明顯的湧昇流區，是臺灣甚為重要的漁場之一，南方澳一帶的漁船經常在此海域作業，對臺灣漁業發展有重大之影響。

次重要的洋流為通過臺灣海峽的黑潮支流(Kuroshio branch)，其特性因受季風之影響，一般可分為兩種形態：春末至秋初，由於西南季風盛行，位於臺灣南方之南海洋流與黑潮支流等兩股暖流會流經整個臺灣海峽海域；在冬季時，因東北季風盛行，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，然後一起匯流進入中國南海。

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，其會順沿大陸海岸南下，流入臺灣海峽後與黑潮支流相會於澎湖群島附近，會合後流入南海。魚類隨著這道洋流南下，集中於澎湖群島西側，同時澎湖在冷暖洋流的交匯下，產生了大量的浮游生物，因此也使得大量的魚類得以在此生存，促使澎湖群島成為臺灣西部海域重要之漁場；夏季時，因西南季風影響，黑潮支流較強勁，因此親潮無法流向臺灣海峽。

最後，流經臺灣鄰近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，其無法流入臺灣海峽；但在夏

季時，由於西南季風之吹送，促使其北上與黑潮支流匯合，並一同流入臺灣海峽，因此南海洋流又稱為西南季風吹送流。

4.3 臺灣近岸港口外廓海域之海流特性概述

為臺灣近岸海域海流特性之有效掌握，本中心早已在基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港等 7 大商港港口外廓海域設置海象測站並進行長期之海流與波浪監測(曾 等，2011；蘇 等，2011)。各海象測站之相關資訊，摘要簡述如下：

1. 基隆港海象測站：約位在基隆港西防波堤頭外 600 公尺，水深 36 米處，測站坐標約為北緯 $25^{\circ}09'50''$ ；東經 $121^{\circ}44'50''$ ，如圖 4-2 所示(曾 等，2011)。海流觀測使用 AWCP 剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統。剖面海流流速的量測，可依照水深而自固定在海床之儀器位置到水表面來設定不同的量測間距，基隆港觀測站所設定之水深間距為 2 公尺，每小時連續量測 600 秒，再取時間平均代表每一間距層之海流流速、流向資料，相關記錄每隔 1 小時再經由海底電纜傳訊回接收站之電腦中儲存。
2. 蘇澳港海象測站：約位在蘇澳港港口外海 700 公尺，水深 25 米處，其坐標約為北緯 $24^{\circ}35'23''$ ；東經 $121^{\circ}53'07''$ ，如圖 4-3 所示(曾 等，2011)。海流觀測亦為 AWCP 系統。
3. 花蓮港海象測站：約位在花蓮港東防波堤南方 380 公尺，水深 33 米處，其坐標約為北緯 $23^{\circ}58'50''$ ；東經 $121^{\circ}37'30''$ ，如圖 4-4 所示(曾 等，2011)。海流觀測亦為 AWCP 系統。
4. 高雄港海象測站：約位在高雄港第二港口西南外海約 700 公尺，水深 18 米處，其坐標約為北緯 $22^{\circ}32'33.9''$ ；東經 $120^{\circ}17'38.4''$ ，如圖 4-5 所示(曾 等，2011)。海流觀測亦為 AWCP 系統。

5. 安平港海象測站：安平港之 AWCP 海流觀測系統安裝於安平港觀測樁水下 5 米處，其坐標約在北緯 22°56'37"；東經 120°08'10"，如圖 4-6 所示(蘇 等，2011)。
6. 臺中港海象測站：約位在臺中港北防波堤堤頭外 570 公尺，水深 23 米處，其坐標約在北緯 24°18'09.4"；東經 120°28'38.4"，如圖 4-7 所示(曾 等，2011)。海流觀測亦為 AWCP 系統。
7. 臺北港海象測站：臺北港之 AWCP 海流觀測系統安裝於臺北港觀測樁上，其坐標約在北緯 25°10'54"；東經 121°22'32"，如圖 4-8 所示(蘇 等，2011)。

收集整理本中心近期開放申請之海象觀測資料，可得上列 7 大商港港口外廓海域，自 2009 年至 2010 年具有海流、潮位及風力之觀測月份統計表，分別如表 4-1 至 4-3 所示。而為臺灣近岸海域海流特性之概要掌握，以分月集散圖(scatter diagram)進一步整理各商港港口外廓海域之觀測海流，可得各分年之結果分別如圖 4-9 至圖 4-15 所示。

表 4-1 國內 7 大商港外廓海域具有海流觀測資料(灰色)之月份統計

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

表 4-2 國內 7 大商港港內具有潮位觀測資料(灰色)之月份統計

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

表 4-3 國內 7 大商港海域具有風力觀測資料(灰色)之月份統計

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



圖 4-2 基隆港海象測站佈置示意圖(曾 等，2011)



圖 4-3 蘇澳港海象測站佈置示意圖(曾 等，2011)



圖 4-4 花蓮港海象測站佈置示意圖(曾 等，2011)



圖 4-5 高雄港海象測站佈置示意圖(曾 等，2011)

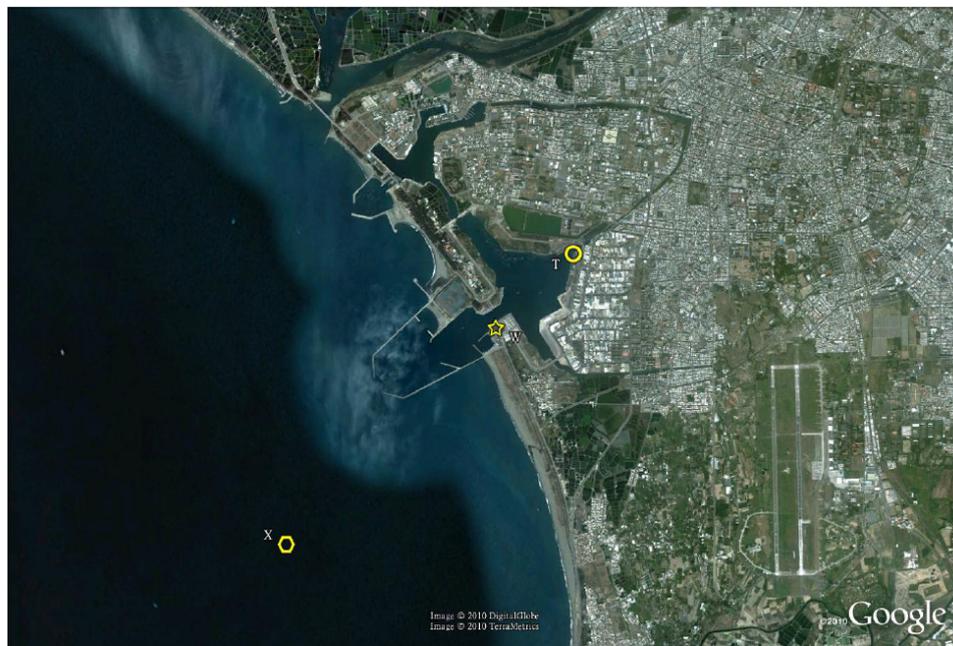


圖 4-6 安平港海象測站佈置示意圖(蘇 等，2011)



圖 4-7 臺中港海象測站佈置示意圖(曾 等，2011)



圖 4-8 臺北港海象測站佈置示意圖(蘇 等，2011)

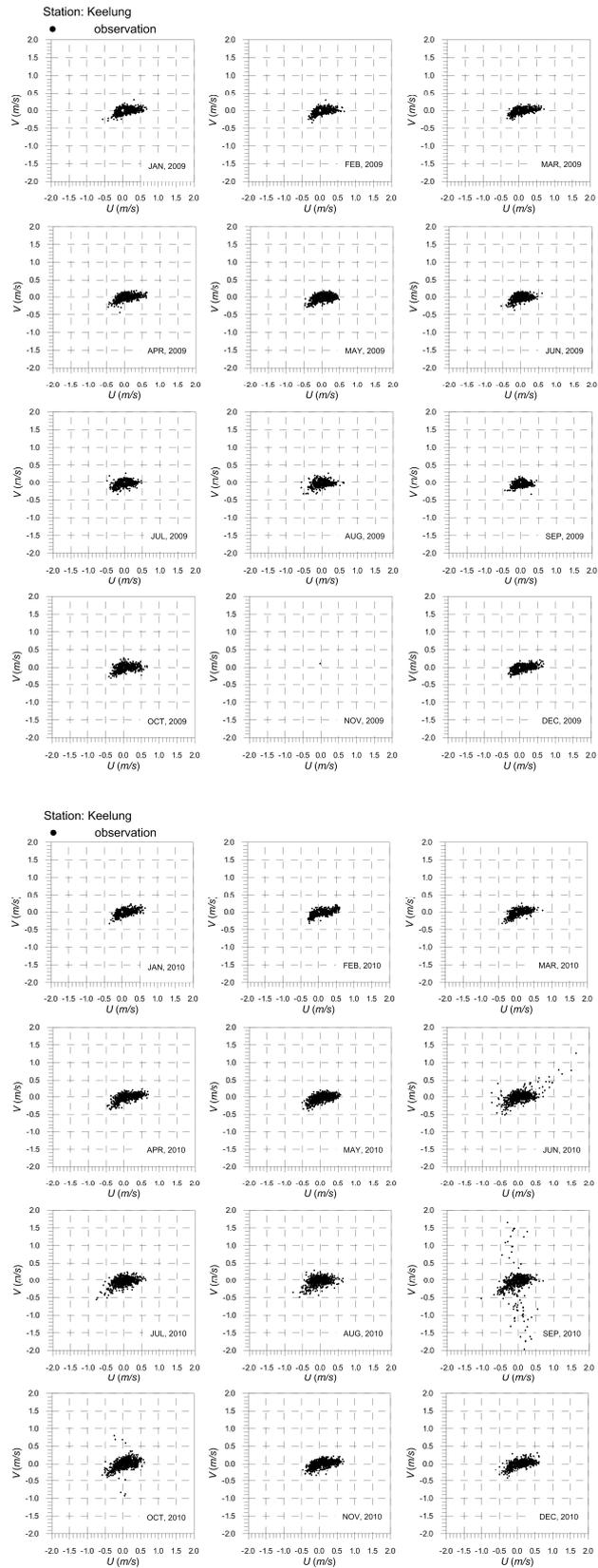


圖 4-9 基隆港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

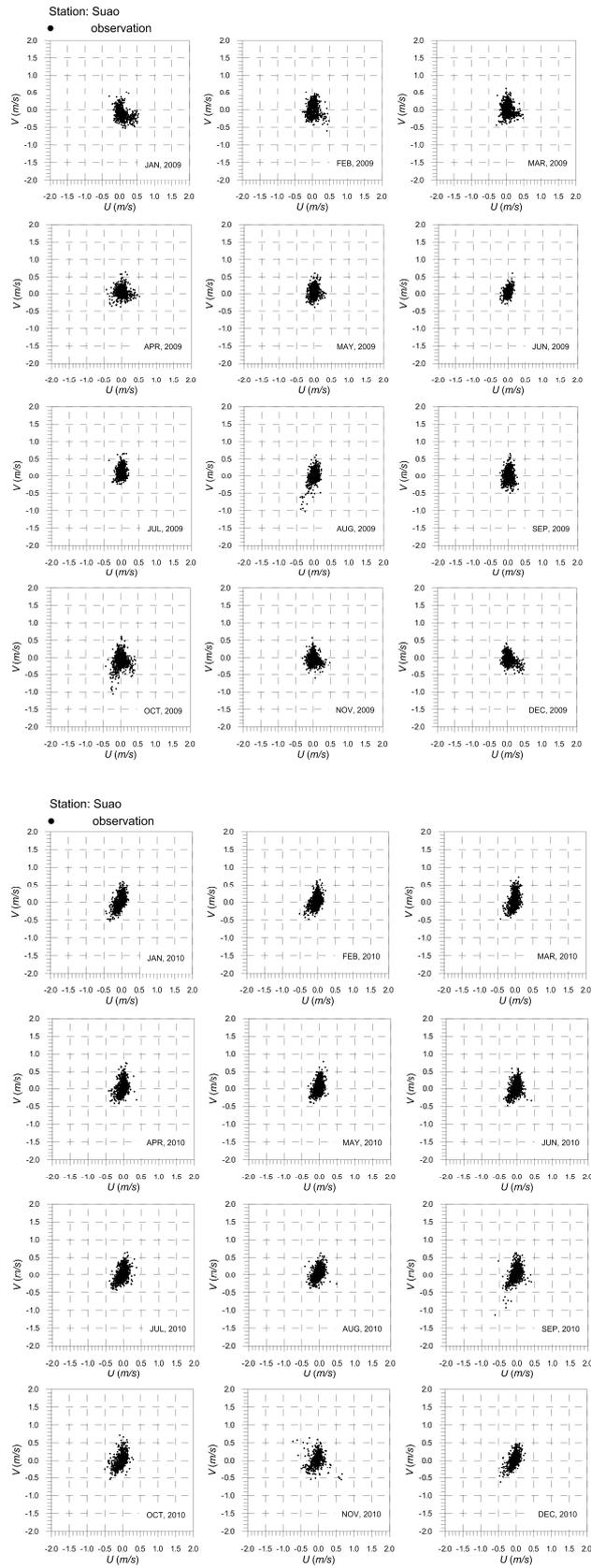


圖 4-10 蘇澳港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

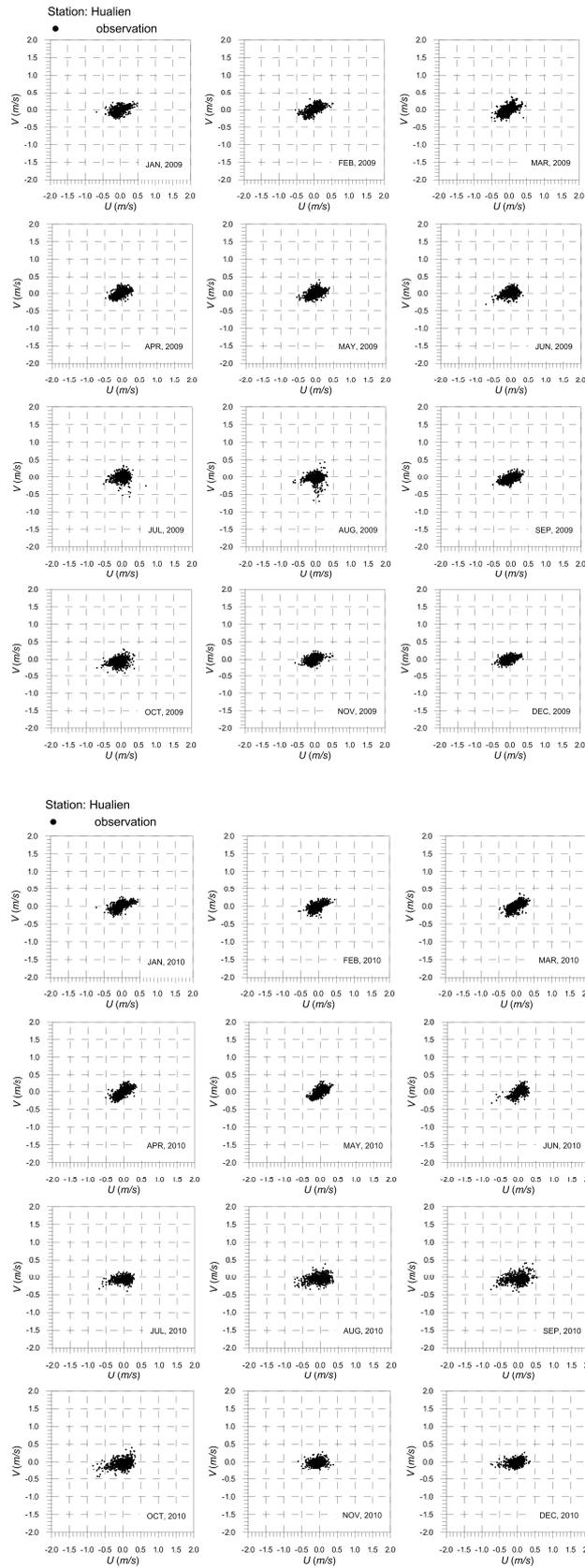


圖 4-11 花蓮港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

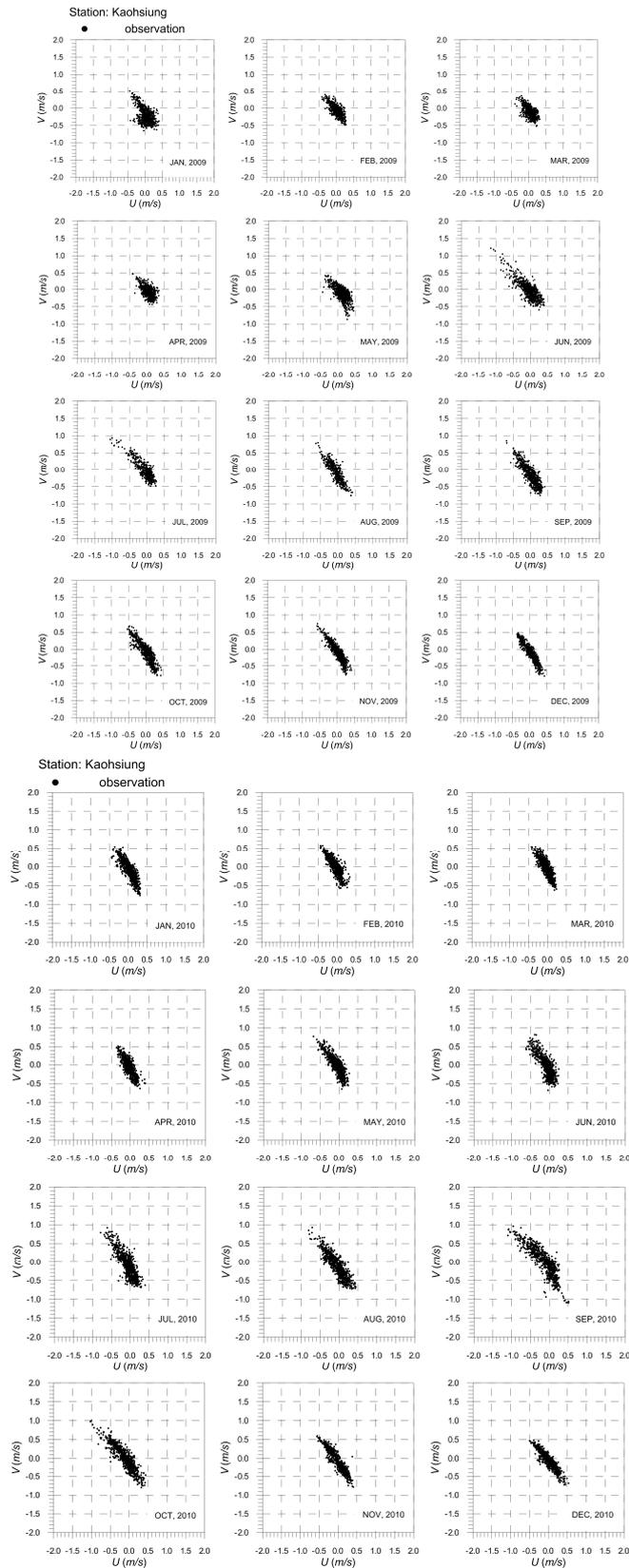


圖 4-12 高雄港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

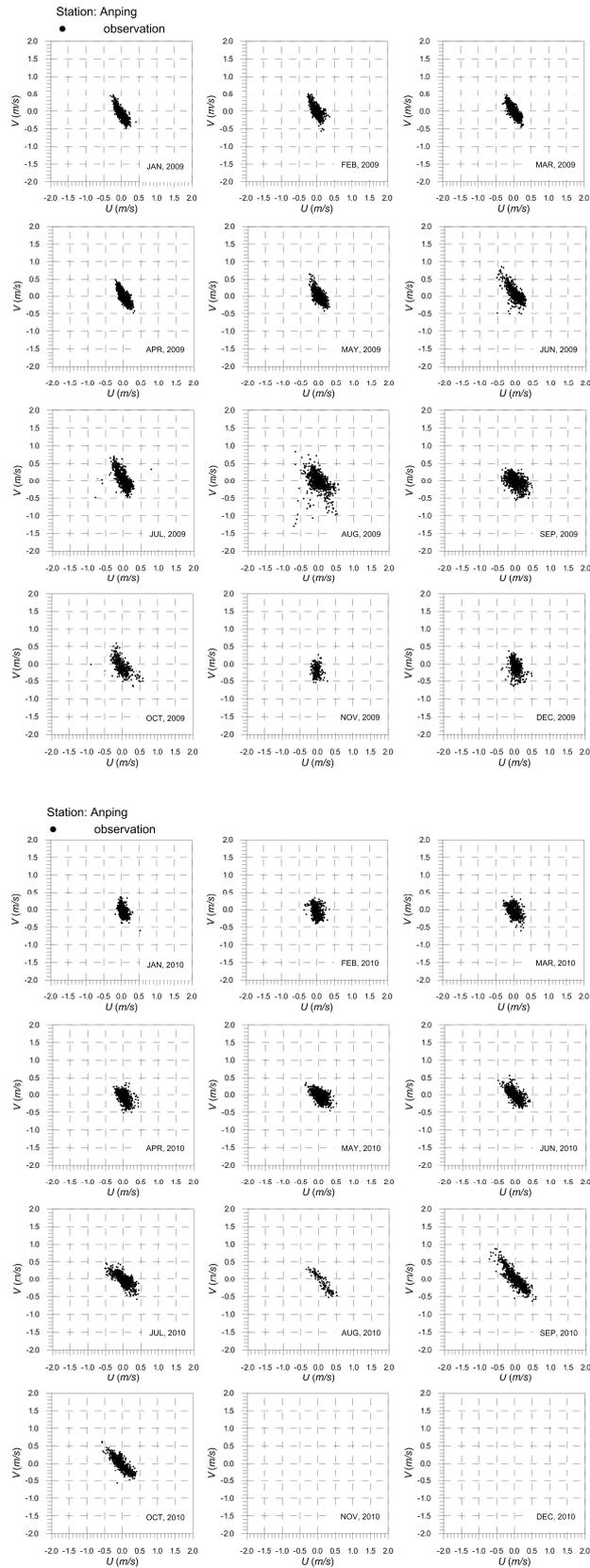


圖 4-13 安平港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

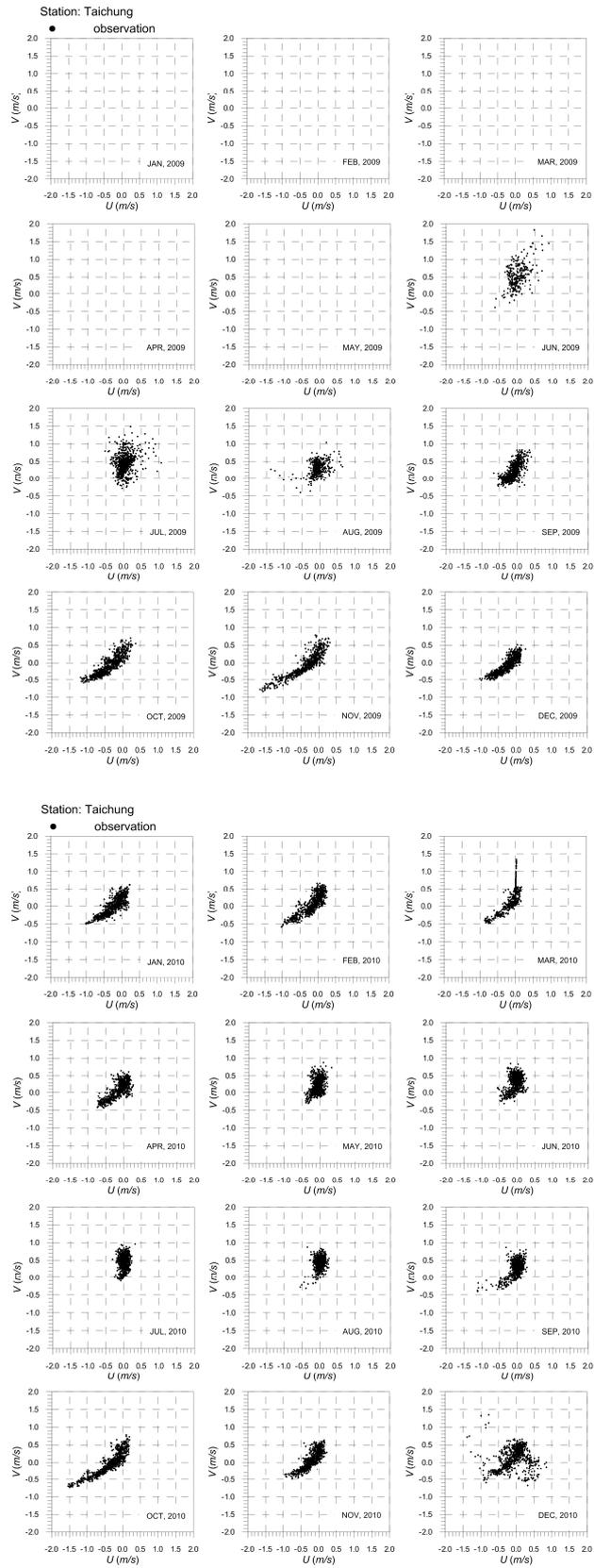


圖 4-14 臺中港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

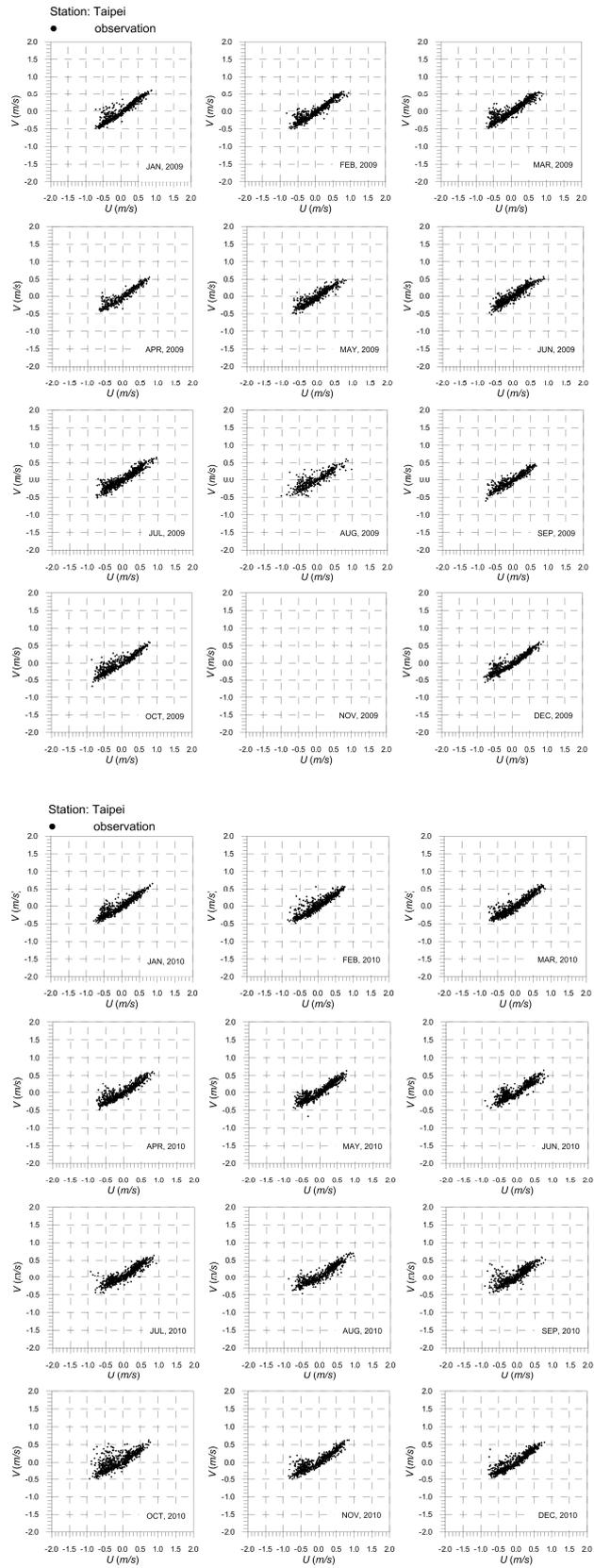


圖 4-15 臺北港 2009 年(上)及 2010 年(下)實測海流之分月集散圖

配合圖 4-2 至圖 4-8 所示基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港等 7 大商港港口外廓海域海流觀測站之位置，再分別觀察圖 4-9 至圖 4-15 所示各商港港口之實測海流分月集散圖 (scatter diagram)，綜合可得臺灣近岸海域海流之簡要特性如下：

1. 基隆港港口外廓海域：於西防波堤外海 600 公尺水深 36 米處，實測海流分月集散圖(圖 4-9)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。
2. 蘇澳港港口外廓海域：於港口外海 700 公尺水深 25 米處，實測海流分月集散圖(圖 4-10)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。
3. 花蓮港港口外廓海域：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(圖 4-11)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。
4. 高雄港港口外廓海域：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(圖 4-12)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。

5. 安平港港口外廓海域：於港外觀測樁水下 5 米處，實測海流分月集散圖(圖 4-13)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。
6. 臺中港港口外廓海域：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(圖 4-14)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。
7. 臺北港港口外廓海域：於港外之觀測樁上，實測海流分月集散圖(圖 4-15)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。

4.4 臺灣近岸海域之洋流模擬

4.4.1 計算海域範圍與巢狀格網系統之建構

臺灣近岸海域之海流，綜合環島 7 大商港港口外廓海域實測海流(圖 4-9 至圖 4-15)所陳現之流速與流向分布特性可知，其主要之構成成分，除了必要考量流向順沿海岸作往復流動之潮流外，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，並包含風趨流與具有恆常大小及穩定流向特性之洋流。

針對模擬計算洋流之大規模流動特性而論，洋流之原始趨動水動力通常來自大尺度之風力，因此，用以模擬計算所設定之海域範圍一般皆甚寬廣，而為進行臺灣近岸海域之海流模擬，取得正確的模擬計算邊界條件，本研究因此首先必須進行全球海域之洋流模擬，然後再利用巢狀格網計算方式，逐步縮小計算範圍，提高計算網格之空間解析度，藉以綜合考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤之影響。

依據本研究先前之研究成果(廖 等，2009；2010；莊、廖，2010；2011)，透過全球、西北太平洋、及臺灣四周海域等三層洋流模擬計算海域巢狀格網架構的建立，目前已可分別掌握各分層巢狀格網海域內之海流流動特性。本年度為了綜合考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤之影響，模擬臺灣近岸海域綜合洋流與潮汐效應之海流，驗證其準確性，因此，在原來之三層計算海域巢狀格網架構下，再增加一層具有不同高地形解析度、採用正交曲線格網布置之臺灣近岸計算海域格網。各層巢狀格網計算海域範圍與其空間格網解析度，分別如圖 4-16、圖 4-17、圖 4-18 及圖 4-19 所示。其中，第一層格網為全球(G1)

計算海域(圖 4-16)，其範圍南至南極洲，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；第二層格網為西北太平洋(N2)計算海域(圖 4-17)，其範圍涵蓋東經 105 度至 175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，主要格網包括赤道南北附近海域，格網解析度為 $1/10^{\circ}$ ，即約為 10 公里；第三層格網為臺灣四周(T3)計算海域(圖 4-18)，其範圍涵蓋東經 116 度至 126 度、北緯 15 度至 30 度，主要格網包括菲律賓呂宋島，格網解析度為 $1/32^{\circ}$ ，即約為 3 公里；第四層格網為臺灣近岸(T-NS)計算海域(圖 4-19)，為使其範圍充分涵蓋基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港等 7 大商港港口外廓海域，並綜合考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤之影響，於高空間格網解析度需求及個人電腦之計算能量限制下，採用正交曲線格網布置，並將計算海域實際再區分為 4 局部海域，故各局部海域之涵蓋範圍並不均等，格網解析度亦不相同，惟各局部海域格網之最高解析度，約介在 90~130 公尺之間。

另外，為設定各巢狀格網計算海域範圍內之地形水深，本研究依據不同計算海域範圍巢狀格網之空間解析度接合需求，於全球(G1)、西北太平洋(N2)及臺灣四周(T3)海域，地形水深資料皆採用空間解析度為 $1/60^{\circ}$ ，即約 1.5 公里之 ETOPO1 地形水深資料庫(表 3-10)加以建置。

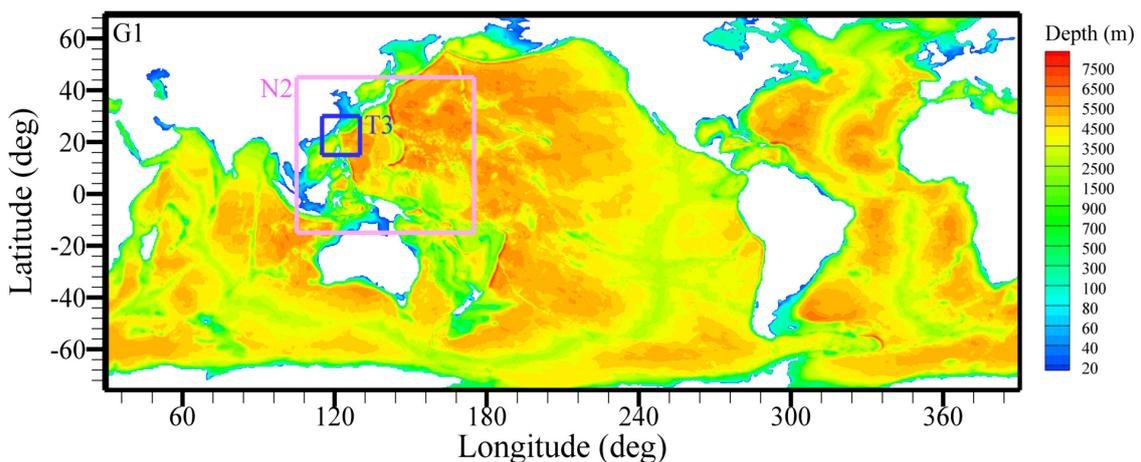


圖 4-16 全球海域(G1)之計算範圍與地形水深

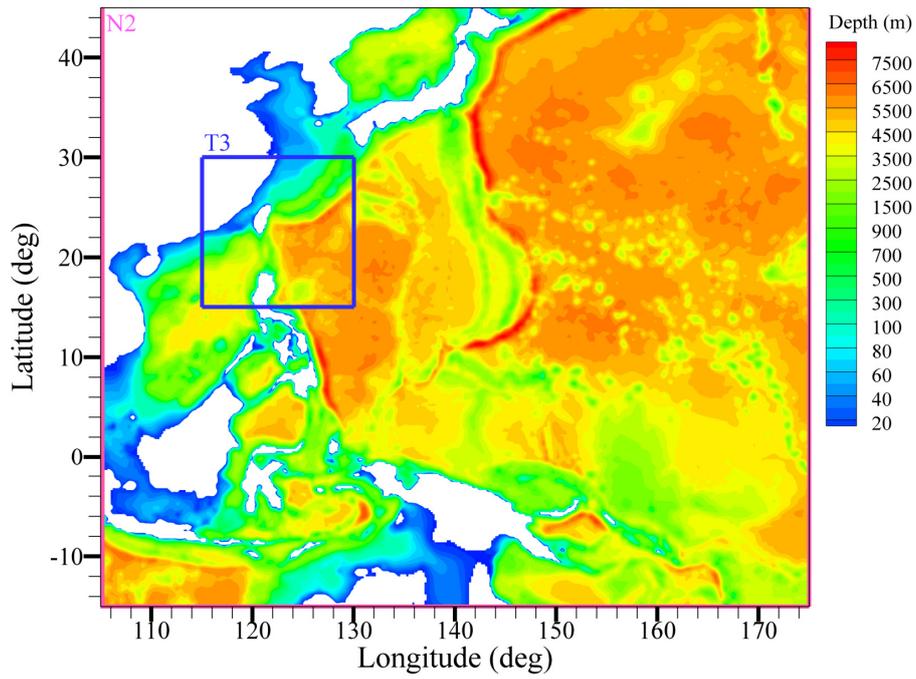


圖 4-17 西北太平洋海域(N2)之計算範圍與地形水深

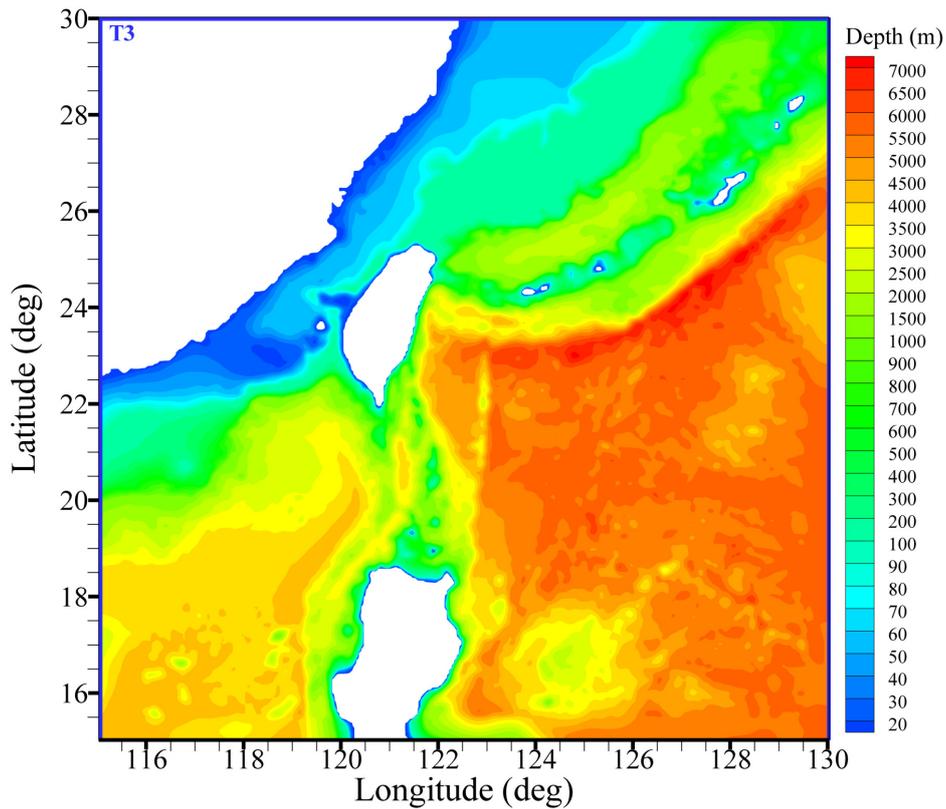


圖 4-18 臺灣四周海域(T3)之計算範圍與地形水深

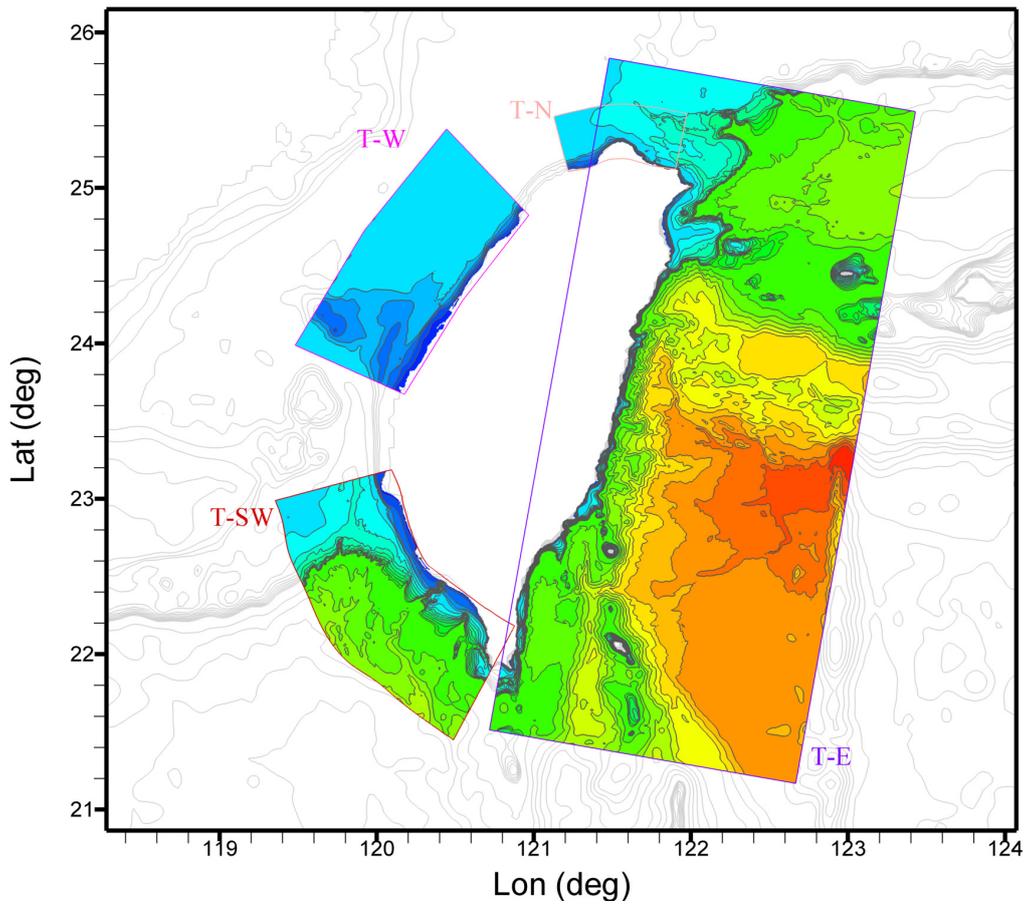


圖 4-19 臺灣近岸海域(T-NS)之計算範圍與地形水深

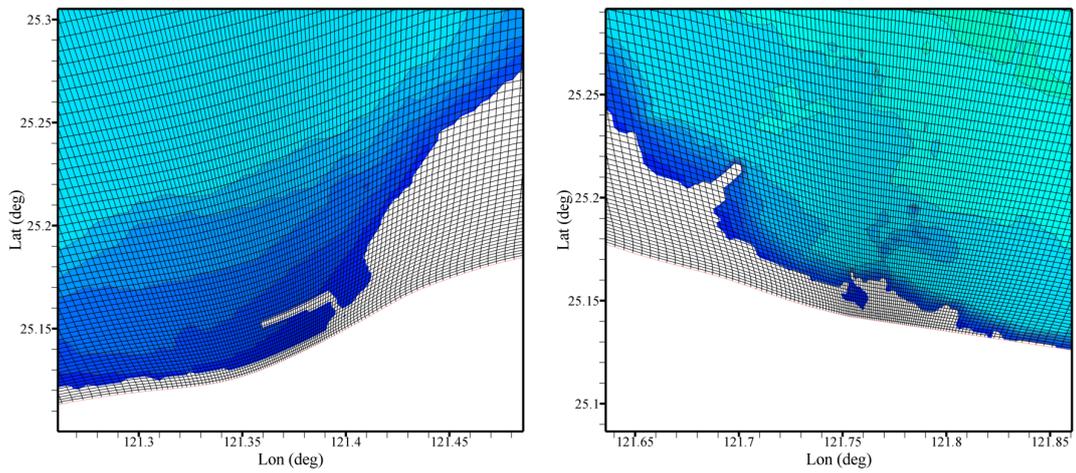


圖 4-19(續) 臺灣近岸海域(T-NS)計算範圍含括臺北(左)及基隆(右)商港之北部局部海域(T-NS_N)計算範圍與地形水深；

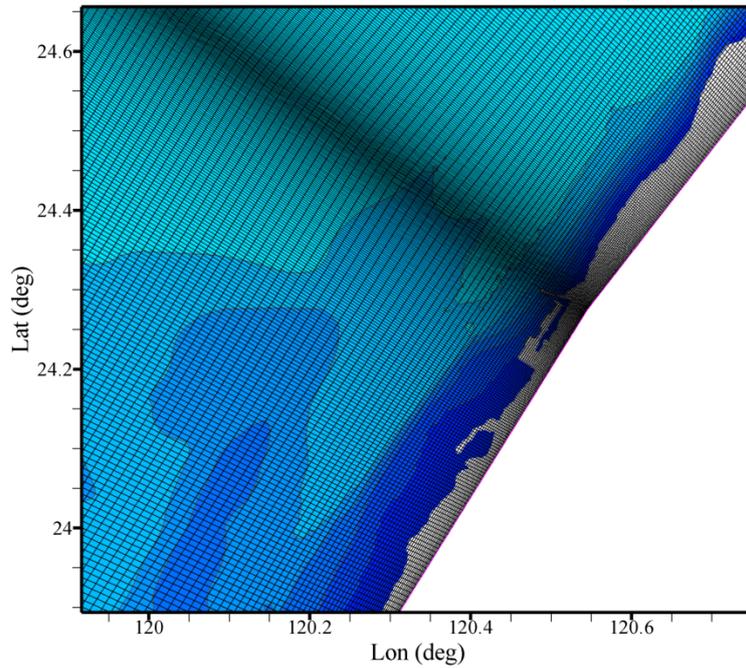


圖 4-19(續) 臺灣近岸海域(T-NS)計算範圍含括臺中商港之中西部局部
海域(T-NS_W)計算範圍與地形水深；

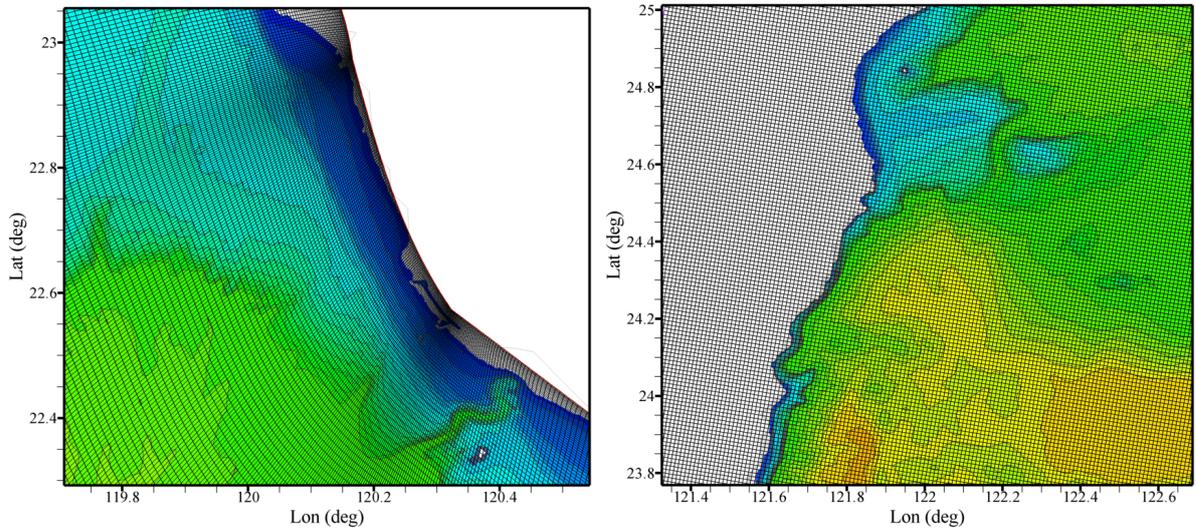


圖 4-19(續) 臺灣近岸海域(T-NS)計算範圍含括高雄商港(左)之西南部
局部海域(T-NS_SW)及含括蘇澳與花蓮商港(右)之東部局部海域
(T-NS_E)計算範圍與地形水深

4.4.2 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。而為巢狀格網邊界聯結區域之邊界條件設定與聯結，本研究將其區分為邊界處與邊界緩衝區等兩種條件，如圖 4-20 所示，圖中，最外部黑色方框為巢狀母格網範圍，紅色方框為巢狀子格網邊界，子格網邊界內部格紋範圍為邊界緩衝區。

於模式運行計算中，為修正巢狀母、子格網邊界聯結海域因空間格網解析度差異所造成水深與相關物理變量之不符合性，因此，依據線性淺水波理論，將子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：

$$\phi_i = \phi_i + \left(1 - \tanh\left(4 \frac{\Delta x_i}{L_{nest}}\right)\right)(\phi_i^0 - \phi_i) \dots\dots\dots (4-3)$$

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。

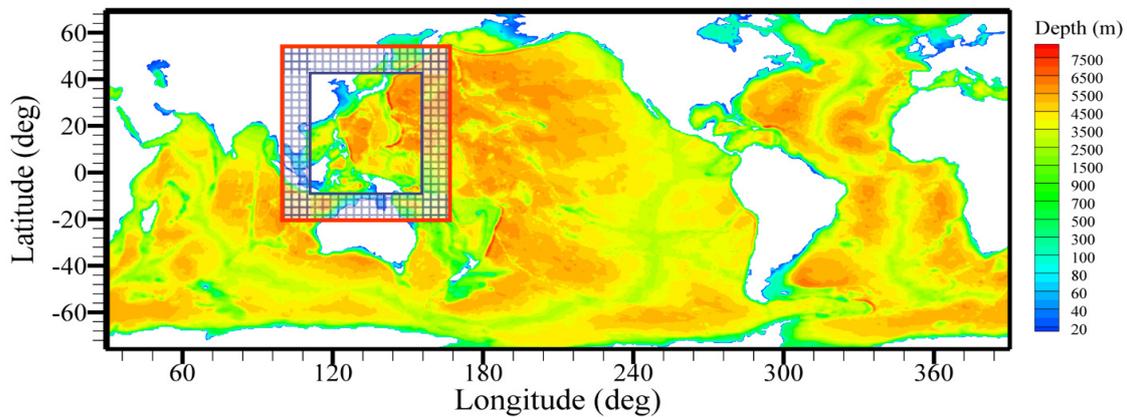


圖 4-20 巢狀格網邊界(紅)及邊界緩衝區(藍)示意圖

4.4.3 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 4-4 中所示。

在邊界趨動條件方面，為配合近岸海域海流之模擬驗證，本年度採用具較高時空解析度之海氣象資料庫，如：海面溫度採用表 3-5 所示之 NOAA OI SST 的週平均資料庫；海面風場與氣壓，分別採用表 3-1 及表 3-3 所示之 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的日平均大氣資料庫；計算海域內，起始之鹽度與溫度，以表 3-8 所示之 NODC/WOA05 海洋資料庫的年長期平均氣候值設定。

關於模式之模擬計算期間，本研究在具較低網格空間解析度之全球(G1)、西北太平洋(N2)及臺灣四周(T3)海域皆設定自 1986 年 1 月 1 日 0 時開始，至 2010 年 12 月 31 日 23 時止；於具較高網格空間解析度之臺灣近岸(T-NS)海域，基於計算能量之限制，僅設定自 2008 年 12 月 1 日 0 時開始，至 2010 年 12 月 31 日 23 時止。巢狀格網各計算海域之詳細海氣象資料庫應用狀況，綜合整理如表 4-5 所示。至於模式計算所需之參數，則以表 4-6 所列之設定值進行模擬。

表 4-4 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	1443×553×26	1/4 ⁰	30 sec	1800 sec	0
N2	105 ⁰ E~175 ⁰ E 15 ⁰ S~45 ⁰ N	700×600×21	1/10 ⁰	20 sec	600 sec	10
T3	115 ⁰ E~130 ⁰ E 15 ⁰ N~30 ⁰ N	320×448×21	1/32 ⁰	6 sec	180 sec	10
T-NS_W	臺中港	359×100×21	1000~130m	0.5 sec	15 sec	10
T-NS_SW	高雄港、安平港	297×110×21	1050~130m	0.5 sec	15 sec	10
T-NS_N	臺北港、基隆港	278×80×21	1000~90m	0.5 sec	15 sec	10
T-NS_E	蘇澳港、花蓮港	201×442×21	1000m	1.0 sec	30 sec	10

表 4-5 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 風場與氣壓	海面溫度	計算起迄 時間	計算時間 (註)	巢狀邊界 更新時間
G1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01 ~ 2010/12/31	210 min.	無
N2	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01 ~ 2010/12/31	66 min.	日平均
T3	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01 ~ 2010/12/31	65 min.	日平均
T-NS	國科會海洋 學門資料庫	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	2008/12/01 ~ 2010/12/31	/	1 小時

註：以雙六核心 Intel Xeon 3.3GHz 電腦於 SUSE Enterprise 11 Server 上執行，利用 MPI 進行 POM 模式平行化，使用 12 核心計算模擬一個月所需之真實時間。海洋鹽度採用 NODC WOA05 資料庫之年長期平均資料。

表 4-6 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	tprni	0.2	Pradtl number 水平紊流 參數
Sw	1	改善數值結果之平 滑參數	umol	2.e-5	背景黏滯係數
tbias	10	水體溫度基準值	ispadv	5	對流項更新時間間 距，單位為次數
sbias	35	水體鹽度基準值	smoth	0.1	平滑參數，其值為了改 善 leap-fog 數值技巧所 產生的不穩定性
kappa	0.4	von Karman 參數	alpha	0.225	權重參數，其值可改善 計算重力項的穩定性
z0b	0.01	底床粗糙度	ntp	2	水體形式，其與海面短 波輻射量有關
cbcmin	0.0025	最小底床摩擦係數	nbct	3	海面溫度邊界條件型 式
cbcmax	1.0	最大底床摩擦係數	nbcs	1	海面鹽度邊界條件型 式
horcon	0.2	水平擴散係數	kb	21	計算海域內水深方向 之分層數

4.4.4 臺灣鄰近海域洋流之模擬計算

採用 POM 模式，於巢狀格網架構下，參考表 4-1 及表 4-3 所列之計算條件與計算參數設定，並配合表 4-2 所列海氣象資料庫之應用，則在全球(G1)、西北太平洋(N2)及臺灣四周(T3)計算海域內，臺灣鄰近海域洋流之模擬計算結果，分別可得如圖 4-21 至圖 4-23 所示。圖中，流速大小與流向，除了以箭尺長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示。此外，依據本研究先前之模擬計算經驗，僅管流場計算由 1986 年 1 月 1 日 0 時開始積分，但因模式自冷啟動至穩定狀態，約需要 5 年的積分時間(莊、廖，2010)，故而，洋流之模擬計算流場結果，將皆以自 1991 年 1 月 1 日 0 時後的預期穩定狀態作討論與分析。

在全球(G1)計算海域內，自 1991 年至 1996 年之模擬結果中進行年平均之統計分析，並萃取對應於西北太平洋(N2)計算海域範圍內之流場，結果如圖 4-21 所示，圖中之上、下圖分別為於海表面與 300 米等水深層處之流場模擬結果。由圖觀察可見，受海面風力與氣壓作用，包含海洋溫、鹽傳輸對流擴散效應，自赤道海域發展之洋流流場，已甚清晰且清楚陳現。

在西北太平洋(N2)計算海域內，自 1991 年至 1996 年之模擬結果中進行年平均之統計分析，結果如圖 4-22 所示，圖中之上、下圖分別為於海表面與 300 米等水深層處之流場模擬結果。由圖中流場型態觀察可知，自赤道海域發展、通過臺灣東部近海、且沿東海陸架邊緣流動至日本海域之黑潮洋流，已甚清楚陳現，另外，黑潮於呂宋海峽處之入侵(intrusion)與套流(loop currents)現象，也明顯可見。

在臺灣四周(T3)計算海域內，同樣自 1991 年至 1996 年之模擬結果中進行年平均統計分析，因而可得臺灣近海之模擬計算洋流結果，如圖 4-23 所示，圖中之上、下圖分別為於海表面與 300 米等水深層處之流場模擬結果。至於，相關之季平均統計分析，其在春(March-April-May)、夏(June-July-August)、秋(September-October-November)、冬(December-January-February)各分季之流場，則可綜整如圖 4-24 所示。首先，就圖 4-23 所示臺灣四周計算海域內之流場型態觀察可知，通過臺灣東部近海之黑潮及發生在臺灣南部近海之呂宋海峽內之黑潮入侵與套流現象，皆陳現更加清楚與明顯。另外，由圖 4-24 所示之分季流場型態觀察比較可知，在臺灣南部近海之呂宋海峽內，黑潮套流現象四季皆會出現，惟以秋、冬兩季所形成的套流現象較明顯；至於流經臺灣東部近海之黑潮，其流速在春、夏季約略有大於秋、冬季之特性。

4.4.5 臺灣鄰近海域之洋流特性驗證

為檢核臺灣近海洋流模擬計算結果之準確性，本研究蒐集相關研究成果並自國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odb.ntu.edu.tw/adcp/>)申購海流實測資料，藉以進行驗證。詳細的海流實測資料格式，

如表 3-12 所示。

針對臺灣四周(T3)計算海域範圍，配合實測海流資料，於避免模式採用冷啟動起始所造成 5 年數值不穩定階段之影響(莊、廖，2010)下，採用 1991 年至 2009 年期間之模擬計算結果，分別進行不同等水深層洋流年平均統計特性之驗證，相關 20 米與 50 米等水深層(表層)之實測與計模擬算結果比較如圖 4-25 所示，圖中，流速大小與流向，除了以箭尺長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示；左、右圖分別為實測與模擬計算之海流。由圖 4-25 綜合比較觀察可知，在臺灣東部之花蓮近岸海域，洋流表層之計算流速大小可達約 1 至 1.5 m/s，此與臺灣東部近海實測之黑潮流速相近，且流向也具有順沿臺灣東部海岸一致往東北之吻合性。

另外，在呂宋海峽海域，由圖 4-25 中之模擬計算洋流流態特性尚可看出，黑潮流經菲律賓之呂宋島海域後，主流將一分為二，其中之西側支流，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，另一部分則會在臺灣西南海域，形成一順時針環流，並會繞過臺灣南部海岸，於墾丁附近海域，與東側支流會合後，沿臺灣東部近岸向北流動。將此一模擬計算所得之黑潮套流流態，與實測海流對照比較可見，實測海流因黑潮套流流態較不明顯且流速值徧小，故兩者具有一些差異。探究造成此一流態差異之主因，經訪詢國內資深學研專家(臺大海研所詹森教授)後，初步認為：因黑潮套流流態常發生於東北季風盛行的冬天，而冬天因海象經常較惡劣而不易進行海流觀測，以致量測期間及點數分布皆少且不均勻，故而造成黑潮套流之實測年平均統計特性較不明顯。

僅管如此，在臺灣四周(T3)計算海域內，進一步將 1991 年至 2009 年 20 米等水深層(表層)之洋流流態進行季平均比較，則實測與模擬計算洋流流場流態在春(March-April-May)、夏(June-July-August)季與秋(September-October-November)、冬(December-January-February)季之對照比較結果，綜合可得如圖 4-26 所示。圖中，流速大小與流向，除了以

箭尺長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示；左、右圖分別為實測與模擬計算之海流。觀察圖 4-26，由圖示 20 米等水深層之分季洋流流場流態之對照比較可知，模擬計算之黑潮套流流態，確實四季均甚明顯，不過，在臺灣之西南海域，實測海流於秋、冬季隱約陳現有相對於春、夏季較明顯之向西流動現象，足見模擬計算與實測海流，兩者在秋、冬季有相近似之黑潮套流流態。至於春、夏季，由於南海海域西南季風盛行，故西南吹送流會在臺灣西南海域陳現(參見圖 4-26)，尤其是當其與黑潮套流(西側支流)匯合後，在高屏海域將會產生較複雜的流況，並在臺灣海峽海域，陳現相對上較強勁之夏季流速，故比較澎湖水道海域內夏季之海流可見，實測與計算兩者仍具有相似性，惟在其他季節，模擬計算海流似乎略大於實測海流，而在冬季，黑潮支流亦有明顯轉弱趨勢。

另外，Hsin et al. (2008)曾利用 POM 模式，並以亞洲邊緣海域為計算範圍，採用 $1/8^\circ$ 度空間網格解析度，經模擬計算，可得 1982 至 2005 年間 0 至 200 米等水深層分季平均之海流流態，如圖 4-27 所示，將其與圖 4-26 相互對照比較可看出，兩者在臺灣西南海域分季所陳現之黑潮套流現象，彼此具有甚良好之吻合性，而在臺灣東部之黑潮流向與流速大小，也具有甚佳之一致性。

最近期，海洋中心自 2010 年 2 月起，即利用 CODAR (Coastal Ocean Dynamics Application Radar)岸基高頻測流雷達，進行臺灣東部海域海面流場實測，其與同時期臺灣四周海域模擬計算流場之對照比較，結果如圖 4-28 所示。圖中，流速大小及流向，除了以箭尺長短及指向表示外，尚以圖下之參考色階深淺陳現。由圖 4-28 綜合觀察可知，臺灣東部海域，利用 CODAR 所觀測之流向，其與模擬計算流向，總體上具有甚好的相似性；至於利用 CODAR 所觀測之流速，其大小約介在 0.6~0.8 m/s，普遍低於平均流速達 1.2 m/s 之模擬計算流速；另外，對於黑潮海表面寬度而言，CODAR 所實測之寬度約 60 公里，亦低於寬度約達 100 公里之模擬計算值，顯見，就黑潮流速大小及海表面寬度而言，實測值皆低於模擬計算值。造成之原因，經檢討應係 CODAR

既有配置及觀測限制所造成。因為海洋中心目前在臺灣東部海岸所完成之三座 CODAR，其量測之海流流速係以各座雷達為中心之軸向速度，惟因既有配置之限制，各座雷達之量測角度，均約與黑潮流向成垂直，故而可能造成量測流速偏低，另外，海洋中心目前僅應用 CODAR 試行黑潮海表面流場觀測，尚未完成作業化之校驗，故現階段逐時合成之海表面海流流場，其月平均統計分析特性應僅供參考。儘管如此，對於臺灣東部海域之黑潮海表面流場，CODAR 實測已可概略且近似地陳現出模擬計算之特性。

浮標(drifter)追蹤是瞭解大時空尺度海流特性的重要方法之一。而為進行浮標追蹤之流跡驗證，本研究應用國際海表面浮標追蹤計畫 AOML (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory) 大西洋海洋與氣象實驗室之全球浮標流跡資料庫，以臺灣鄰近海域之實測浮標流跡紀錄，搭配臺灣四周(T3)計算海域與西北太平洋(N2)計算海域之模擬計算海流，再結合流速內插計算方法(莊、廖，2011)，作數值浮標流跡比對驗證，浮標追蹤時間間隔取為 6 小時。針對 AOML 編號 2118798 之浮標，其流跡之起始時間為 2000 年 9 月 1 日 0 時，浮標起始位置為東經 122.936 度、北緯 19.745 度，即在呂宋島北方海面，相關浮標追蹤之流跡模擬驗證結果如圖 4-29 所示，圖中，黑色實心圓點為實測浮標流跡；藍色空心圓點為應用較粗空間解析度之西北太平洋(N2)計算海域流場所推算 6 小時間距之浮標流跡；而綠色實心方形點為綜合搭配臺灣四周(T3)計算海域與西北太平洋(N2)計算海域流場所推算 6 小時間距之浮標流跡，即推算起始以具較細空間解析度之臺灣四周(T3)計算海域之流場為基礎，當浮標超越 T3 範圍(圖中虛點線方框)，則接續應用較粗空間解析度之西北太平洋(N2)計算海域之流場。對照比較圖 4-29 所示之浮標追蹤流跡驗證結果可知，僅使用 N2 流場所計算之浮標流跡，於呂宋海峽與琉球群島附近，皆明顯偏離實際浮標位置，主要致因係該推算浮標，受 N2 模式較粗空間解析度與黑潮套流拖曳影響，於模擬初期，因浮標在臺灣西南海域即作順時針旋轉移動，故造成推算流跡大幅偏離實測；至於搭配 T3 與 N2 流場所推算 6 小時間距

之浮標流跡，因其於浮標追蹤初期即使用較高空間解析度之推算格網，故所得之流跡亦較為接近實際浮標。

此外，進一步將推算與實測浮標位置之經、緯度座標值作時序對應比對，結果分別可得如圖 4-30 與圖 4-31 所示。由圖綜合觀察可知，僅應用 N2 模式之流場所推算之浮標流跡，約在起始推算 5 天後(2000/9/5)，即偏離實際浮標位置；而搭配 T3 與 N2 模式流場之流跡，於 2000/9/1 至 2000/11/10 期間，推算與實際浮標位置，仍具有相當之一致性，但約於 10 日之後(2000/11/10)，由於浮標跨越 T3 計算海域範圍，因此受 N2 模式較粗空間格網流場影響，致使實測與推算浮漂流跡之位置差距逐漸擴大，顯見，計算海域範圍內之空間格網解析度，對浮標推算流跡之準確度，將會造成影響。

針對起始時間為 2006 年 5 月 19 日編號 62302、62303 及 62309 之 AOML 系列浮標，其與圖 4-29 相似之浮標追蹤流跡模擬驗證相關結果，分別綜合整理如圖 4-32 所示。由圖觀察可發現，這一系列浮標之起始施放位置，約分別位處臺灣東部海域至菲律賓呂宋島北部海域之黑潮流經海域，施放後，實際浮標流跡，大部分皆將沿著臺灣東部海域、經琉球北部海域、向北至日本南方海域，而推算之浮標流跡，若其位處在 T3 計算海域範圍內，則其皆可概略地與實際浮標流跡相近似，顯見模擬計算之流場特性應是符實合理的。而針對起始時間分別在 2007 年 1 月至 6 月，編號 71347、71351 及 63190 之 AOML 系列浮標，其與圖 4-29 相似之浮標追蹤流跡模擬驗證相關結果，仍綜合整理於圖 4-32 中，由圖觀察可發現，這一系列浮標之起始施放位置，約分別位處臺灣西部之臺灣海峽海域，施放後，實際浮標流跡，大部分皆將沿著臺灣海峽海域，往北流向日本南方海域，而推算之浮標流跡，亦概略地皆可與實際浮標流跡相近似，顯見本研究之模擬計算流場特性，在臺灣海峽海域，亦應是符實合理的。

關於臺灣東部海域垂直海岸斷面之年平均流速與流量驗證，在臺灣四周(T3)計算海域內，自 1991 年至 2009 年之模擬結果中，分別萃取北緯 21 度、23 度及 25 度垂直黑潮流向之水深斷面進行年平均洋流流

態比較，結果分別如圖 4-33、圖 4-34 及圖 4-35 所示。圖中，左、右圖分別為實測與模擬計算之海流流速，流速大小與流向，以各圖下之參考色階深淺表示；網格區塊表示海表面或水下地形；上、中及下圖分別為對應水深斷面上之流速、流速東西(U)分量及南北(V)分量大小變化分佈圖。

首先，由圖 4-33 所示北緯 21 度水深斷面之實測與模擬計算洋流流速對照比較可看出，在臺灣東南部海域，實測黑潮主流，年平均表面流速可約達 0.8 m/s；於水深達 300 米處，其年平均流速仍約有 0.3 m/s，總體斷面上的流速，明顯比模擬計算流速略大，僅管如此，在東經 121 度與 122.5 度處，實測與模擬計算洋流，皆明顯陳現出流速較強之支流。其次，由圖 4-34 所示北緯 23 度水深斷面之實測與模擬計算洋流流速對照比較可看出，在臺灣東部海域，實測黑潮主流，年平均表面流速可約達 1.0 m/s；於水深 120 米處，其年平均流速仍約有 0.6~0.8 m/s，主流軸約介在東經 121.3 度至 121.6 度之間，即離岸約 60 公里左右；而在臺灣海峽海域，實測洋流之年平均流速約為 0.2~0.5 m/s，總體斷面上的流速與主流特性，皆與模擬計算結果相近似。最後，由圖 4-35 所示北緯 25 度水深斷面之實測與模擬計算洋流流速對照比較可看出，本斷面之黑潮，實測主流軸略往西偏移，約介在東經 122.5 度至 123.0 度間，離岸約 80 公里，於水深約 150 米處，年平均流速仍可達 0.7~0.9 m/s；而在臺灣海峽北端海域，年平均流速仍約可達 0.4~0.6 m/s 左右，總體斷面上的實測流速與主流特性，亦皆能與模擬計算結果相近似。

除此之外，關於黑潮之流量，Hsin et al. (2008)曾統計整理表 4-7，並估算實測流量約介在 15 至 44 Sv 間 (※ Sv 為 Sverdrup 之縮寫；1Sv = $10^6 m^3/s$)；而其數值模擬計算之年平均流量約為 28.4 ± 5.0 Sv。為進行驗證，本研究自數值模擬計算結果中，分別在北緯 21 度、23 度及 25 度之水深斷面上，將水深 300 米以內之流速流向進行積分，因此可得通過各斷面之年平均流量，分別為 12.0、23.4 及 25.0 Sv；而實測之年平均流量，經統計分別為 1、26 及 22 Sv (劉，2002；王，2002；Hsin et al., 2008)，明顯可見，除了北緯 21 度斷面之差異較大外，其餘水深

斷面上之模擬計算與實測流量，均具有符合性。

再針對臺灣東部海域模擬計算之黑潮洋流，分別於北緯 21、22、23、24 度之水深斷面上，自 1991 年起至 2009 年間，統計水深 500 米以內之月平均流量，因此可得黑潮流量逐月變化圖如圖 4-36 所示。由圖觀察可知，在臺灣東部海域各水深斷面上之黑潮流量，其逐月變化皆甚穩定，最大與最小月平均流量之變動約為平均值之正負 5 Sv；在各年間，於冬季時期，月平均流量一般最小，而於夏季時期，月平均流量通常最大。另外，針對臺灣海峽海域，自 1991 年起至 2009 年間，統計自(119°E；26°N)起至(121°E；24°N)止之海峽中段水深斷面之月平均流量變化，結果如圖 4-37 所示。由圖觀察可見，通過臺灣海峽中段斷面之年平均流量約僅有 3.1 Sv，而其月平均流量之變動幅度約為 1.5 Sv，以致部分冬季期間之流量，最小可低於 1.0 Sv，甚至部分在東北季風較強盛時，會出現流向向南之負流量值。將此數值計算流量與王(2002)經實測所得之估量值相對照比較，亦可見兩者具有近似性。

4.4.6 臺灣東部海域深層海水溫鹽度變動特性驗證

在臺灣鄰近海域，尤其是東部海域，為檢核模擬計算溫鹽度等海洋物理特性之變動特性，本研究將引用國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odb.ntu.edu.tw/ctd/>)之海洋水文實測資料(表 3-11)進行驗證。

配合海洋水文實測資料，於避免模式採用冷啟動起始所造成數值不穩定階段之影響下(莊、廖，2010)，採用 1991 年至 2009 年期間臺灣四周(T3)計算海域之模擬計算結果，針對臺灣東部海域，分別於北緯 21 度、23 度及 25 度垂直黑潮流向之水深斷面上，進行鹽度年平均分布之計算分析，並與海洋水文資料庫之實測分析值作對照比較，結果如圖 4-38 所示。圖中，海表面或水下地形特別以網格區塊表示，而其左、右圖分別為實測與模擬計算分析之鹽度年平均分布，鹽度濃淡以 PSU 為單位，並以各圖下之參考色階深淺表示。PSU 是 Practical Salinity Unit 的縮寫，採用 PSU 為鹽度單位，主要係因其可利用海水之導電度(電阻之倒數，是鹽度與溫度的函數)作反求推算(Lewis & Perkin, 1978)。

經由圖 4-38 之對照比較觀察可知，各水深斷面上之模擬計算鹽度值，似皆約比海洋水文資料庫之實測分析值略小 0.1~0.2 PSU，此外，鹽度之實測分析結果顯示，在各水深斷面之海表面上，一般比 500 至 800 米深水層略低，惟模擬計算分析之結果並無此現象。檢討造成此差異之原因，主要應係模擬計算直接應用 WOA05 之長期年平均鹽度值作為起始值，且於模擬計算開始積分後，並未對鹽度進行校正或同化修正所造成，另外，本研究於模擬計算中，未考慮實際海洋蒸發與大氣降雨等海氣交互作用效應，亦可能是造成鹽度值陳現誤差之主因。

至於分別位在北緯 21 度、23 度及 25 度水深斷面上之溫度年平均分布比較，則可對照整理如圖 4-39 所示。圖中，網格區塊亦表示海表面或水下地形；左、右圖分別為實測與模擬計算分析之年平均溫度分布，溫度高低並以各圖下之參考色階深淺表示。由圖對照比較可知，實測與模擬計算之年平均溫度分布兩者間具有相當之吻合性，顯見本研究之模擬計算，於海面邊界條件設定上，直接應用 NOAA OI 之週平均海面溫度場，可合理重現臺灣東部海域水深斷面內之溫度分布變化。

為詳細瞭解並探討花蓮近海深層海水水溫與鹽度之月平均變動特性，於花蓮近海離岸約 10 公里處，即約位在(121.75°E；24.0°N)點位上，自 1991 至 2009 年之模擬計算結果中，分別萃取水深 20、50、200 及 500 米處之溫度與鹽度，並作月平均之時序變化分析，結果分別如圖 4-40 與圖 4-41 所示。由圖綜合觀察可知，花蓮近海之溫、鹽度月平均時序變化，與臺灣東部海域之黑潮月平均流量(參見圖 4-36)關係密切，20 米深度之月平均溫度時序變化，於夏、秋季之間出現最高值，約為 25~26°C，隨著深度增加，月平均最高溫度將略往秋季延遲，及至 500 米深度，溫度月季變化將趨於和緩，但年平均值則有逐年下降之趨勢，僅管下降幅度並不大，但此現象仍值得關注；至於鹽度之月平均時序變化，將圖 4-41 與圖 4-36 對照可知，花蓮近海水深 50 米以內海域之鹽度，於黑潮流量最低之秋、冬時節達到最高，而在水深 200 米以下，鹽度已漸趨定值，且月季的變化不明顯。

綜合而言，本研究之數值模擬計算結果，經引用國科會海洋學門

海洋資料庫實測海流與水文資料(表 3-11)進行驗證後，可確認除鹽度值略微偏小外，總體上，海流與溫鹽度等年月季之變化特性相互間仍均具有符合性。

表 4-7 臺灣東部近海相關黑潮傳輸量之研究(Hsin et al., 2008)

臺灣東部近海相關黑潮傳輸量之研究				
(Kuroshio transport, Hsin et al., 2008) (※1 Sverdrup=10 ⁶ m ³ /s)				
Publication	Period	Position	Method	Mean Q, Sv
Chu (1970)	Sep 1965-May 1967 (4 cruises)	21.75-23.75N	geostrophic (RD=800 dbar)	17.8-20.4
Nitani (1972)	1965-1967 (5 cruises)	~23N	geostrophic (RD=1200 dbar)	40
Nitani (1972)	1942-1966 (5 cruises)	25N	geostrophic (RD=1200 dbar)	33
Chu (1976)	1974-1975 (6 cruises)	~24N	geostrophic (RD=800 dbar)	29.3
Liu (1983)	26-29 Jul 1983 (1 cruises)	24N	geostrophic	44.2
Liu et al. (1998)	Oct 1990-May 1995 (12 cruises)	ETC(-24.5N)	adjusted geostrophic and Sb-ADCP	19.7 (0-350m) 22.6 (0-bottom)
Johns et al. (2001)	19 Sep 1994-May 27 1996	ETC(-24.5N)	mooring array (3 methods)	21.5+-2.5
Hwang and Kao (2002)	Dec 1992-Apr 2000	southeast (-22N) and northeast (-24.5N) of Taiwan	TOPEX/Poseidon altimeter	19+-6 (northeast) 26+-5 (southeast)
Gilson and Roemmich (2002)	1993-2001 (34 cruises)	southeast of Taiwan (0-800m)	geostrophic (RD=800 m)	22.0+-1.5
Yang and Liu (2003)	Nov 1992-Jun 1996 (8 cruises)	21.75N	geostrophic (RD=1000 dbar)	22.9+-14.2
Liang et al. (2003)	1991-2000	22-25N (0-300m)	Sb-ADCP	15.4-24.3
Hsin et al. (2003)	1982-2005	22-25N	numerical study (POM)	28.4+-5.0 ~ 32.7+-4.4

(※1 Sverdrup = 10⁶ m³ / s)

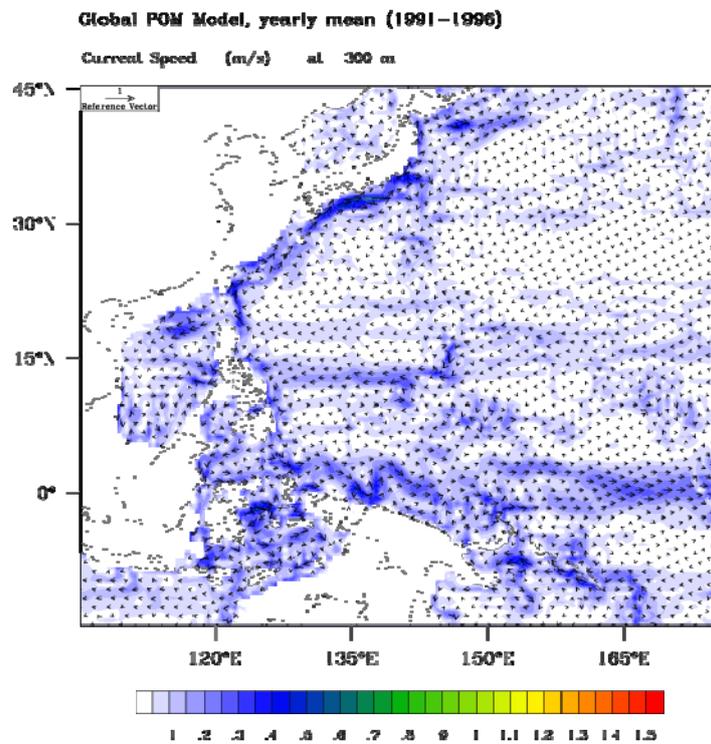
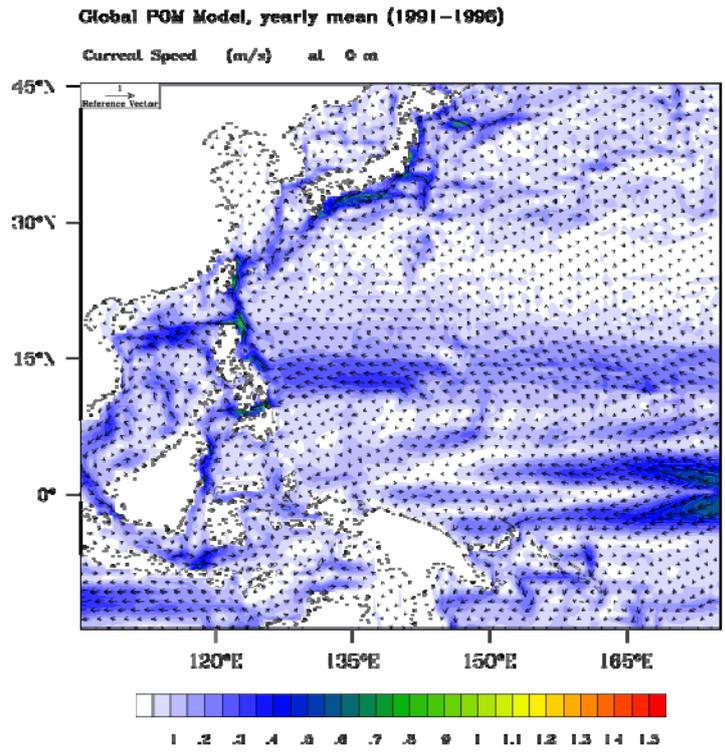


圖 4-21 全球計算海域(G1)於西北太平洋海域範圍內自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場

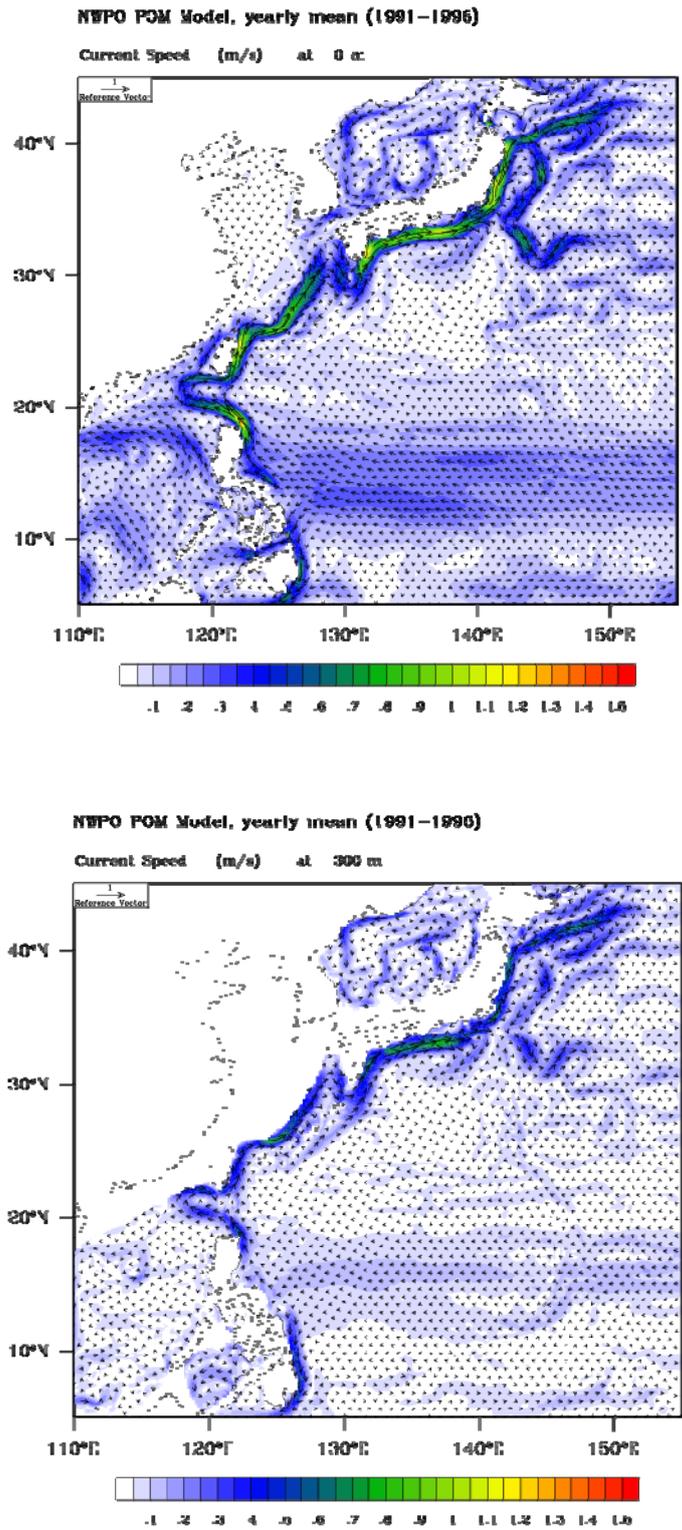
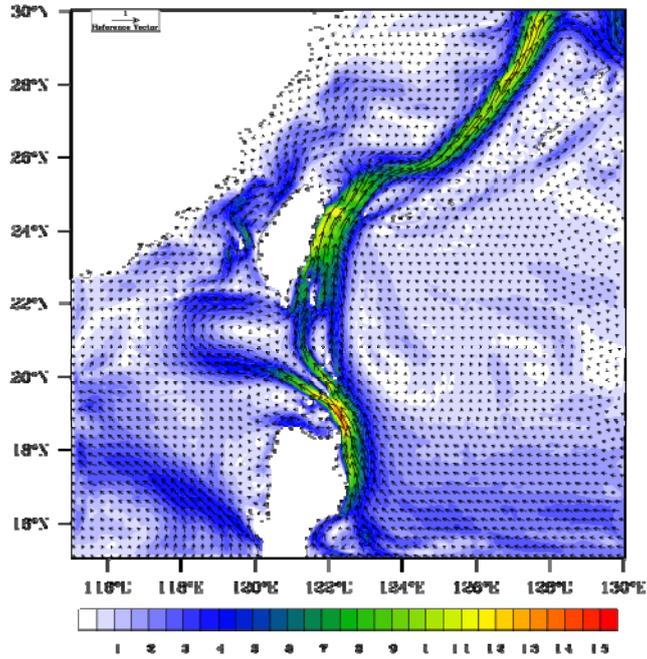


圖 4-22 西北太平洋計算海域(N2)自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場

Taiwan POM Model, annual mean (1991-1996)

Current Speed (m/s) at 0 m



Taiwan POM Model, annual mean (1991-1996)

Current Speed (m/s) at 300 m

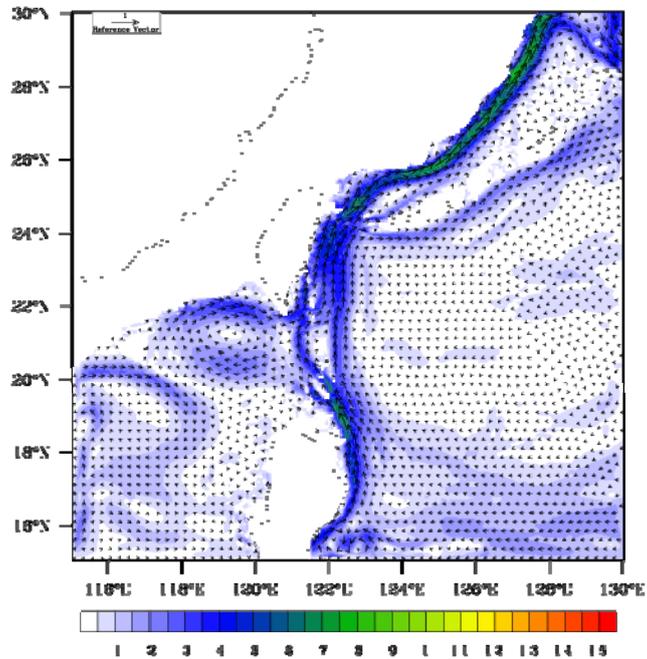


圖 4-23 臺灣四周計算海域(T3)自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場

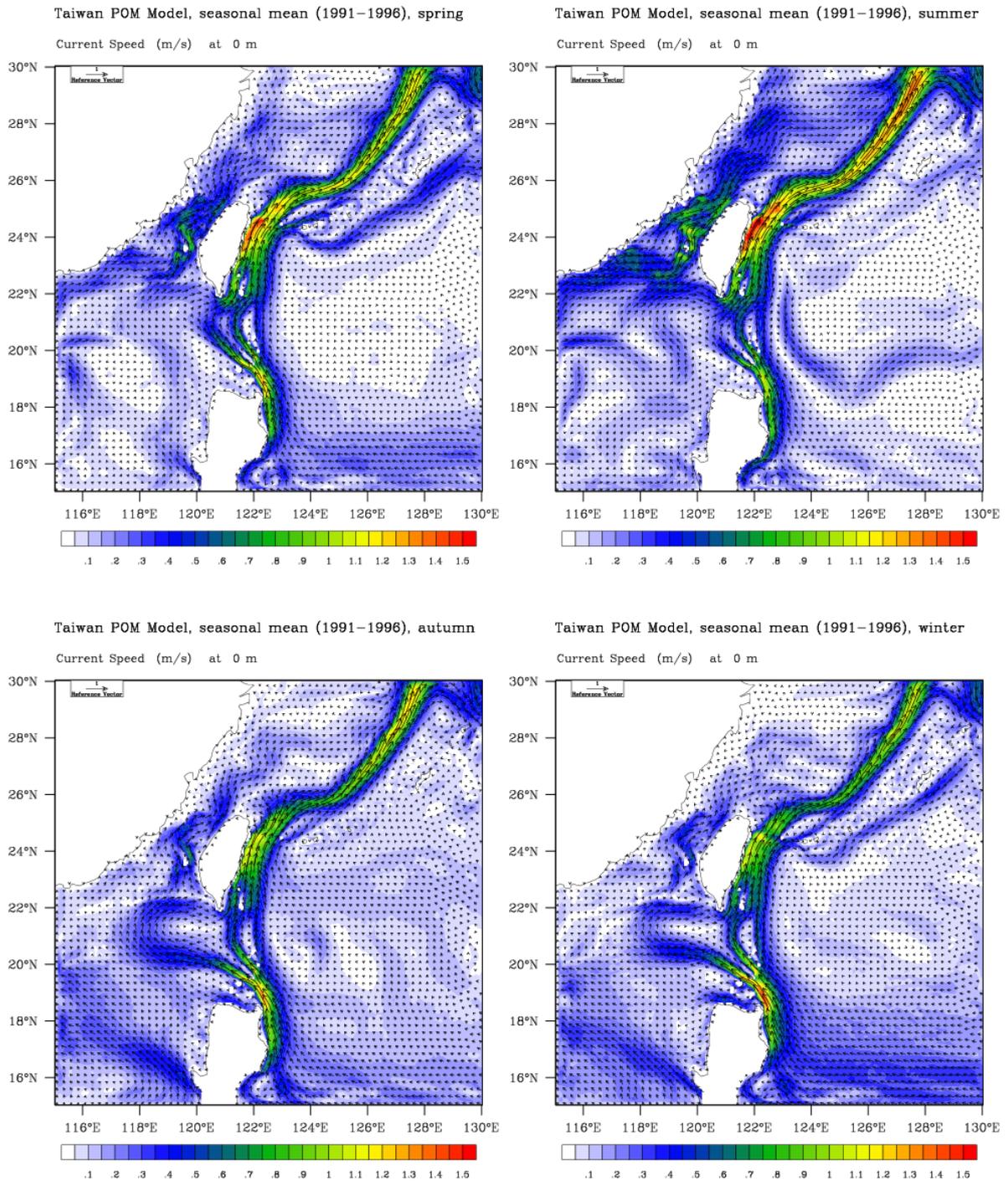


圖 4-24 臺灣四周計算海域(T3)式自 1991 年至 1996 年之春季 (M-A-M)(上左)與夏季(J-J-A)(上右)及秋季(S-O-N)(下左)與冬季 (D-J-F)(下右)之季平均海表面計算海流流場

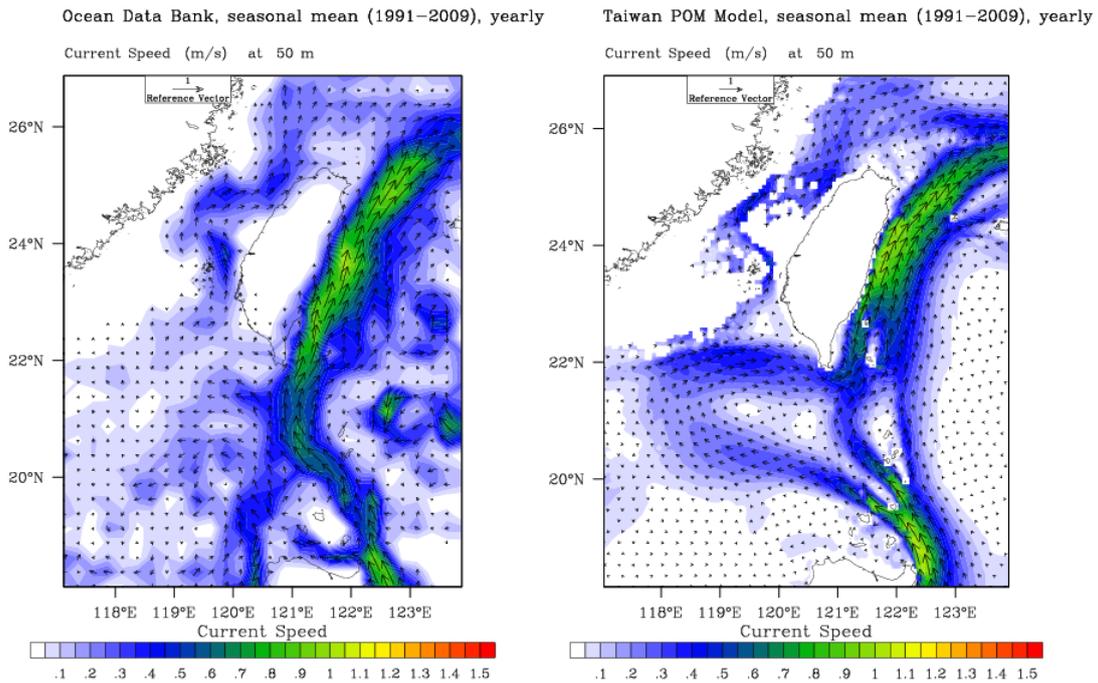
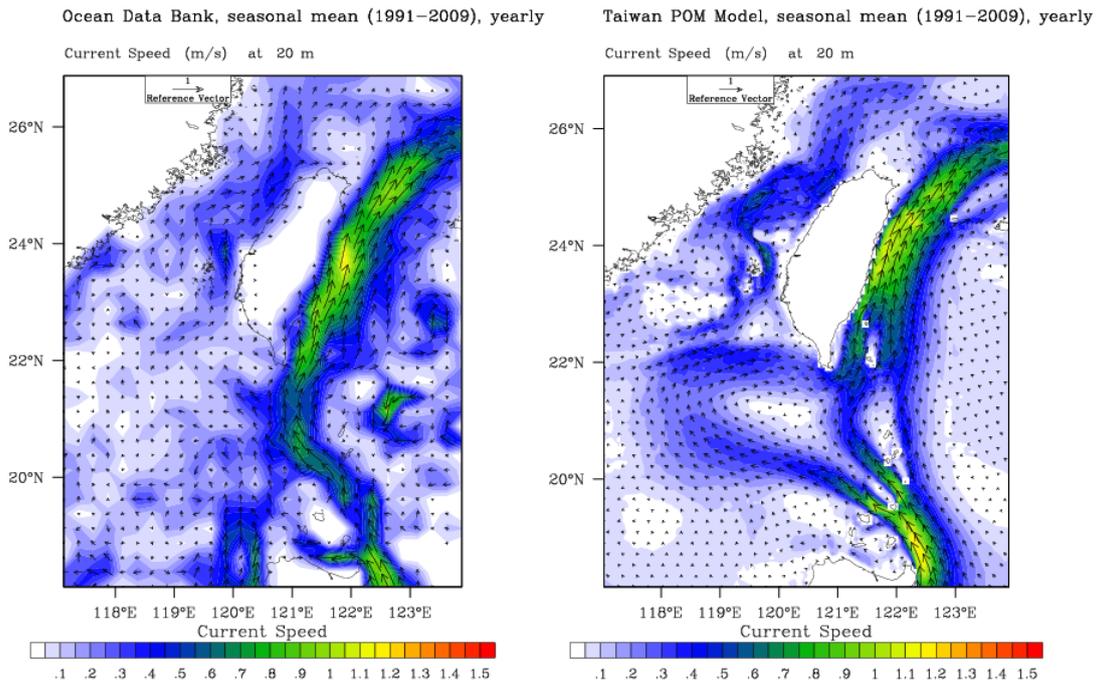


圖 4-25 臺灣四周(T3)計算海域 20 米(上)與 50 米(下)等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較

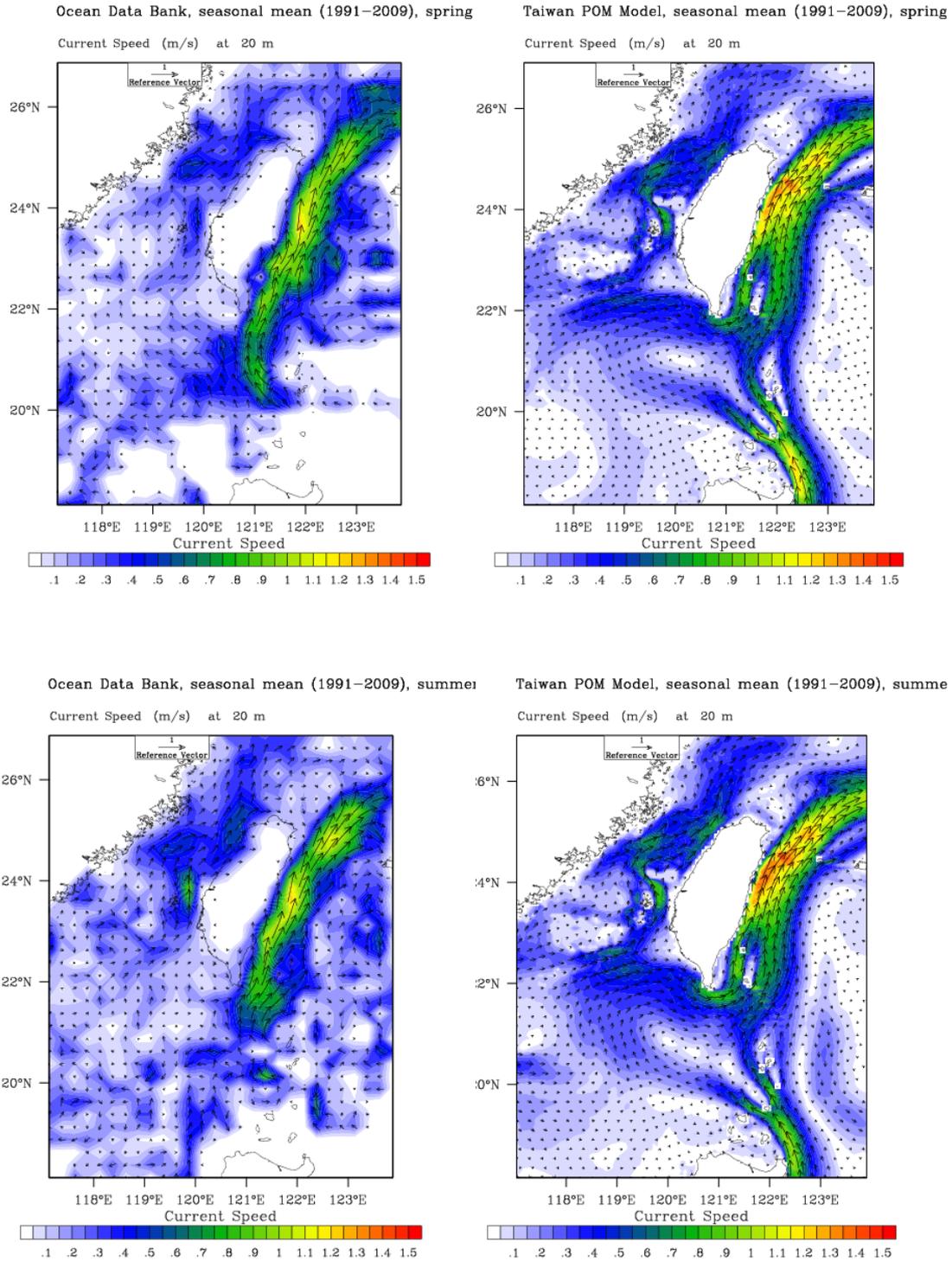


圖 4-26 臺灣四周(T3)計算海域 20 米等水深層(表層)1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之春季(上)與夏季(下)季平均流場流態比較

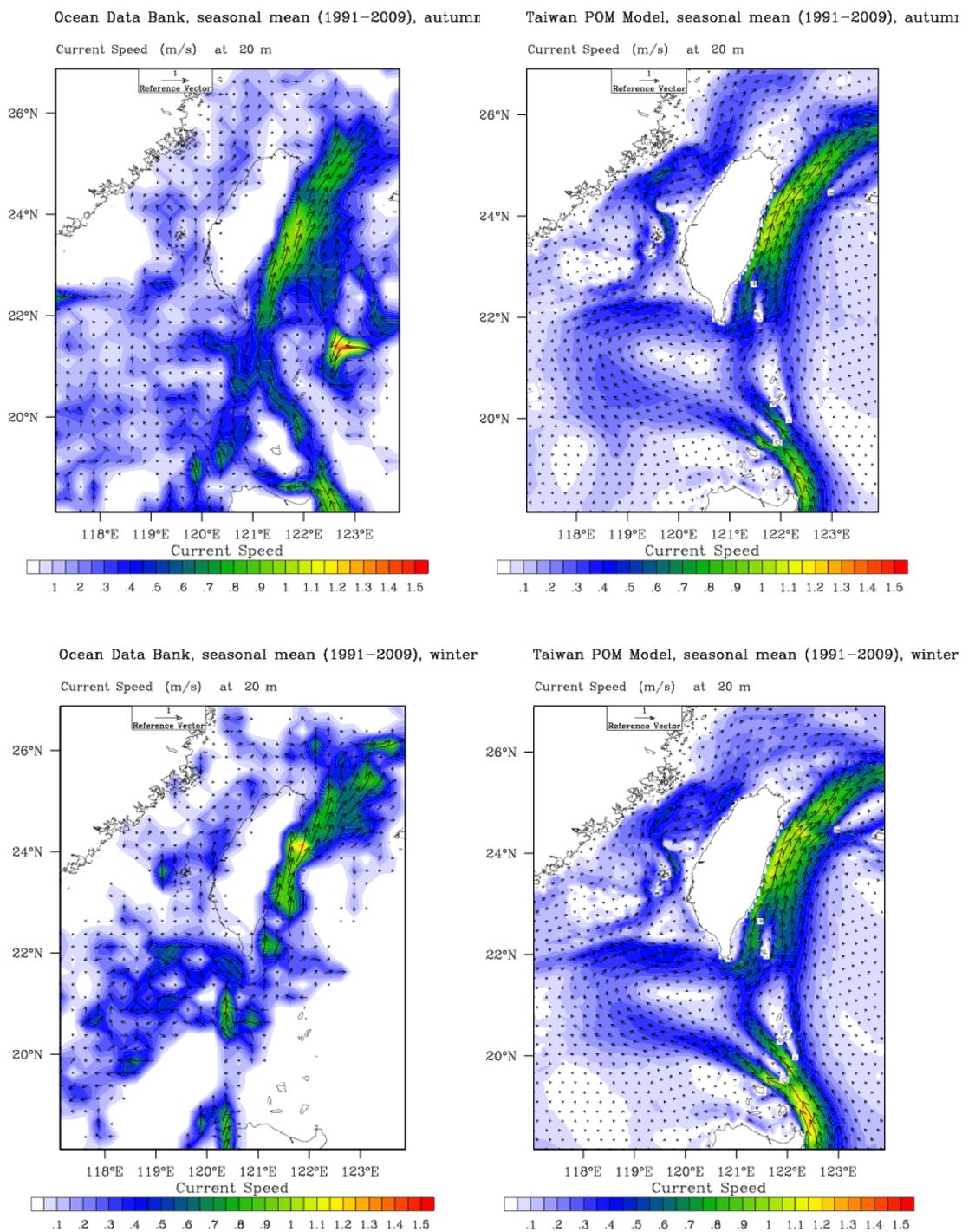


圖 4-26(續) 臺灣四周(T3)計算海域 20 米等水深層(表層)1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之秋季(上)與冬季(下)季平均流場流態比較

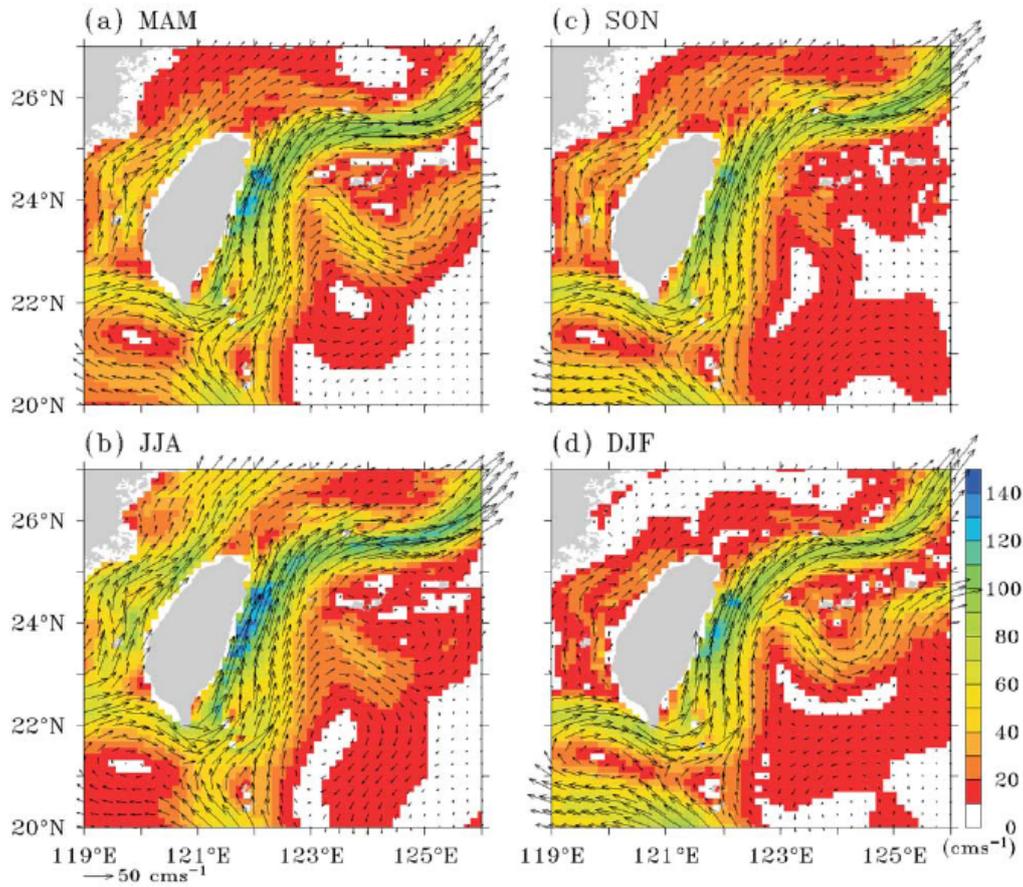


圖 4-27 臺灣鄰近海域 0 至 200 米等水深層 1982 至 2005 年間春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)之季平均計算流速分布圖(資料來源; Hsin et al., 2008)

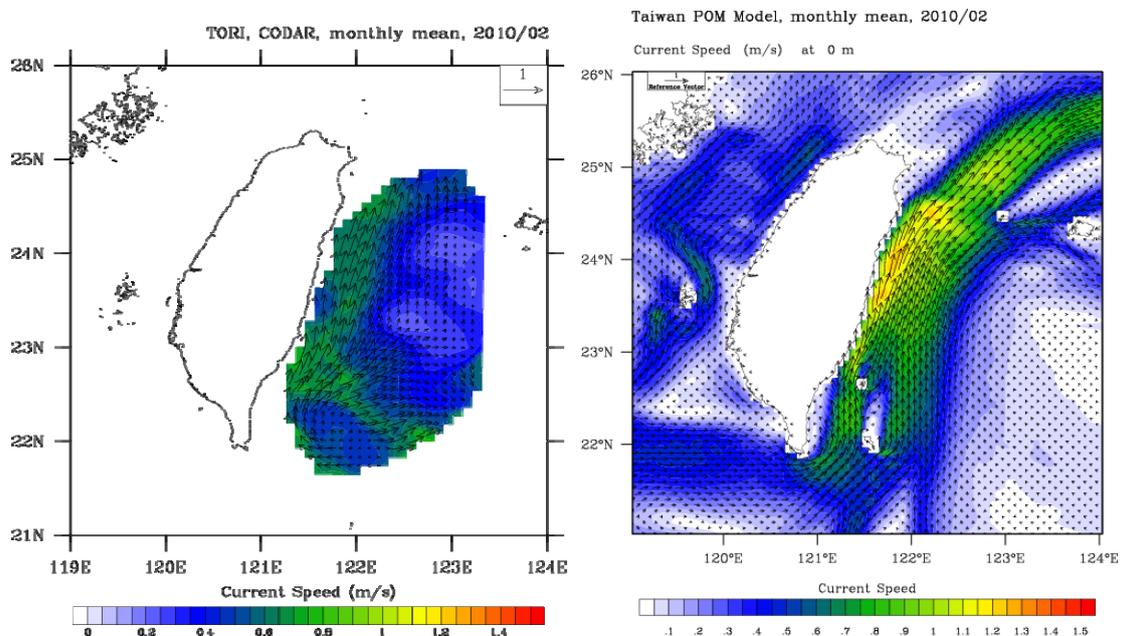


圖 4-28 臺灣東部海域 CODAR 實測(左; 資料來源: 國研院台灣海洋科技研究中心)及模擬計算(右)所得之海表面黑潮流場對照比較

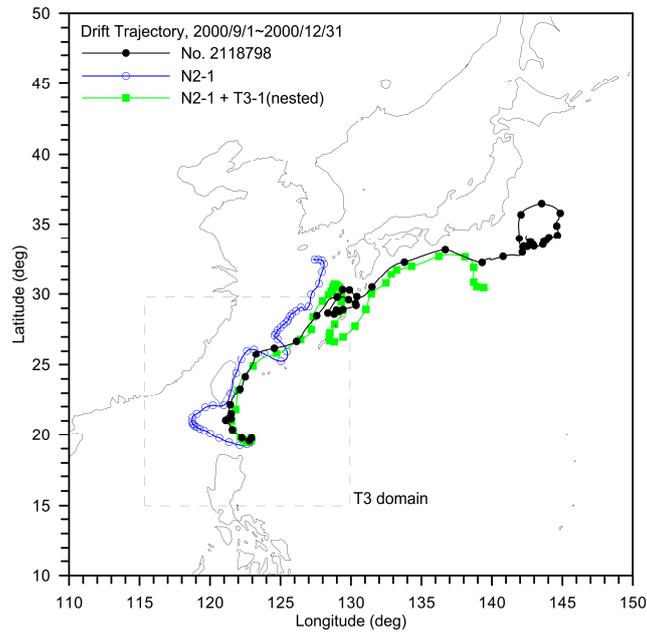


圖 4-29 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之驗證比較

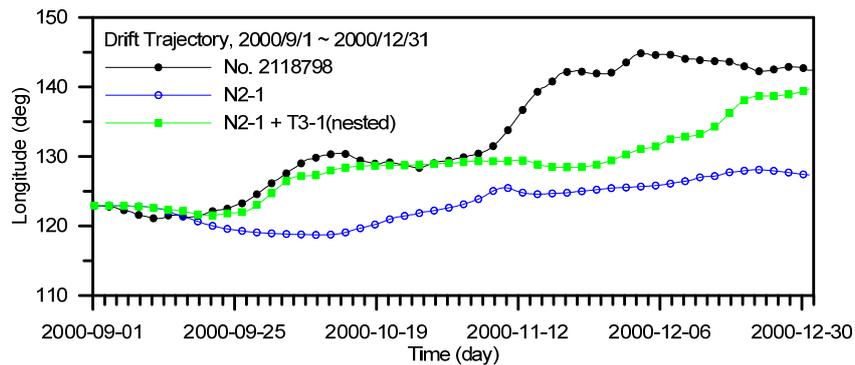


圖 4-30 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之經度位置驗證比較

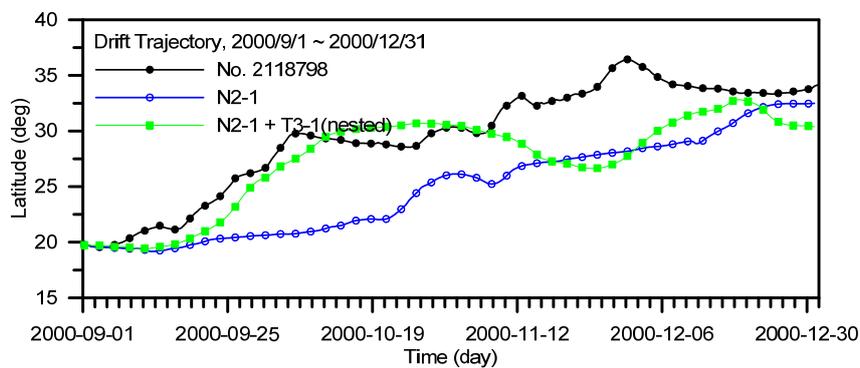


圖 4-31 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之緯度位置驗證比較

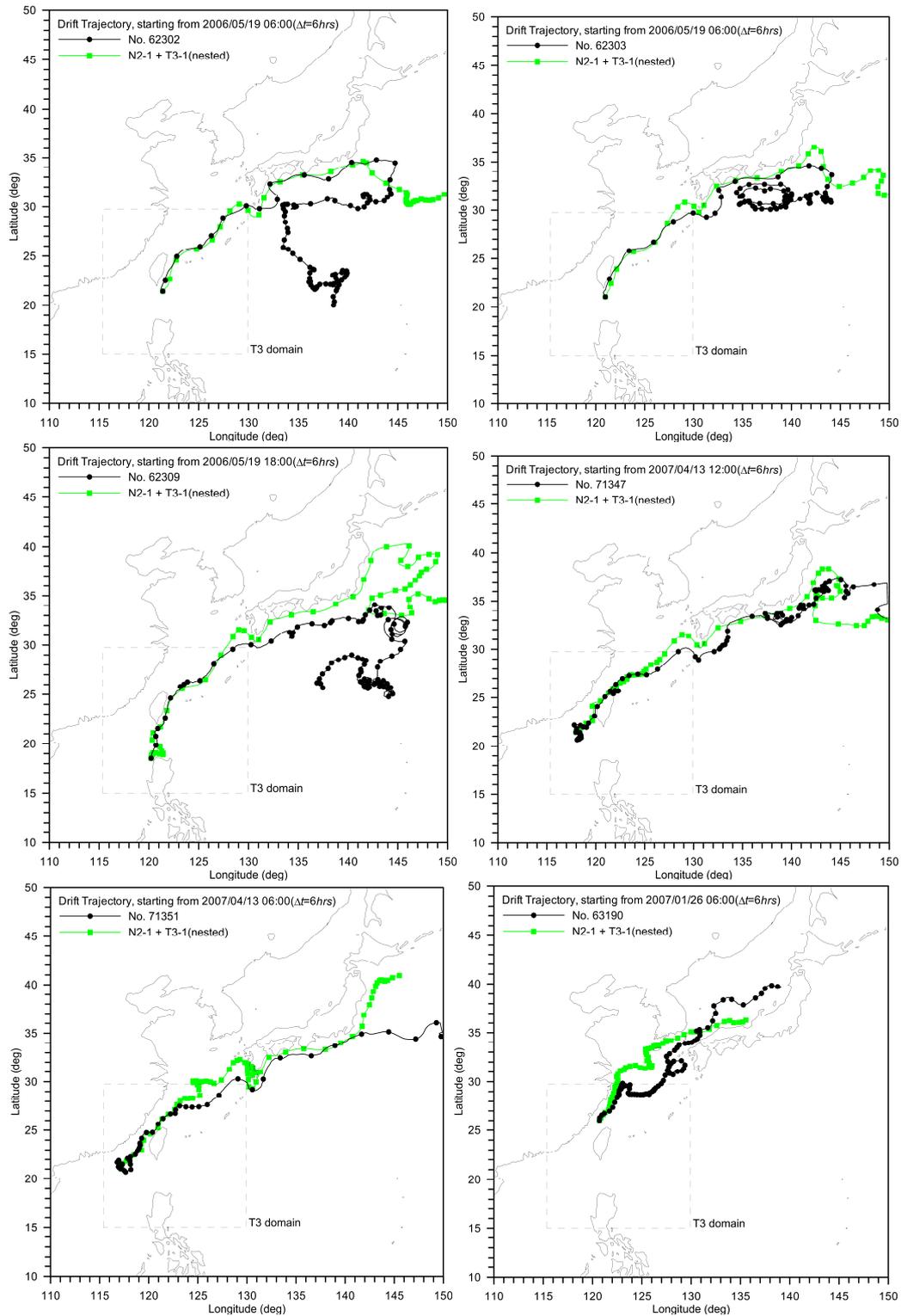


圖 4-32 AOML 編號 62302、62303、62309、71347、71351 及 63190 浮標(由左而右、由上而下)於 2006 及 2007 年之實測與推算流跡驗證比較

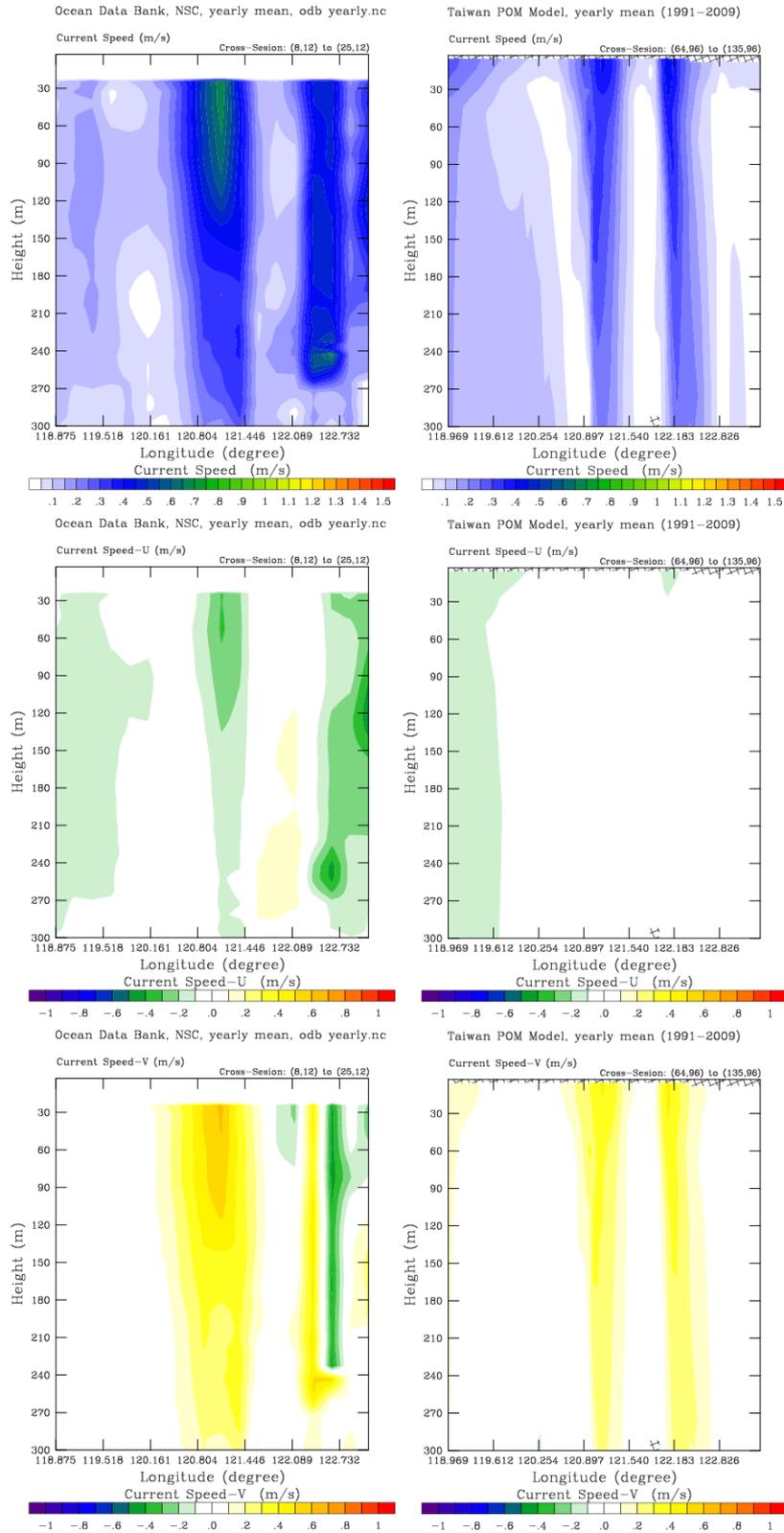


圖 4-33 臺灣鄰近計算海域(T3)於北緯 21 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)一南北向(下)分量驗證

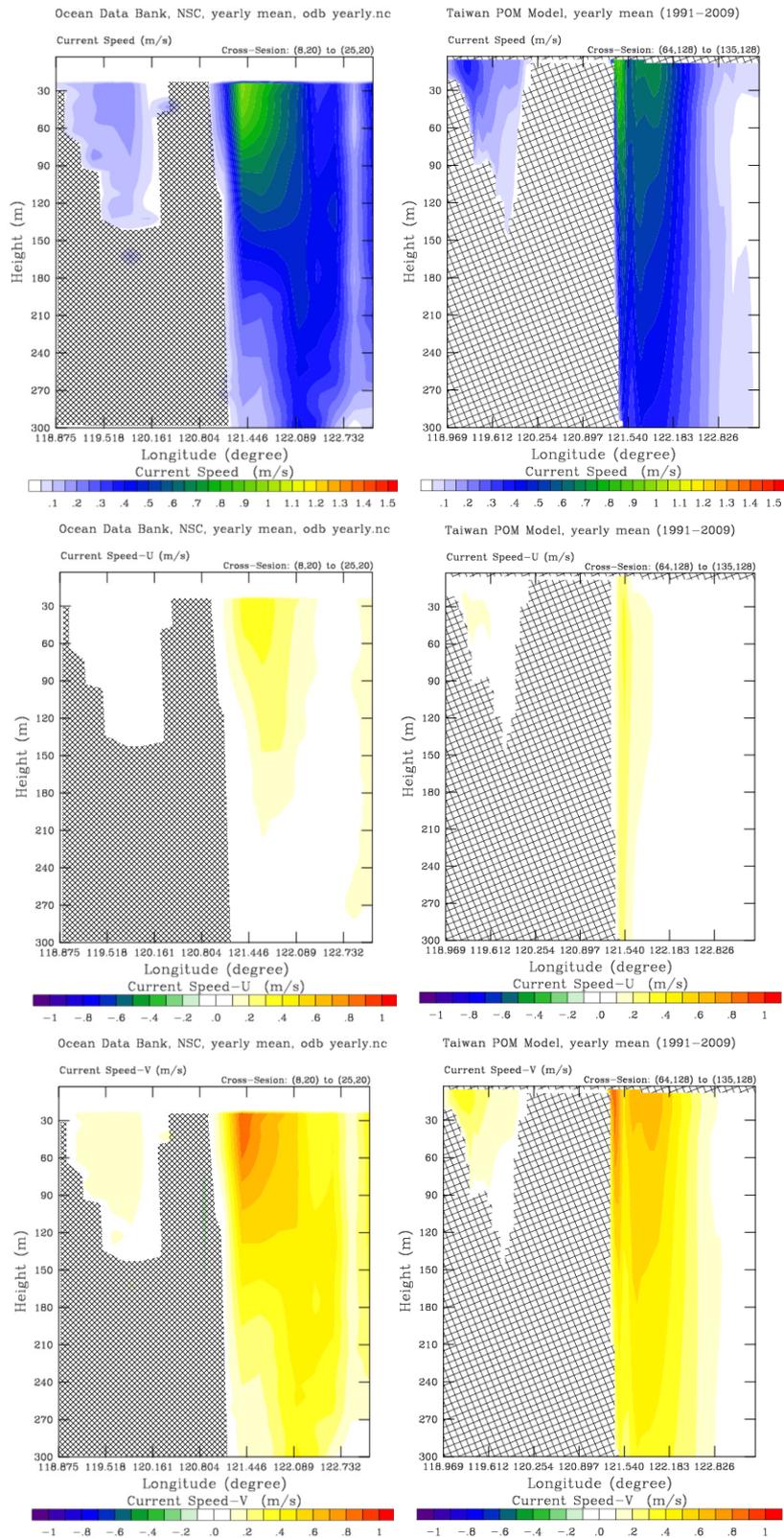


圖 4-34 臺灣鄰近計算海域(T3)於北緯 23 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證

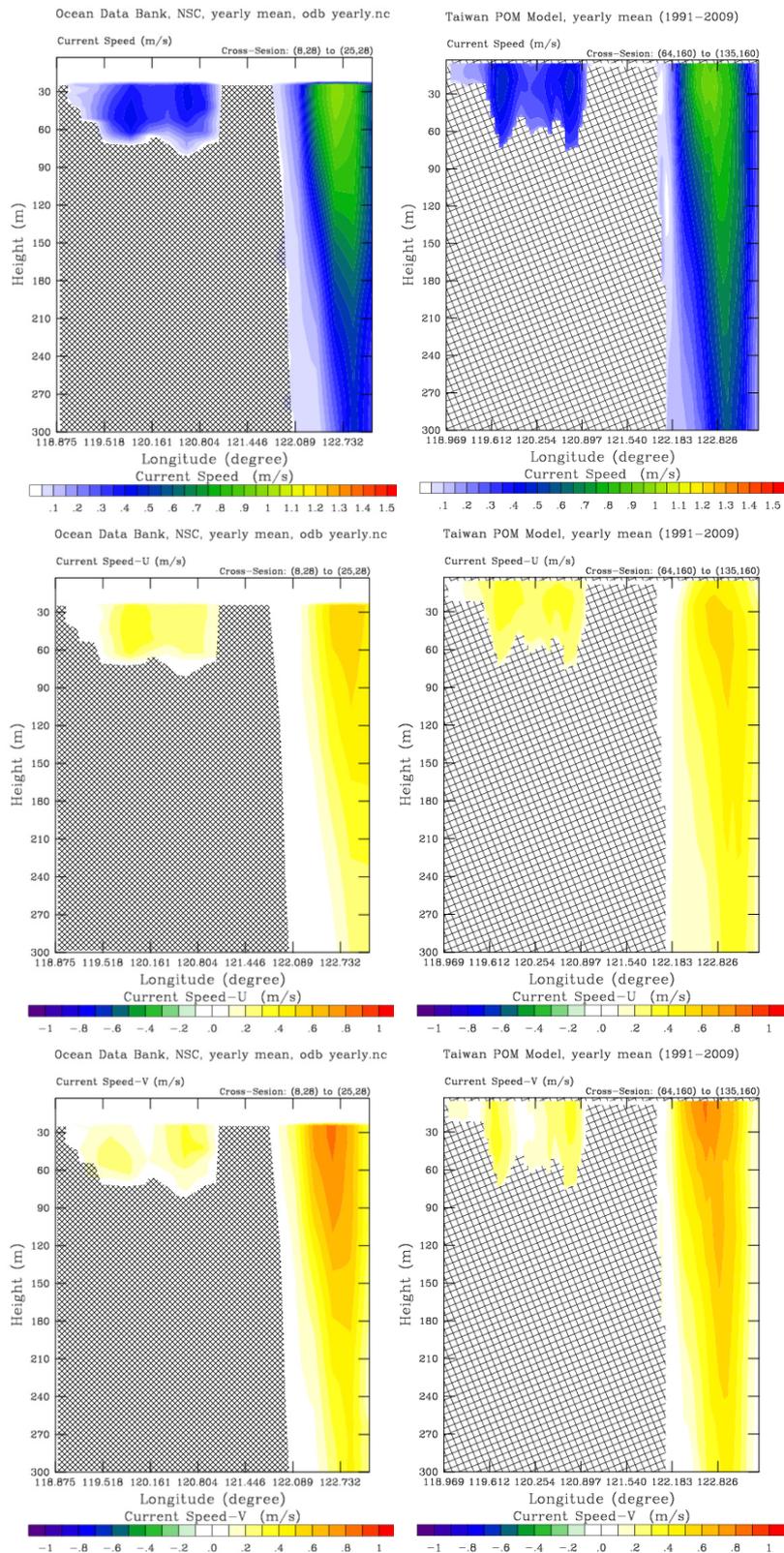


圖 4-35 臺灣鄰近計算海域(T3)於北緯 25 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證

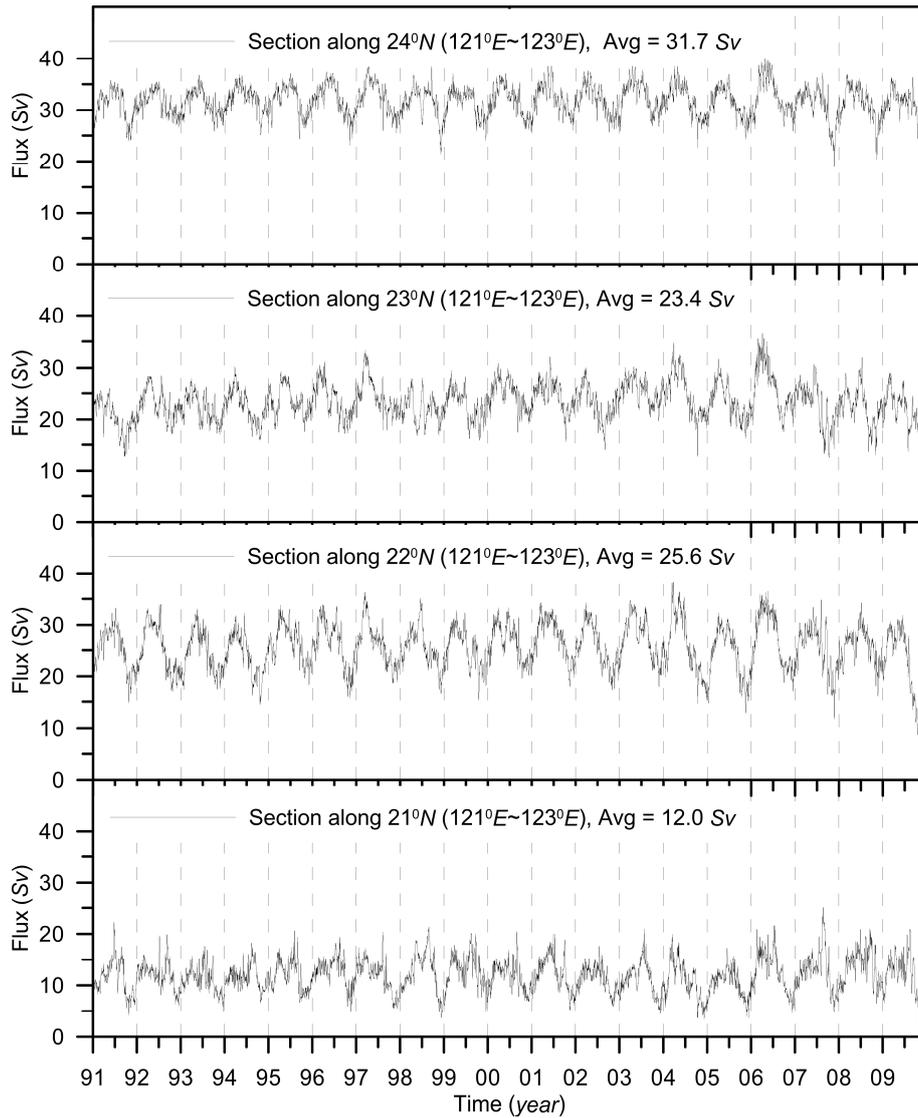


圖 4-36 臺灣東部海域分別自北緯 24 度至 21 度(由上至下)水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化

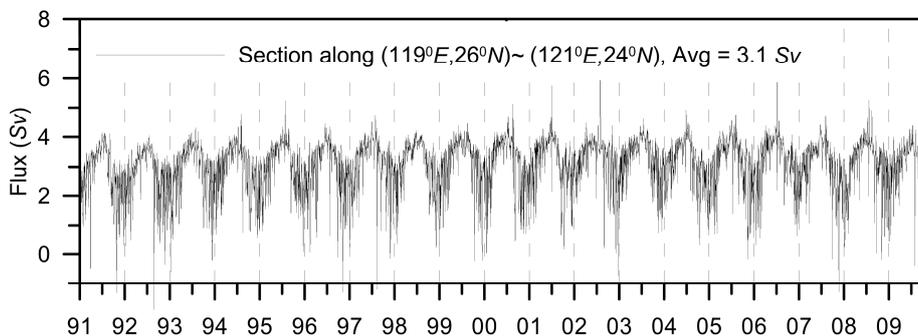


圖 4-37 臺灣海峽中段海域水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化

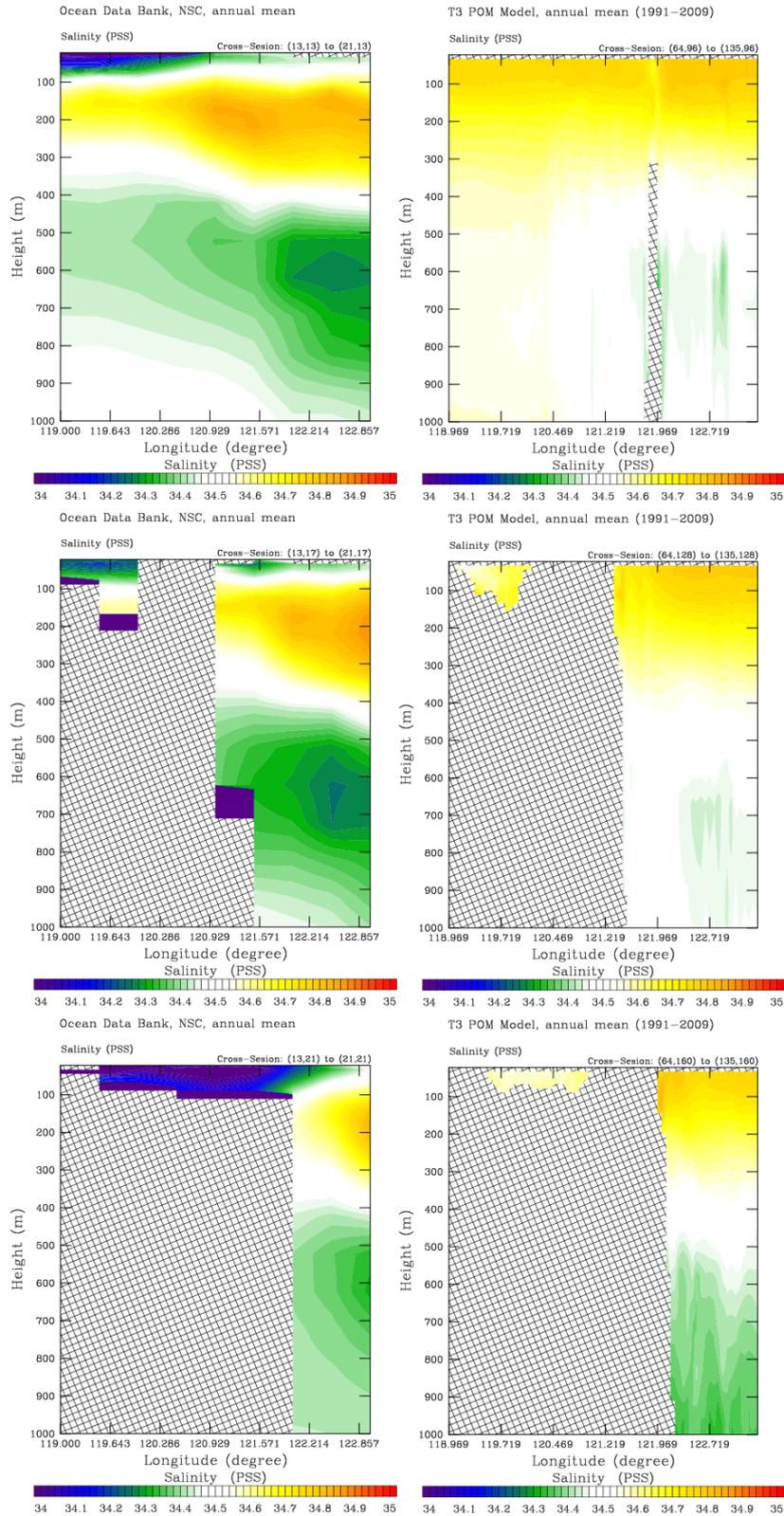


圖 4-38 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均鹽度分布比較

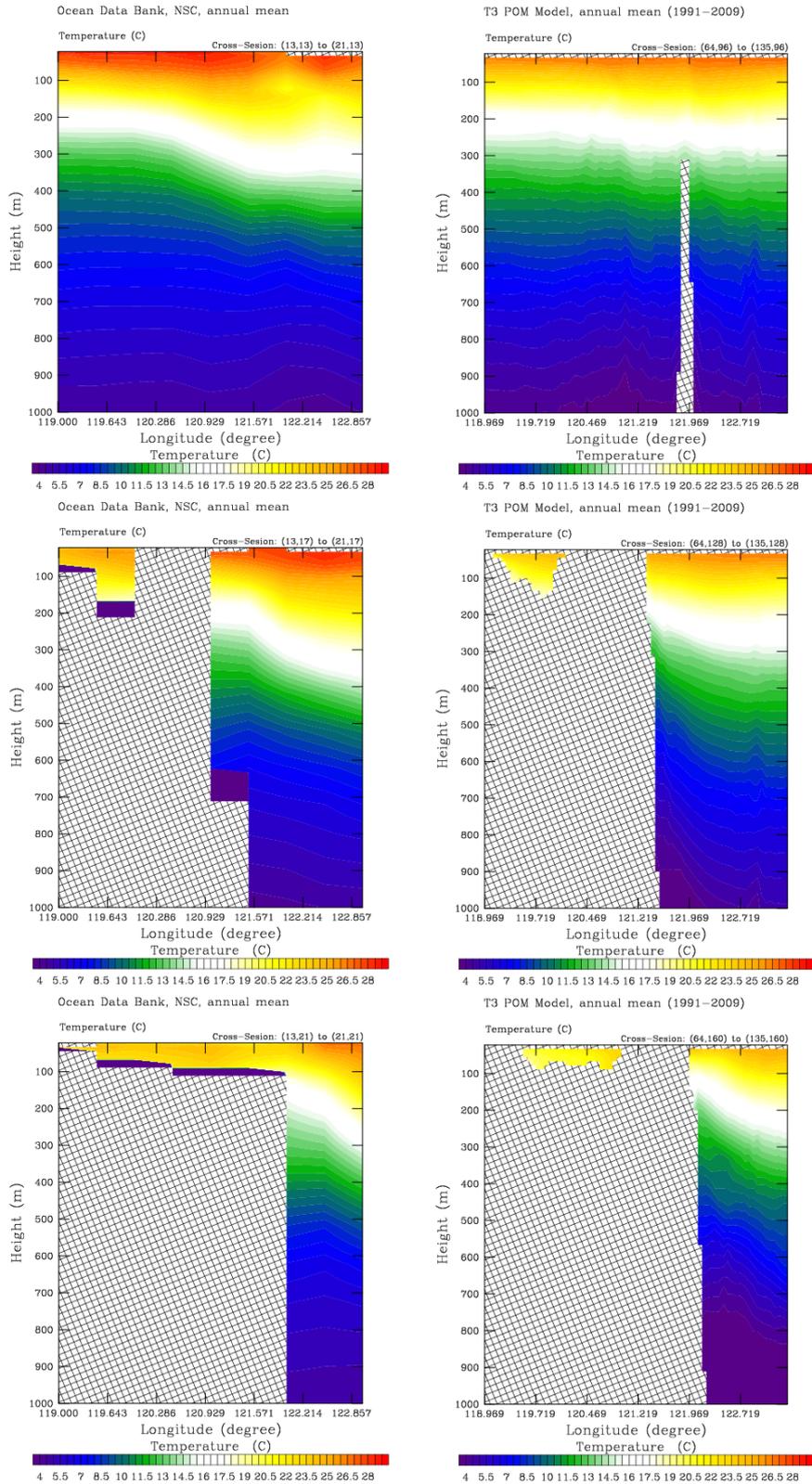


圖 4-39 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度分布比較

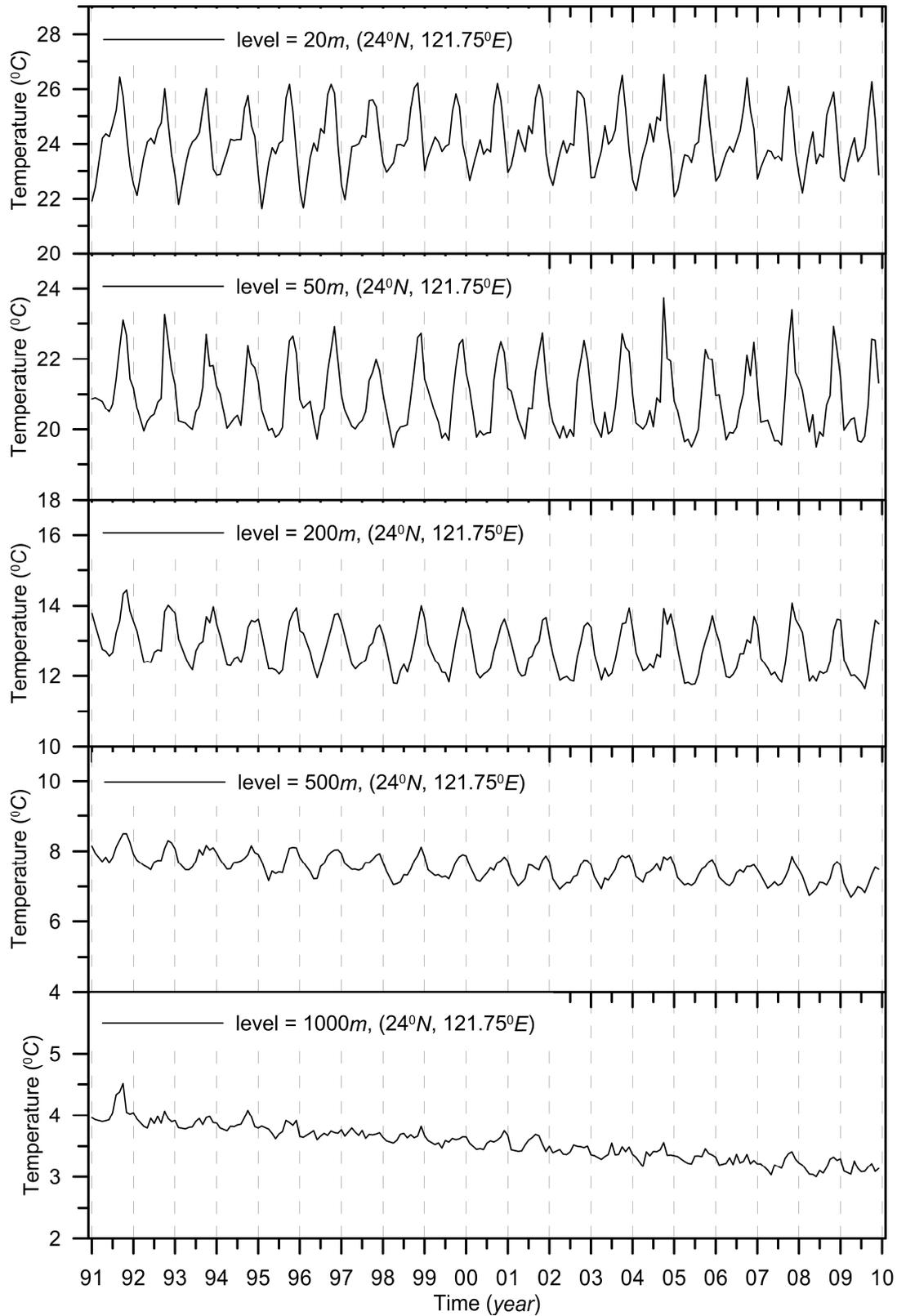


圖 4-40 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里(121.75°E ; 24.0°N)於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均溫度時序變化

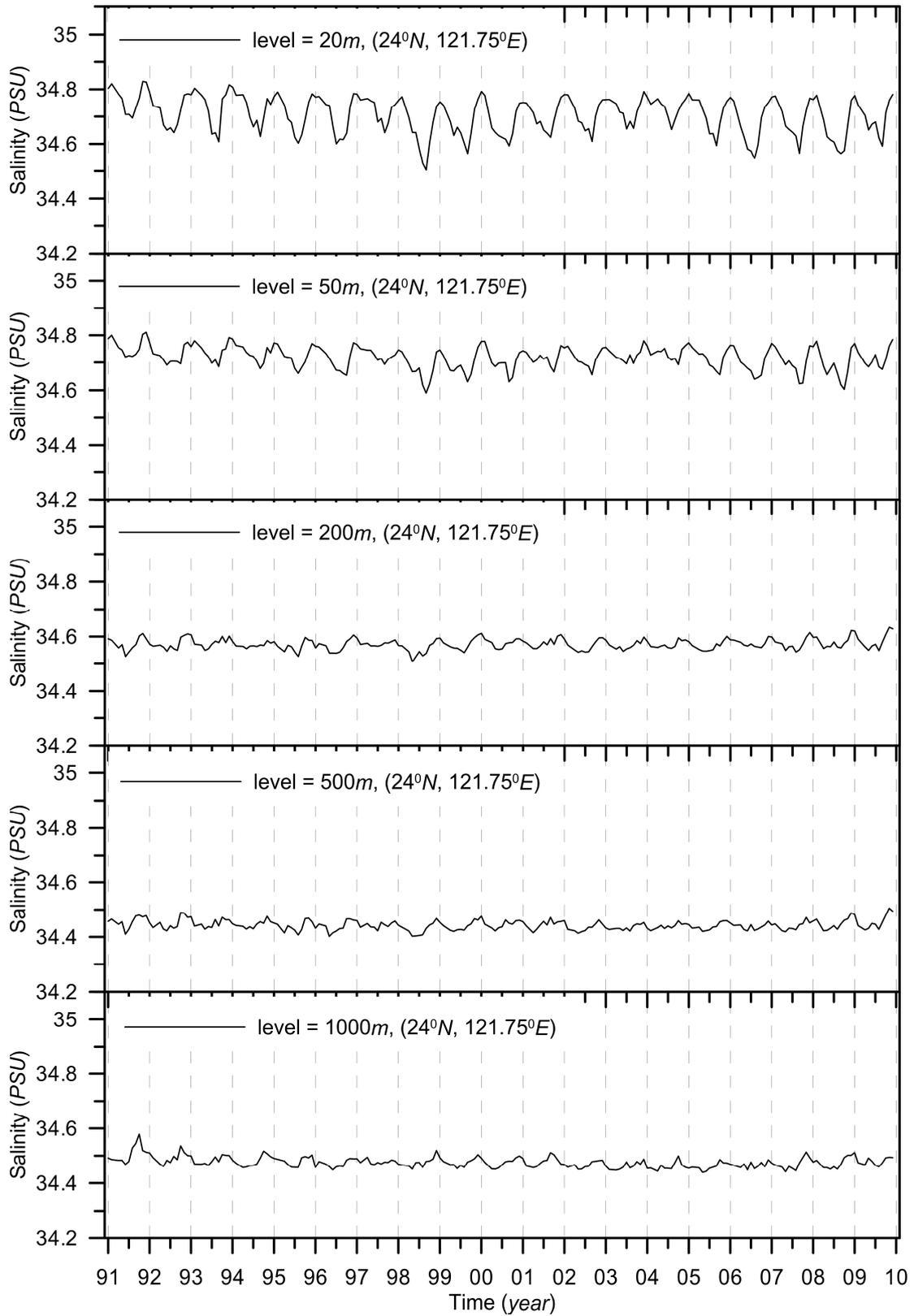


圖 4-41 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里(121.75°E ; 24.0°N)於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均鹽度時序變化

4.5 臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬

4.5.1 臺灣近岸計算海域巢狀格網配置與海流模擬計算架構

依循本章第 4.4.1 節所建置具有不同計算海域範圍及不同空間解析度之巢狀格網系統(參見圖 4-16 之全球 G1 海域、圖 4-17 之西北太平洋 N2 海域、圖 4-18 之臺灣四周 T3 海域及圖 4-19 之臺灣近岸 T-NS 海域)，配合圖 4-42 所示之臺灣近岸海流模擬計算架構，則本研究在臺灣近岸所劃分之 4 局部計算海域內(參見圖 4-19)，分別針對臺北港、基隆港、臺中港、蘇澳港、花蓮港、安平港及高雄港等 7 大商港港口外廓海域，考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤及風力之影響，綜合洋流與潮流共同效應之海流，即可應用 POM 模式再進行詳細之模擬計算。

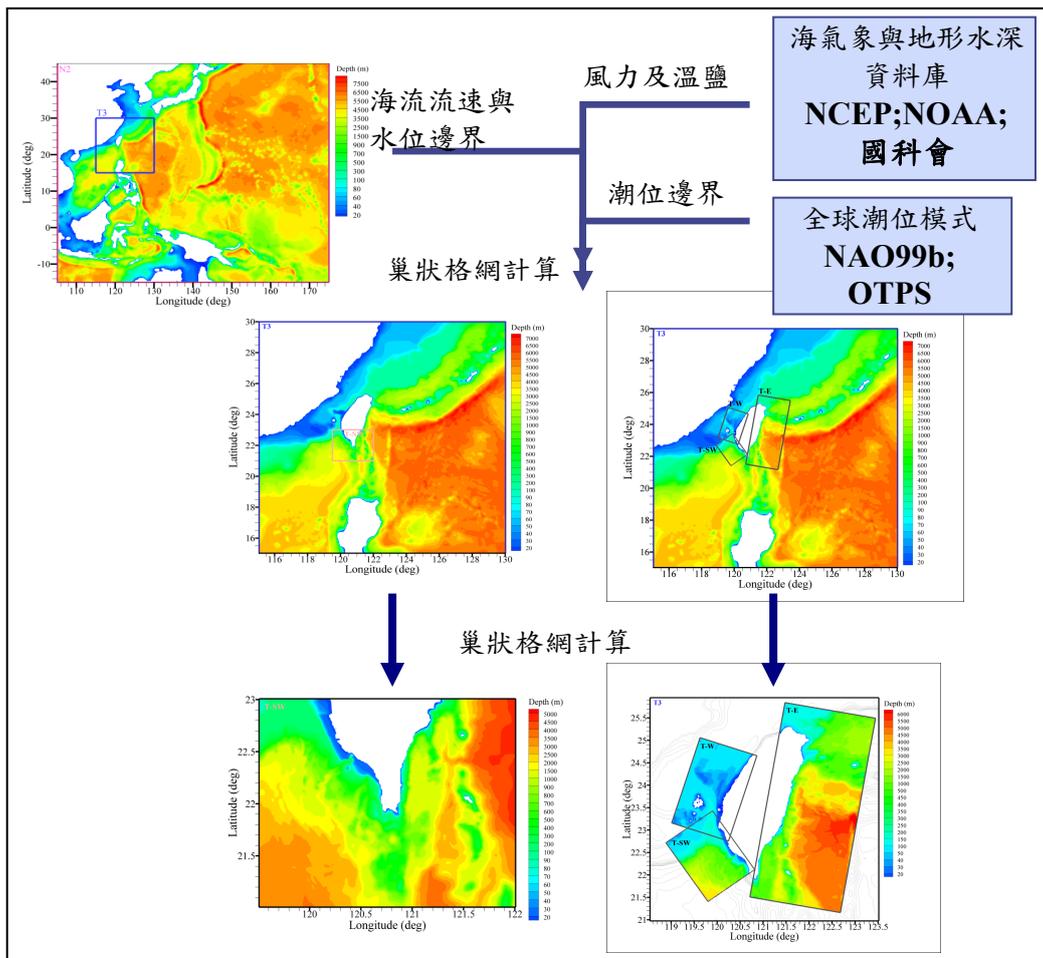


圖 4-42 臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬計算巢狀格網配置與架構

在圖 4-42 所示之臺灣近岸海流模擬計算架構中，很清楚地可看出，其係以臺灣四周(T3)計算海域為基礎，總體邊界及初始條件之設定應用，除延續西北太平洋(N2)海域之計算洋流成果並自相對應之邊界萃取水位及流速外，潮位效應尚採用 NAO99b (Matsumoto et al., 2000) 或 OTPS (OSU_Oregon State University Tidal Prediction Software; <http://volkov.oce.orst.edu/tides/otps.html>) 全球潮位模式所預報之天文潮位，據以綜合調整邊界水位設定，從而先行進行並達成臺灣四周(T3)計算海域內綜合考慮洋流與潮流效應之海流模擬計算。另外，在臺灣四周(T3)計算海域內，當僅作潮流流場模擬計算時，則 POM 模式將單純以自全球潮位模式所預報之天文潮位作邊界水位設定並趨動。至於在臺灣近岸(T-NS)4 局部計算海域內之海流模擬計算，其水位與流速邊界及初始條件之設定應用，將直接延續並萃取自臺灣四周(T3)計算海域內綜合考慮洋流與潮流效應之計算海流流場。

4.5.2 臺灣四周海域單純含括潮汐效應之計算潮流流場

依據圖 4-42 所建置臺灣近岸(T-NS)海流之巢狀格網配置與模擬計算架構，針對臺灣四周(T3)計算海域，於單純考慮潮汐效應下，以臺中港驗潮站之計算逐時潮位為參考基準，則在 2009/01/12 冬季大潮期間，自 08:00 起至 18:00 止之一個完整潮汐週期內，每二小時時距之潮流流場時序變化，經模擬計算可得如圖 4-43 所示。圖中，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；另外，參考驗潮站設定為臺中港，其潮位漲退變化歷程以圖下之紅色實線表示，計算時刻所對應之潮位則以黑色實點表示。

逐時序觀察圖 4-43 可知，臺灣四周(T3)計算海域內之潮流，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海岸作往復流動之特性。此

外，在臺中港近岸及臺灣海峽之中段海域內，在全漲退潮期間，潮流之流速一般甚微弱，流向順沿海岸作往復流動之特性不明顯，不過，當臺中港驗潮站潮位在近滿潮之前後期間，在臺中港近岸及臺灣海峽中段海域內將會陳現流向均一向南之較大流速。

4.5.3 臺灣四周海域綜合洋流與潮流效應之計算海流流場

依據圖 4-42 所建置臺灣近岸(T-NS)海流之巢狀格網配置與模擬計算架構，針對做為近岸海流模擬計算邊界條件設定基準之臺灣四周(T3)計算海域，於綜合考量風力及洋流與潮流效應下，以臺中港驗潮站之計算逐時潮位為參考基準，則分別在 2009/01/12 之冬季及 2009/07/09 之夏季大潮期間，均自 08:00 起至 20:00 止之一個完整潮汐週期內，每二小時時距之海流流場時序變化，經模擬計算分別可得如圖 4-44 及圖 4-45 所示。圖中，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；另外，參考驗潮站設定為臺中港，其潮位漲退變化歷程以圖下之紅色實線表示，計算時刻所對應之潮位則以黑色實點表示。

先就 2009/01/12 冬季逐時序觀察圖 4-44 可知，冬季時節臺灣四周(T3)計算海域內綜合洋流與潮流效應之海流，概略與單純潮流流場特性相近似，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，海流仍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，潮流亦相對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海流流速，最大可達約 0.7 m/s。在臺灣西部近岸海域，海流流向明顯也具有順沿海岸作往復流動之特性，而且在臺灣海峽之中段海域內，在全漲退潮期間，海流在臺中港近岸陳現有流向互異之聚散分流特性，尤其當臺中港潮位在近滿潮之前後期間，原來在臺中港近岸及臺灣海峽中段海域內所陳現流向均一向南之較大流速，已因北向洋流之抵制作用而轉趨微弱或消失；在臺灣東部近岸海域，於全漲退潮期間，流向均一向北之黑潮主流清晰可見，僅管其在蘇澳港近海，

部分黑潮主流會順沿琉球島弧南緣向東分流；在臺灣北部近岸海域，於臺中港退潮之近乾潮期，由於順沿東北部海岸向東流出之退潮流與北向黑潮之交會作用，故而在鼻頭角外海，可見一逆時針方向旋轉之大型環流短暫存在；至於在臺灣西南部近岸海域，明顯可見由南而衝向墾丁南灣之偏東北向黑潮支流，另外，受東亞大陸棚架緣地形及漲退潮流與黑潮支流之共同作用，在高雄港與安平港近海，於部分漲退潮期間，亦可見海流沿海岸作聚散分流之特性，而且原四季皆存在之黑潮套流流場(參見圖 2-24)，可能已因漲退潮流之影響而匿踪消失。

再就 2009/07/09 夏季逐時序觀察圖 4-45 可知，夏季時節臺灣四周(T3)計算海域內綜合洋流與潮流效應之海流，總體特性與圖 4-44 所示之冬季流場甚類似，具有較大不同的，僅是因季風風力之差異影響，故而在臺灣海峽及臺中港以北之近岸海域，普遍陳現原即應向北流動之洋流(黑潮支流)特性。

4.5.4 臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之計算海流流場

依據圖 4-42 所建置臺灣近岸(T-NS)海流之巢狀格網配置與模擬計算架構，應用萃取自臺灣四周(T3)計算海域內綜合洋流與潮流效應之海流(參見圖 4-44 及圖 4-45 所示)流速與水位做為近岸海流模擬計算之邊界條件，則在臺灣近岸(T-NS)採用正交曲線格網布置所劃分之臺灣北部(T-NS_N)、臺灣中西部(T-NS_W)、臺灣東部(T-NS_E)及臺灣西南部(T-NS_SW)等 4 局部近岸計算海域內(參見圖 4-19)，考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤及風力之影響，綜合洋流與潮流共同效應之海流，經應用 POM 模式進行詳細之模擬計算後，包括臺北港與基隆港之臺灣北部(T-NS_N)夏季(2009/07/01 08:00~18:00)近岸海流流場，可得如圖 4-46 所示；包括臺中港之臺灣中西部(T-NS_W)夏季(2009/07/08 08:00~16:00)與冬季(2010/01/08 08:00~16:00)之近岸海流流場，分別可得如圖 4-47 及圖 4-48 所示；包括蘇澳港與花蓮港之臺灣東部(T-NS_E)夏季(2009/07/08 08:00~18:00)近岸海流流場，可得如圖 4-49 所示；而包括安平港與高雄港之臺灣西南部(T-NS_SW)局部海域中，高雄港夏季

(2009/07/08 08:00~16:00)之近岸海流流場，可得如圖 4-50 所示。各圖中，圖上流場內之流速大小及流向，除了以箭矢長短及指向表示外，尚以圖右之參考色階深淺陳現；而圖下則為港口外海流實測站位對應潮位及流向實測(黑色實線)與計算(紅色實線)變化歷程之對照比較，圖示時間則以黑色實點對應。

循序由北而南、由西而東就局部海域觀察臺灣近岸之海流。首先，觀察圖 4-46 所示包括臺北港與基隆港之臺灣北部近岸海域(T-NS_N)夏季(2009/07/01 08:00~18:00)海流流場可知：臺北港與基隆港為潮流優勢海域(參見圖 4-43 至圖 4-45)，港口外廓海域，漲退潮間之潮位雖僅有小幅變化，但隨潮位之漲退，近岸海域仍皆有較強之沿岸海流流速陳現，流速最大可達約 0.7 m/s，而且退潮期之流速普遍大於漲潮期，而流向明顯皆有順沿海岸作往復流動變化之特性。值得注意的是，受近岸地形之影響，於本海域之退潮近乾潮期，在萬里之野柳岬至基隆港海域間，可清楚看到一順時針方向旋轉之大型環流陳現。

其次，觀察圖 4-47 及圖 4-48 所示包括臺中港之臺灣中西部近岸海域(T-NS_W)夏季(2009/07/08 08:00~16:00)與冬季(2009/01/08 08:00~16:00)之近岸海流流場可知：臺中港為弱潮流海域(參見圖 4-43 至圖 4-45)，港口外廓海域，受強勢黑潮支流之影響，在夏季之漲退潮期間，近岸海域將存在流速甚強之沿岸海流，流速最強可達約 1.0 m/s，流向以順沿海岸向東北流動為優勢，往復變化特性不明顯；而在冬季，受東北季風強盛風力與黑潮支流減弱之影響，漲退潮期間，僅管外海仍明顯可見流向保持徧北北東之海流，但近岸海域之海流已完全改變流向，轉而為優勢向西南之流動，流速最大約可達 0.3 m/s。

接著，觀察圖 4-49 所示包括蘇澳港與花蓮港之臺灣東部(T-NS_E)夏季(2009/07/08 08:00~18:00)近岸海流流場可知：蘇澳港與花蓮港為黑潮盛行流動之海域(參見圖 4-43 至圖 4-45)，港口外廓海域，受近岸地形影響，漲退潮期間之近岸海流，流速甚微弱，最大流速不及 0.3 m/s，流向順沿海岸作往復流動變化之特性不明顯；但值得特別注意的是，在蘇澳港與花蓮港分別距離海岸各約 14 公里與 6 公里的外海，即可發

現主流偏向東部近岸且流速約可高達 1.8 m/s 之強勁黑潮。

最後，觀察圖 4-50 所示臺灣西南部(T-NS_SW)局部海域包括高雄港夏季(2009/07/08 08:00~16:00)海面表層與 100 米等水深層之近岸海流流場可知：高雄港為潮流與黑潮支流交會之海域(參見圖 4-43 至圖 4-45)，港口外廓海域流場變化複雜，漲退潮間之潮位雖僅有小幅變化，但隨潮位之漲退，近岸海域仍有較大流速之沿岸海流陳現，流速最大約可達 0.7 m/s，流向以東南向較優勢，不過，由於受南海北側東亞大陸棚架緣地形影響，外加臺灣海峽南端漲退潮期之強勁潮流恰約在本海域與順沿海岸向北流動之黑潮支流交會之效應，故而高雄港近岸海流之流向，在漲潮期陳現有向東南而在退潮期有向西北流動之特異性。

4.5.4 臺灣 7 大港口外廓海域綜合洋流與潮流效應之計算海流驗證

針對臺灣近岸 4 局部計算海域內之海流，於綜合考量洋流與潮流效應下，為驗證採用正交曲線巢狀格網配置架構所設定邊界條件之有效延續性，因此，以臺灣四周計算海域內之計算海流流場為基礎，作相互之對照比較，結果如圖 4-51 所示。圖中，臺灣四周海域及近岸 4 局部海域內之計算流場，分別以紅色及黑色之箭矢長短及指向表示。由圖 4-51 觀察可見，儘管兩計算海域之時空解析度不同，但計算流場彼此間仍具有十足之相似與符合性，故確認透過正交曲線巢狀格網配置架構以設定邊界條件，確實可有效延續並正確重現具有不同時空解析度海域內之計算流場特性，進而可將局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤等結構物之影響，配合電腦計算能量，作充分詳細之考量。

關於圖 4-46 至圖 4-50 所示臺北港、基隆港、臺中港、蘇澳港、花蓮港、安平港及高雄港等 7 大商港港口外廓之計算海流準確性，針對圖 4-2 至圖 4-8 所示各港口外廓海域之海流實測站位，將實測與計算海流之流速與潮位變化先作逐時序之比較，再以圖 4-9 至圖 4-15 所示 2009 年各分月之實測與計算流速集散圖(scatter diagram)作相互對照，則在基隆港港口外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-52 及圖 4-53 所示；臺北港港口外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-54 及圖 4-55 所示；臺中港港口

外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-56 及圖 4-57 所示；蘇澳港港口外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-58 及圖 4-59 所示；花蓮港港口外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-60 及圖 4-61 所示；安平港港口外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-62 及圖 4-63 所示；高雄港港口外廓測站之驗證結果，分別如圖 4-64 及圖 4-65 所示。上列各圖，在各實測與計算流速與潮位之逐時序比較圖中，由圖上至下分別為流速、流向、東(正)－西(負)向流速分量(U)、南(負)－北(正)向流速分量(V)、潮位及風速；實測值以黑色線表示，計算值以紅色線表示，計算值之 24 小時(日)移動平均值則以綠色線表示。而在 2009 年各分月之實測與計算流速集散圖對照圖中，分月之排列先左而右，再上而下；實測值以黑色點表示，而計算值則以紅色點表示。

首先，就北部近岸海域而言，觀察圖 4-52 所示基隆港港口外廓 2009 年 10 月及 2010 年 10 月秋季之實測與計算流速與潮位逐時序比較結果可知，除了可能受近岸地形水深影響而致計算之東(正)－西(負)向流速分量(U)略微偏大外，總體上，計算流速、流向與潮位之逐時變化皆與實測特性甚相近似；另外，從圖 4-53 所示實測與計算流速分月集散圖之對照結果觀察可知，全年各月季之計算海流流速，確實能充分準確地陳現實測特性。至於在臺北港港口外廓，從圖 4-54 所示 2009 年 6 月夏季及 2010 年 10 月秋季實測與計算流速及潮位之逐時序比較結果觀察可知，除了可能受風力影響而致計算流速略微偏小外，總體上，計算流速、流向與潮位之逐時變化，皆能與實測特性相符合；另外，觀察圖 4-55 所示實測與計算流速分月集散圖之對照結果可知，全年各月季之計算海流流速，確實也皆能十分近似地陳現實測特性。

其次，就中西部近岸海域而言，觀察圖 4-56 所示臺中港港口外廓 2009 年 10 月秋季及 2010 年 12 月冬季之實測與計算流速與潮位逐時序比較結果可知，除了可能因中國大陸沿岸潮位未準確掌握而使計算潮位明顯偏小，以及受潮位、風力、及近岸地形與港口外廓防波堤結構物影響而致計算流速偏弱或向南之流速分量偏小外，總體上，計算流速、流向之逐時變化尚算與實測特性相近似；另外，從圖 4-57 所示所

示實測與計算流速分月集散圖之對照結果觀察可知，全年各月季之計算海流流速，仍概略地與實測特性相符合。

接著，就東部近岸海域而言，觀察圖 4-58 所示蘇澳港港口外廓 2009 年 8 月夏季及 2010 年 12 月冬季之實測與計算流速與潮位逐時序比較結果可知，本海域之計算海流與潮位，可能受近岸地形水深、風力及黑潮影響而致潮位偏小，流速或其南—北向流速分量(V)明顯偏大外，總體上，計算流速、流向與潮位之逐時變化尚皆能與實測特性近似一致；另外，從圖 4-59 所示實測與計算流速分月集散圖之對照結果觀察可知，全年各月季之計算海流流速，似乎沿海岸作往復流動之潮流特性太強勢，故實測特性僅能概要性的掌握。至於在花蓮港港口外廓，從圖 4-60 所示 2009 年 11 月及 2010 年 9 月秋季實測與計算流速及潮位之逐時序比較結果觀察可知，本海域之計算海流與潮位，可能受近岸波浪、地形水深、風力及黑潮之共同效應影響而致潮位、流速或其東—西向流速分量(U)明顯偏小且流向偏差大外，總體上，計算流速、流向與潮位之逐時變化，尚算與實測特性相類似；另外，觀察圖 4-61 所示實測與計算流速分月集散圖之對照結果可知，儘管沿海岸作往復流動之潮流可符實陳現實測值特性，但因缺少向—離岸(東—西)方向之流速分量(U)補充，故全年各月季之計算海流流速，僅能概要性的陳現實測特性。

最後，就西南部近岸海域而言，觀察圖 4-62 所示安平港港口外廓 2009 年 6 月夏季及 2010 年 9 月秋季之實測與計算流速與潮位逐時序比較結果可知，除了可能受近岸地形水深影響而致計算流速略微偏小外，總體上，計算流速、流向與潮位之逐時變化皆與實測特性甚相近似；另外，從圖 4-63 所示實測與計算流速分月集散圖之對照結果觀察可知，全年各月季之計算海流流速，確實可充分準確地陳現實測特性。至於在高雄港港口外廓，從圖 4-64 所示 2009 年 11 月秋季及 2010 年 6 月夏季實測與計算流速及潮位之逐時序比較結果觀察可知，除了可能受近岸地形水深及風力影響而致計算流速或其南—北向流速分量(V)略微偏小外，總體上，計算流速、流向與潮位之逐時變化，亦皆能與

實測特性相符合；另外，觀察圖 4-65 所示實測與計算流速分月集散圖之對照結果可知，全年各月季之計算海流流速，確實也皆能十分近似地陳現實測特性。

綜合而論，臺灣近岸 4 局部計算海域內之計算海流，於綜合考量洋流與潮流效應下，透過實測流速及潮位之逐時序比較，再應用流速分月集散圖作對照，可確認臺北港、基隆港、臺中港、蘇澳港、花蓮港、安平港及高雄港等 7 大商港港口外廓海域之近岸計算海流，尚皆能近似符合實測之海流特性，至於準確性的提昇，則尚待具有高時空解析度之近岸地形水深與所應用海氣象資料庫之配合與講究。

4.6 臺灣近岸海域洋流對潮流流場之影響評估

洋流與潮流皆屬於長週期性空間大尺度性之海流，僅管局部性近岸地形水深與短期性之風力及波浪作用等均會對港口外廓海域之近岸海流特性產生影響，但若僅為在近岸海域進行洋流對潮流流場之影響評估，則局部性近岸地形水深與短期性之風力及波浪作用等效應，對於週期性空間大尺度性之海流影響而言，似乎並不重要且可忽略；另外，在綜合考量洋流與潮流效應下，基於臺灣近岸 4 局部計算海域與臺灣四周計算海域內之海流，透過巢狀格網配置架構之聯結，已確認計算流場(參見圖 4-51 所示)彼此具有延續性與符合性，惟因目前對於具全平面性與時變性之流場(流速向量)尚無有效的定量性影響評估準則與依據，故而在臺灣近岸海域內，為總體性與全面性進行洋流對潮流流場影響評估之需要，評估範圍將回歸至以圖 4-18 所示之臺灣四周(T3)計算海域為基礎，並以綜合考量洋流與潮流效應之計算海流流場(參見圖 4-44 與圖 4-45)與單純考量潮汐效應之計算潮流流場(參見圖 4-43)彼此間隨潮位逐時變化之相互差異流場作為評估依據。相關春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11)、冬(12~2)四季隨潮位逐時變化之季節性差異流場，經計算分別可整理如圖 4-66、圖 4-67、圖 4-68 及圖 4-69 所示。各圖中，在圖上計算流場內之流速大小及流向，係以箭矢長短及指向表示，而其海面水位變化，則以參考色階之深淺陳現；在

圖中之差異流場內，流速大小及流向之差異，係以箭矢長短及指向表示，而流速大小之差異度，則以藍-白-紅參考色階之深淺陳現，藍、紅色階越淺，表示洋流與潮流具有相當之優勢性，而藍、紅色階越深，表示洋流對潮流越具差異性，且深藍色表示潮流之影響為優勢，深紅色表示洋流之影響為優勢；另外，在圖下之參考驗潮站設定為臺中港，其潮位漲退變化歷程以紅色實線表示，黑色實點則用以表示計算時刻所對應之潮位。

首先，就圖 4-66 所示 2009/01/12 08:00~20:00 冬季隨潮位變化之序列計算洋流對潮流差異流場觀察可知，隨臺中港潮位之漲、退變化，洋流(通過臺灣海峽受東北季風抵制壓抑的黑潮支流與東部的黑潮)對潮流之影響，當在漲潮期間，由於分別位在臺灣東北部與西南部之近岸，潮流係陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而當退潮期間，潮流相對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，故而在北部近岸，於漲潮期，洋流具優勢，而於退潮期，轉變為洋流與潮流具有相當優勢，甚至是以潮流為優勢；在臺灣西北部近岸，於漲潮期，以潮流具優勢，且具優勢潮流之影響範圍，隨潮位漸增，將漸往中西部近岸移動，而於退潮期，轉變為以洋流具優勢；在臺灣中西部近岸，除了近滿潮期，洋流與潮流具有相當優勢外，其他均以洋流具優勢；在臺灣西南部近岸，洋流與潮流約略具有相當之優勢；在澎湖海域，於漲潮期，洋流具明顯優勢，而於退潮期，洋流與潮流漸漸轉變為具有相當優勢；至於臺灣東部近岸，潮流約略比洋流具有優勢，惟在東部近海，洋流所具有之優勢，明顯因黑潮主流之影響而不隨潮位漲退變化。綜合而言，臺灣四周海域冬季包括季風風力效應之洋流對環島近岸之潮流皆具影響性，其中，對臺灣海峽海域，尤其是鄰近其南、北兩端開口之澎湖四周與新竹以北之近岸潮流優勢海域，影響特別顯著。

其次，就圖 4-67 所示 2009/04/12 08:00~20:00 春季隨潮位變化之序列計算洋流對潮流差異流場觀察可知，隨臺中港潮位之漲、退變化，洋流(通過臺灣海峽的黑潮支流與東部的黑潮)對潮流之影響，當

在漲潮期間，由於分別位在臺灣東北部與西南部之近岸，潮流係陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而當退潮期間，潮流相對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，故而在北部近岸，於漲潮期，同向的洋流與潮流，將使洋流陳現優勢，而於退潮期，逆向交會的洋流與潮流，將轉變為洋流與潮流具有相當優勢，甚至是以潮流為優勢；在臺灣西北部與中西部近岸，由於東北季風對黑潮支流之抵制壓抑作用減低，因而於漲、退潮期，均以洋流具優勢；在臺灣西南部近岸，由於流向臺灣南端之黑潮支流往東徧流，因而洋流對潮流之影響減弱，故漲潮期以潮流略具優勢而在退潮期陳現兩者相當之優勢；在澎湖海域，於漲潮期，同向的洋流與潮流，益增洋流之優勢，而於退潮期，反向交會的洋流與潮流，將使潮流陳現優勢；至於臺灣東部近岸，由於黑潮影響尚微弱，故潮流約略具有優勢，惟在東部近海，洋流所具有之優勢，明顯因黑潮主流之存在而不隨潮位漲退變化。綜合而言，臺灣四周海域春季之洋流對環島近岸之潮流仍皆具影響性，其中，對臺灣海峽海域，尤其是鄰近其南、北兩端開口之澎湖四周與新竹以北之近岸潮流優勢海域，影響也格外明顯。

接著，就圖 4-68 所示 2009/07/09 08:00~20:00 夏季隨潮位變化之序列計算洋流對潮流差異流場觀察可知，隨臺中港潮位之漲、退變化，盛行的洋流(通過臺灣海峽的黑潮支流與東部的黑潮)對潮流之影響，僅管在漲潮期間，臺灣東北部與西南部之近岸潮流陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而在退潮期間，潮流相對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，但因通過臺灣海峽的黑潮支流較強盛，故而在臺灣環島近岸，於漲潮期，均以洋流較具優勢；而於退潮期間，在北部近岸，逆向交會的洋流與潮流，最後將以潮流略具優勢；在臺灣西北部與中西部近岸，仍因臺灣海峽海域內盛行黑潮支流之影響，故均以洋流具優勢；在臺灣西南部近岸，由於流向臺灣南端之黑潮支流伴隨同向退潮流之共同影響，故陳現以洋流較具優勢；在澎湖海域，由於南流向強勁潮流與

北流向盛行黑潮支流交會，結果以潮流陳現優勢；至於臺灣東部近岸，由於黑潮影響依然微弱，故潮流約略具有優勢，惟在東部近海，因黑潮主流往東部海岸靠近，故仍以洋流具優勢。綜合而言，臺灣四周海域夏季之洋流對環島近岸之潮流皆具明顯之影響。

最後，就圖 4-69 所示 2009/10/05 08:00~20:00 秋季隨潮位變化之序列計算洋流對潮流差異流場觀察可知，隨臺中港潮位之漲、退變化，洋流(通過臺灣海峽的黑潮支流與東部的黑潮)對潮流之影響，當在漲潮期間，由於臺灣東北部與西南部之近岸，潮流係陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而在退潮期間，潮流相對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，故而在北部近岸，於漲退潮期，洋流與潮流之影響，將因同流向與交會流向之轉換，而使洋流先具優勢，隨後於退潮期間再轉換成以潮流為優勢；在臺灣西北部與中西部近岸，由於以北流向為主的黑潮支流已逐漸因海溫降低及季風作用而減弱，因而於漲、退潮期，潮流略具有較強之優勢；在臺灣西南部近岸，由於黑潮支流徧弱，加以潮流流速原本不強之情況下，洋流對潮流之影響，於漲潮期間，兩者約略具有相當之優勢，而在退潮期間，轉變為以潮流稍具優勢；在澎湖海域，於漲潮期間，因同向的洋流與潮流作用而使洋流之優勢益加強化，而於退潮期，反向交會的洋流與潮流，將使潮流反而陳現優勢；至於臺灣東部近岸，由於黑潮影響依舊難及，故潮流仍具有其優勢，惟在東部近海，因黑潮主流之存在，不論潮位之漲退變化，洋流仍具有明顯之優勢。綜合而言，臺灣四周海域秋季之洋流對環島近岸之潮流亦皆具影響性，其中，對臺灣海峽海域，尤其是鄰近其南、北兩端開口之澎湖四周與新竹以北之近岸潮流優勢海域，影響仍格外明顯。

針對臺灣近岸海域，透過四季綜合洋流與潮流效應之海流對漲退潮期間潮流之逐時序差異流場評估，可確認臺灣海峽內四季之洋流(黑潮支流)，明顯會對臺灣西部近岸的潮流流場造成影響，影響之輕重程度，隨季節性與臺中港潮位之逐時序漲退變化而有所不同；至於在臺灣東部近岸，黑潮對潮流流場所造成之影響仍甚輕微且有限。

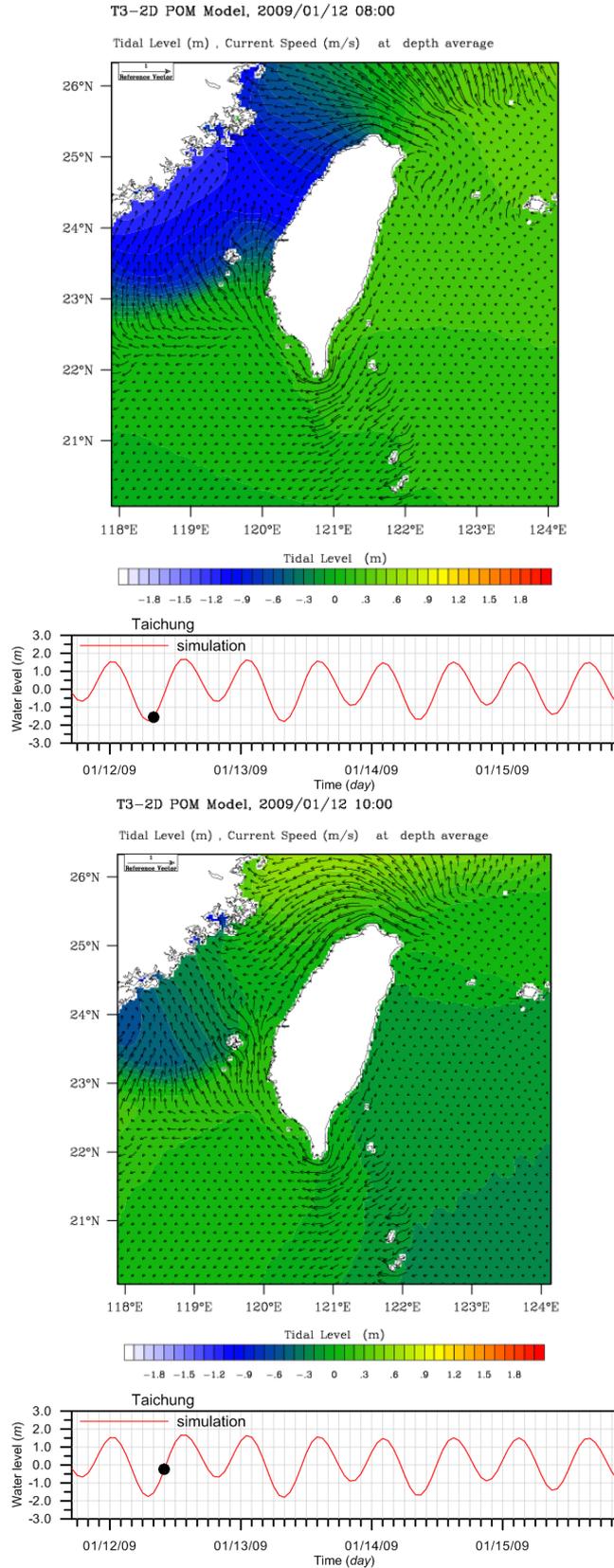


圖 4-43 臺灣四周海域(T3)冬季潮流之模擬計算流場 2009/01/12
08:00(上)；10:00(下) (參考潮位：臺中港)

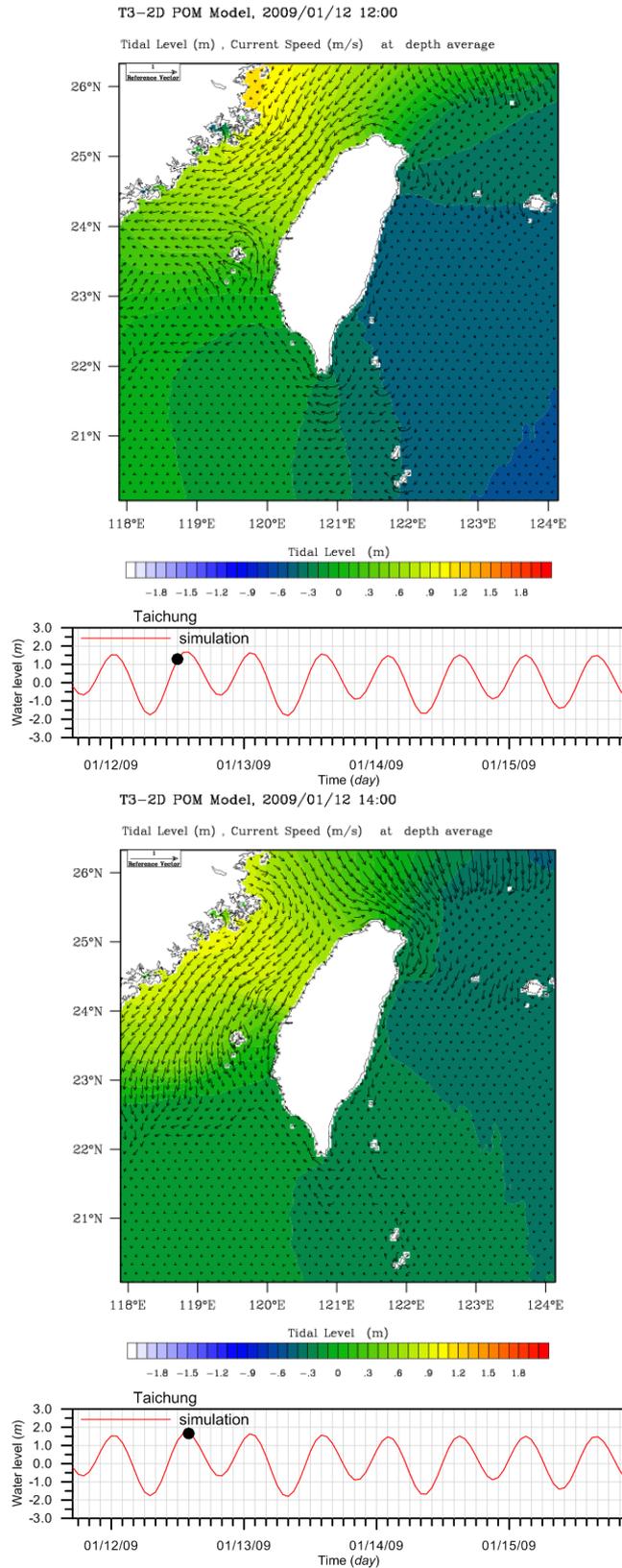


圖 4-43(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流之模擬計算流場 2009/01/12 12:00(上)；14:00(下) (參考潮位：臺中港)

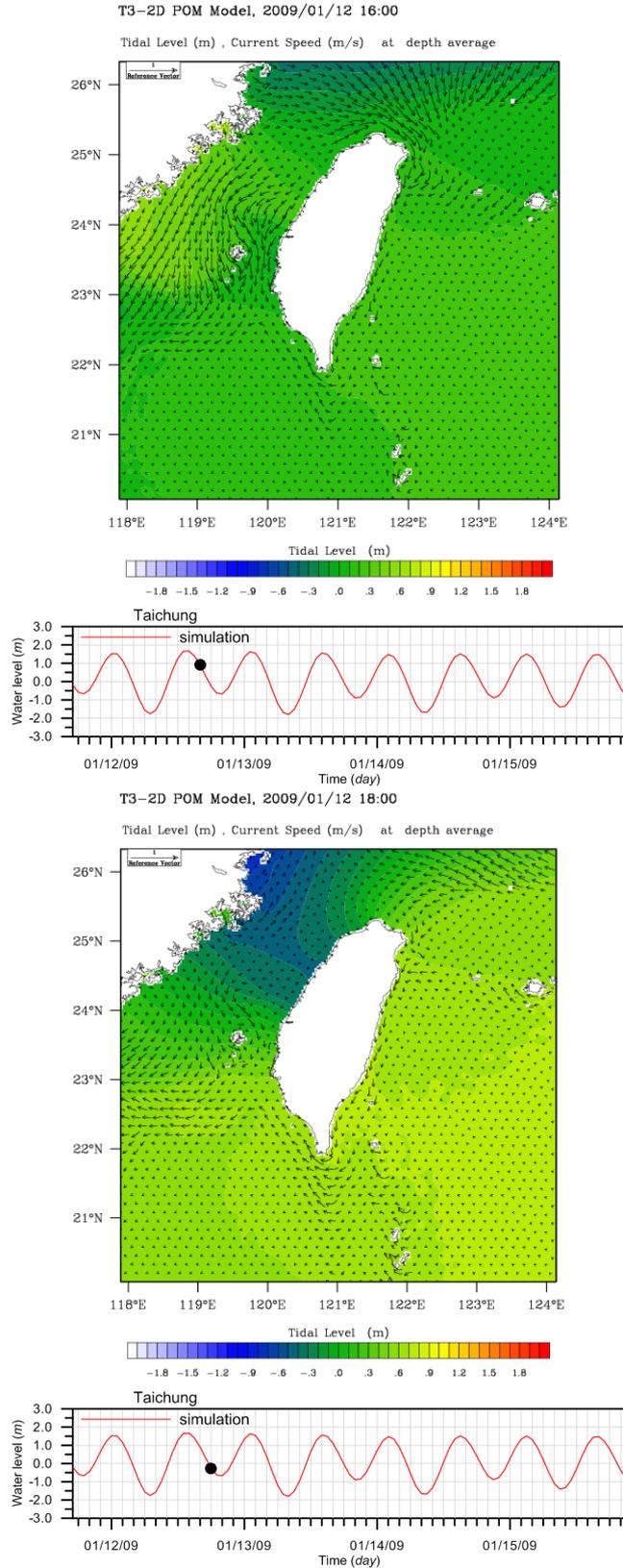


圖 4-43(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流之模擬計算流場 2009/01/12 16:00(上)；18:00(下) (參考潮位：臺中港)

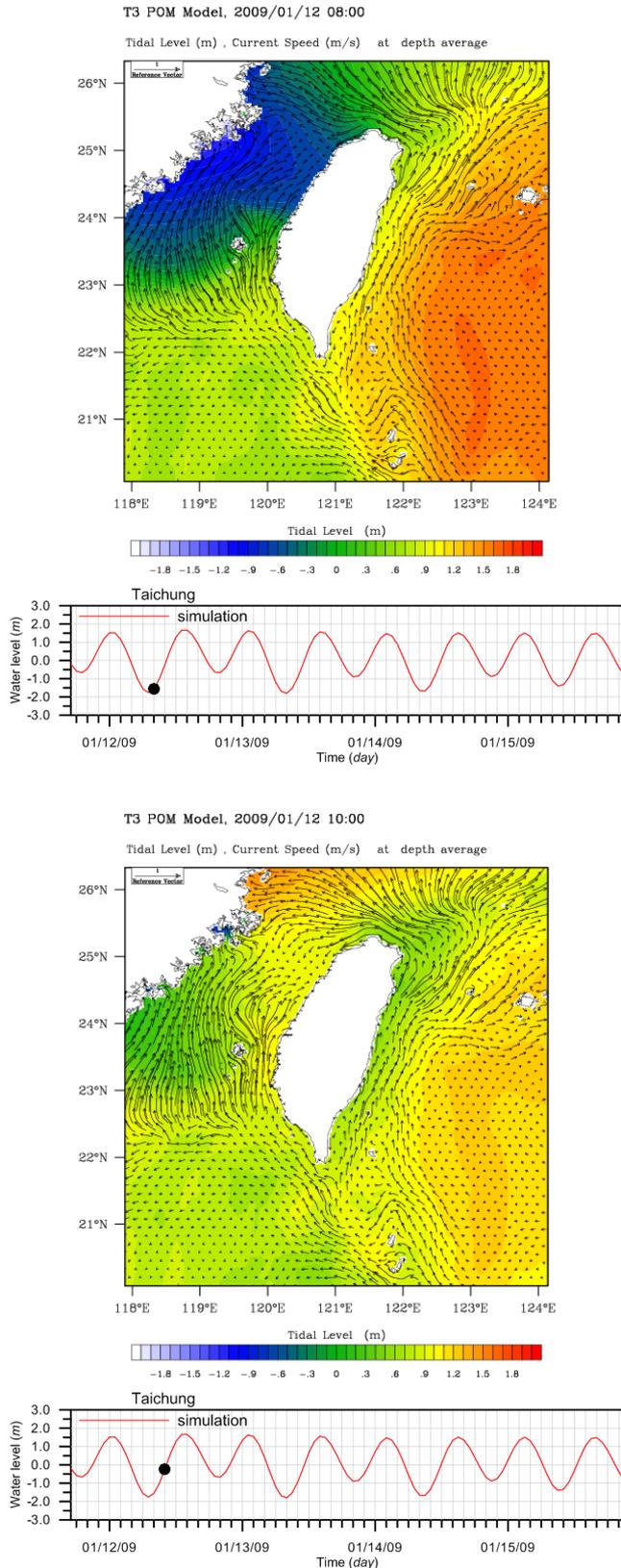


圖 4-44 臺灣四周海域(T3)冬季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/01/12 08:00(上)；10:00(下)(參考潮位：臺中港)

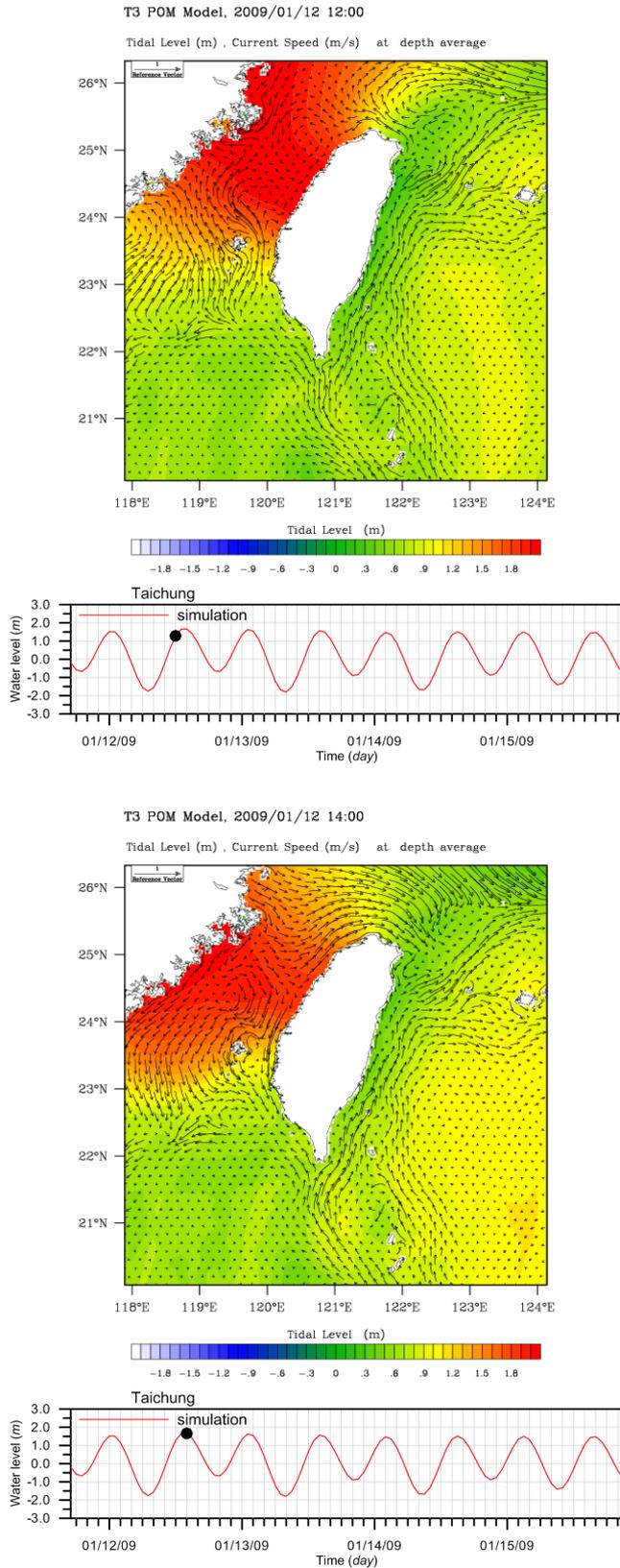


圖 4-44(續) 臺灣四周海域(T3)冬季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海
流流場 2009/01/12 12:00(上)；14:00(下) (參考潮位：臺中港)

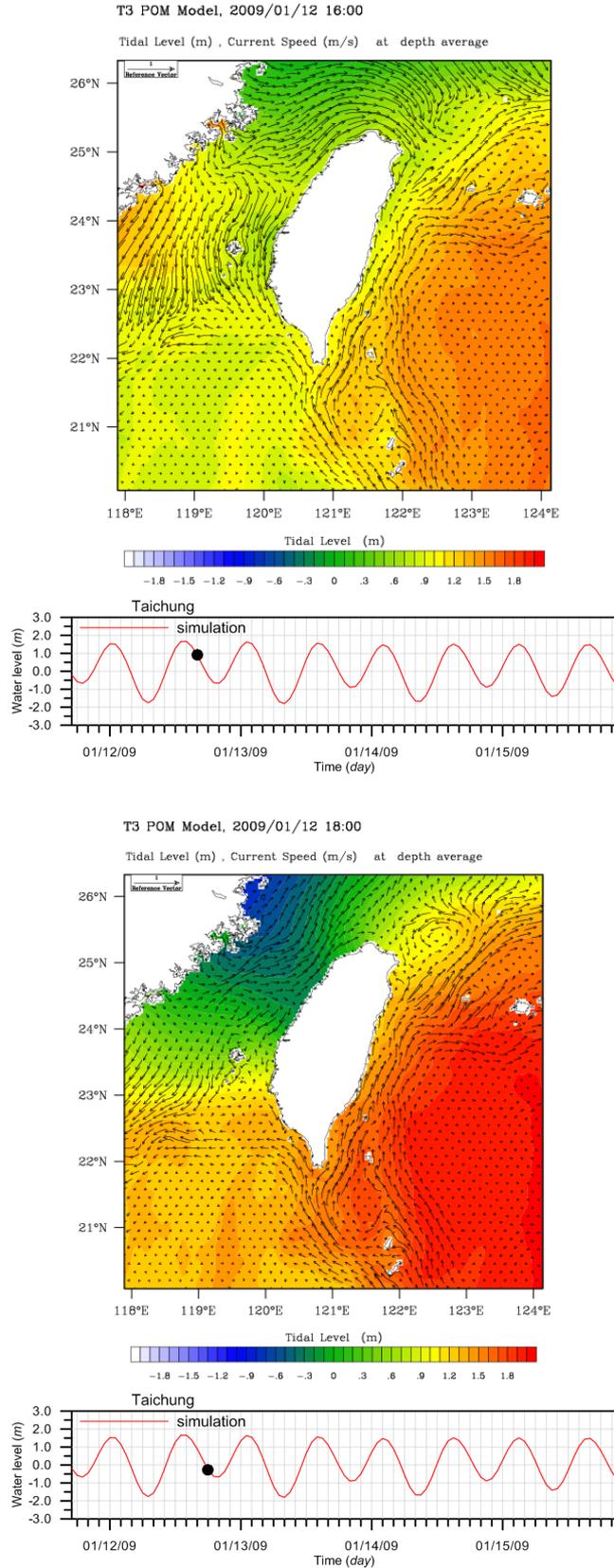


圖 4-44(續) 臺灣四周海域(T3)冬季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/01/12 16:00(上)；18:00(下) (參考潮位：臺中港)

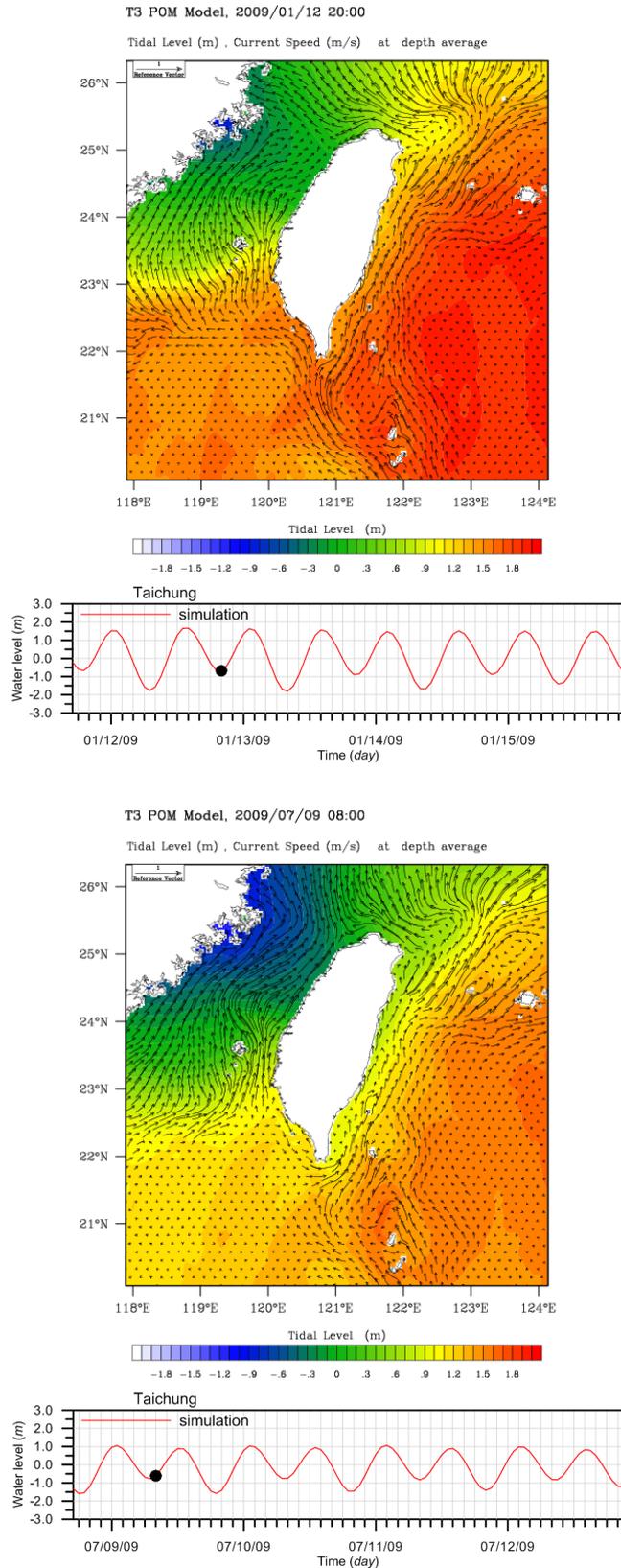


圖 4-45 臺灣四周海域(T3)冬、夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/01/12 20:00(上)；2009/07/09 08:00(下) (參考潮位：臺中港)

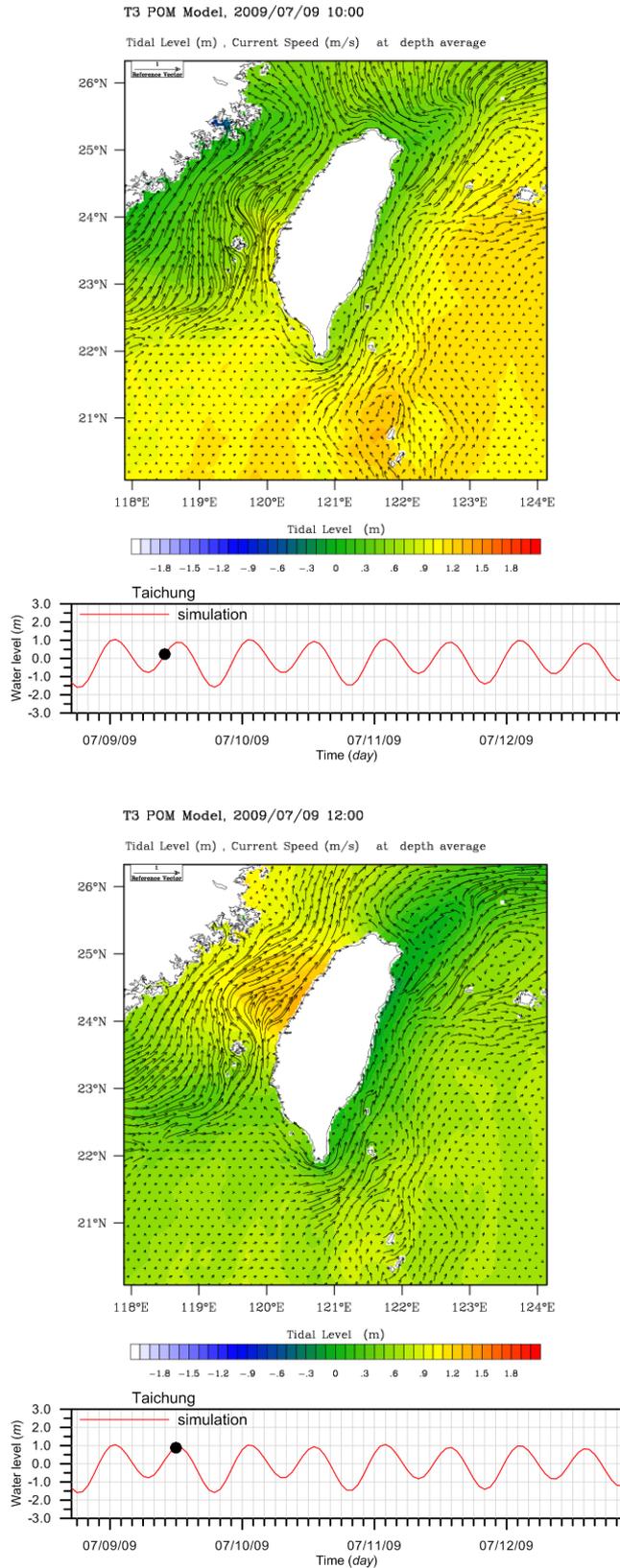


圖 4-45(續) 臺灣四周海域(T3)夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/07/09 10:00(上)；12:00(下) (參考潮位：臺中港)

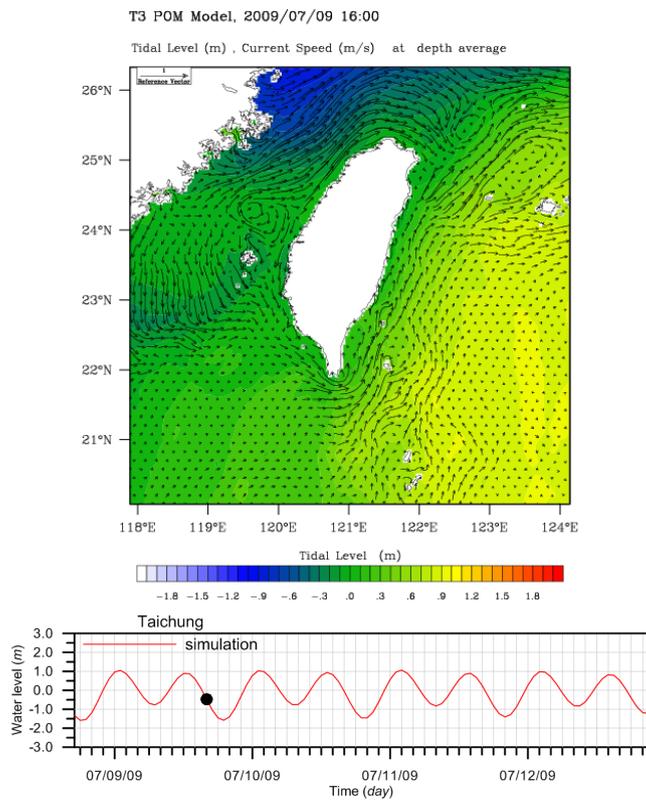
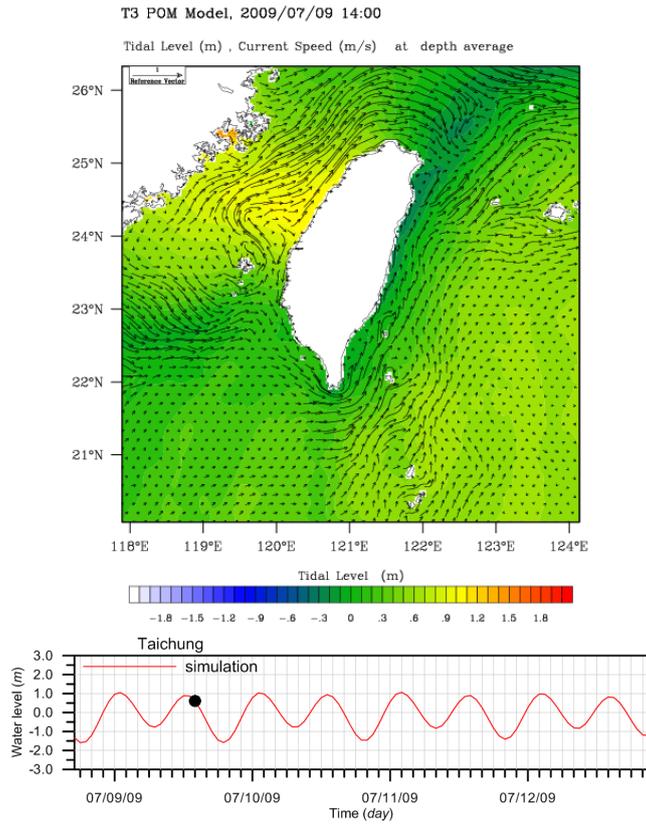


圖 4-45(續) 臺灣四周海域(T3)夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/07/09 14:00(上)；16:00(下) (參考潮位：臺中港)

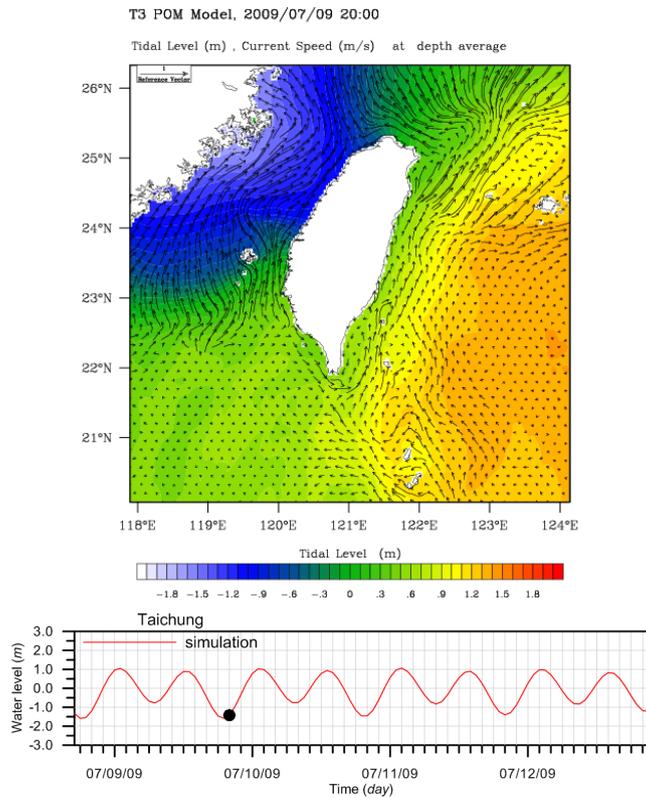
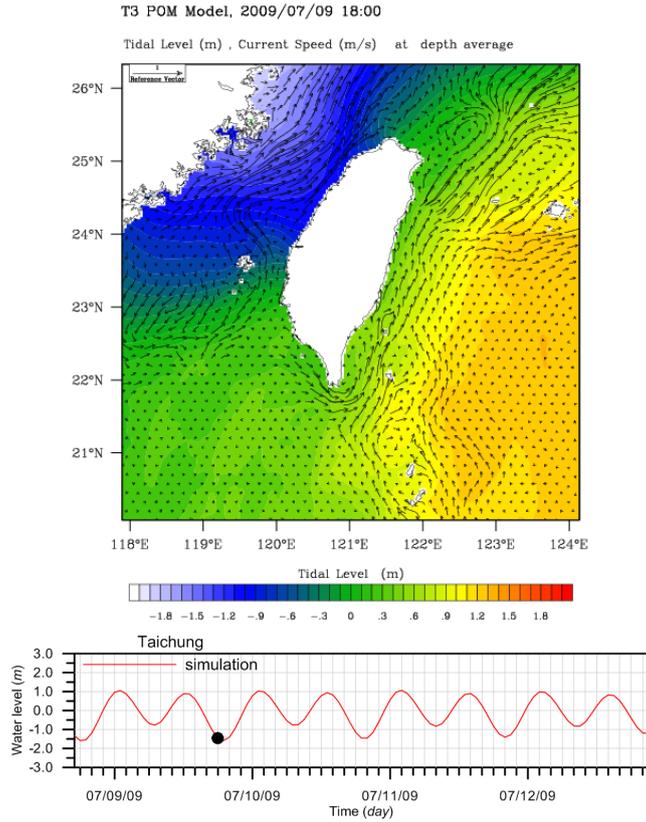


圖 4-45(續) 臺灣四周海域(T3)夏季綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流流場 2009/07/09 18:00(上)；20:00(下) (參考潮位：臺中港)

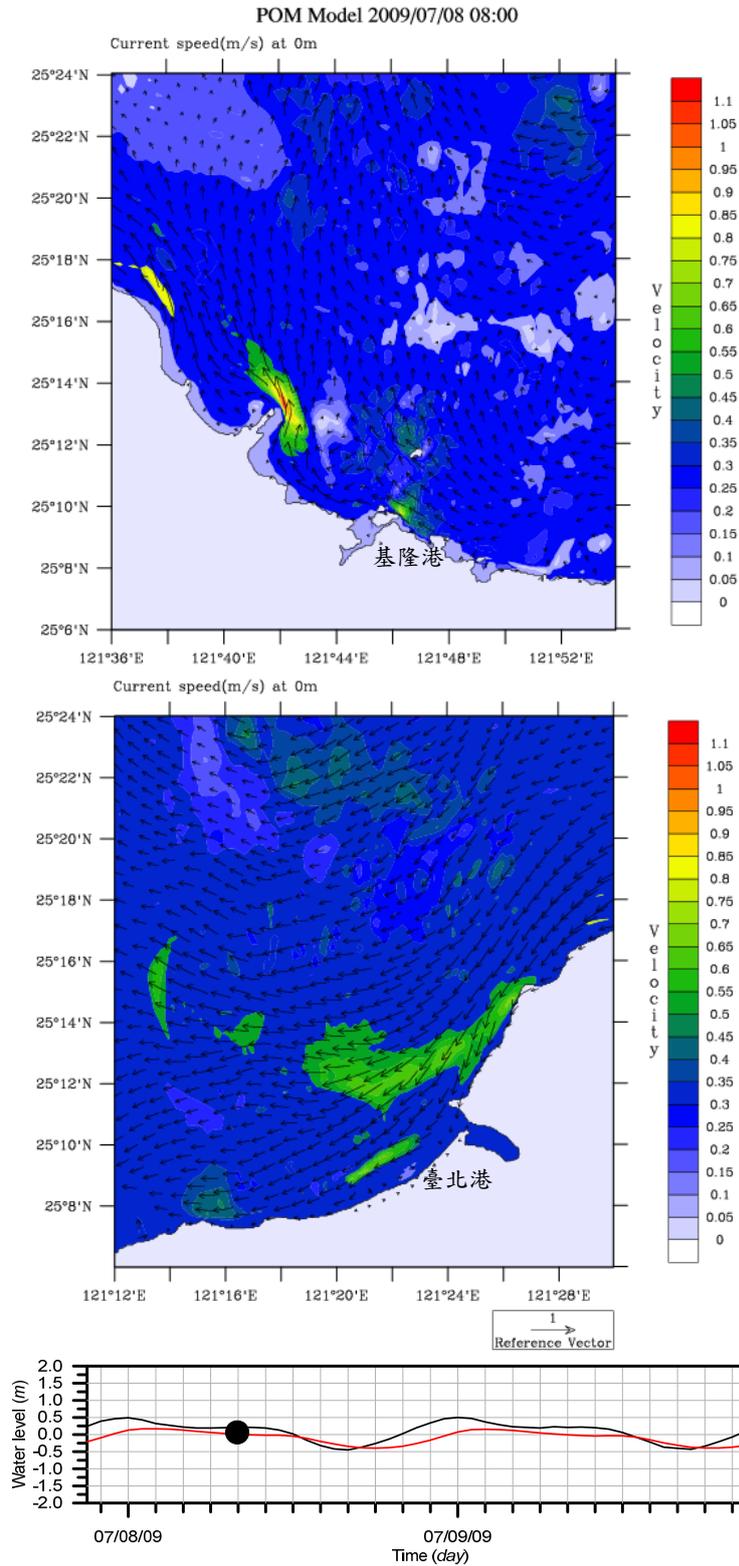


圖 4-46 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 08:00

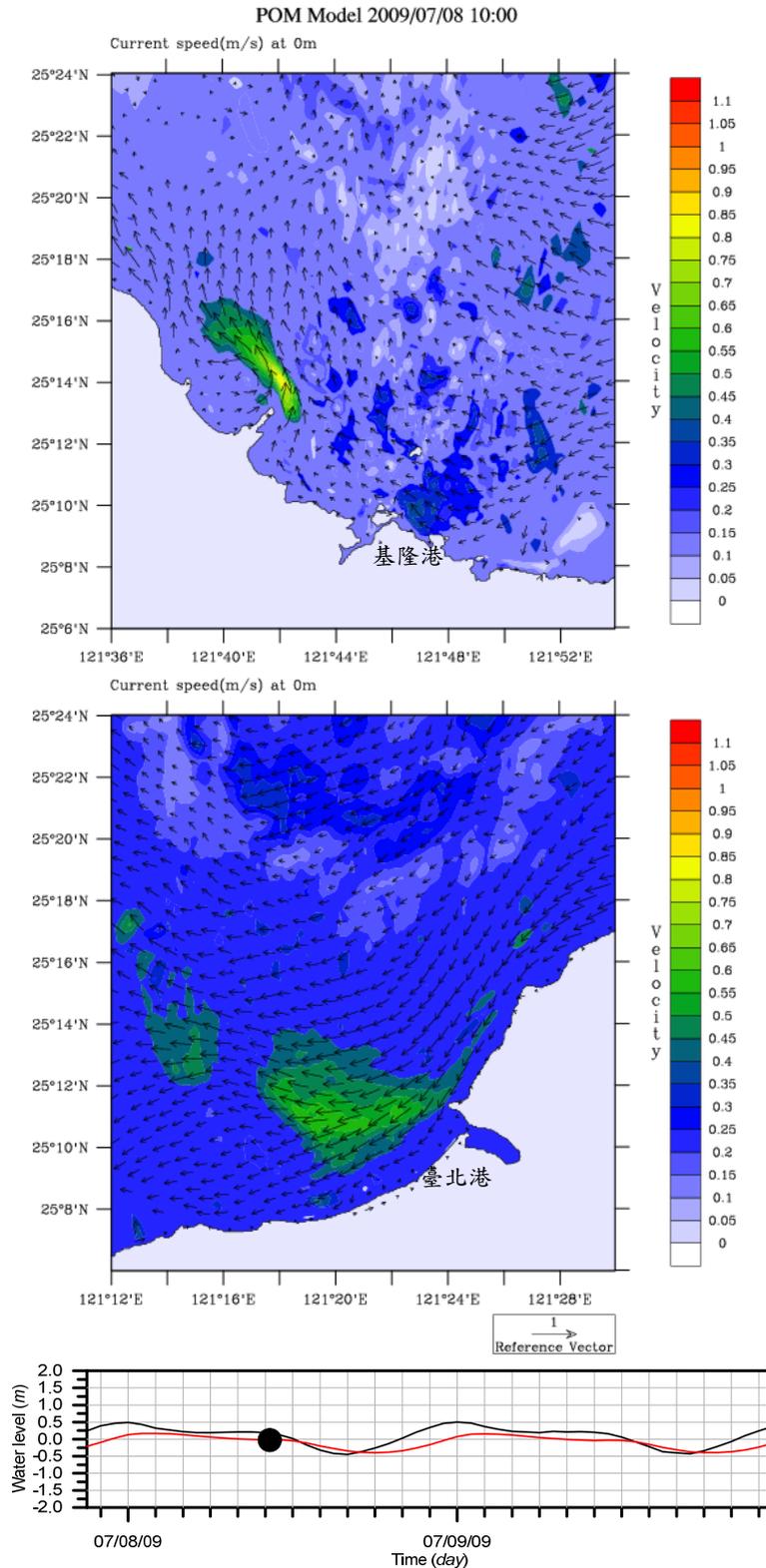


圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 10:00

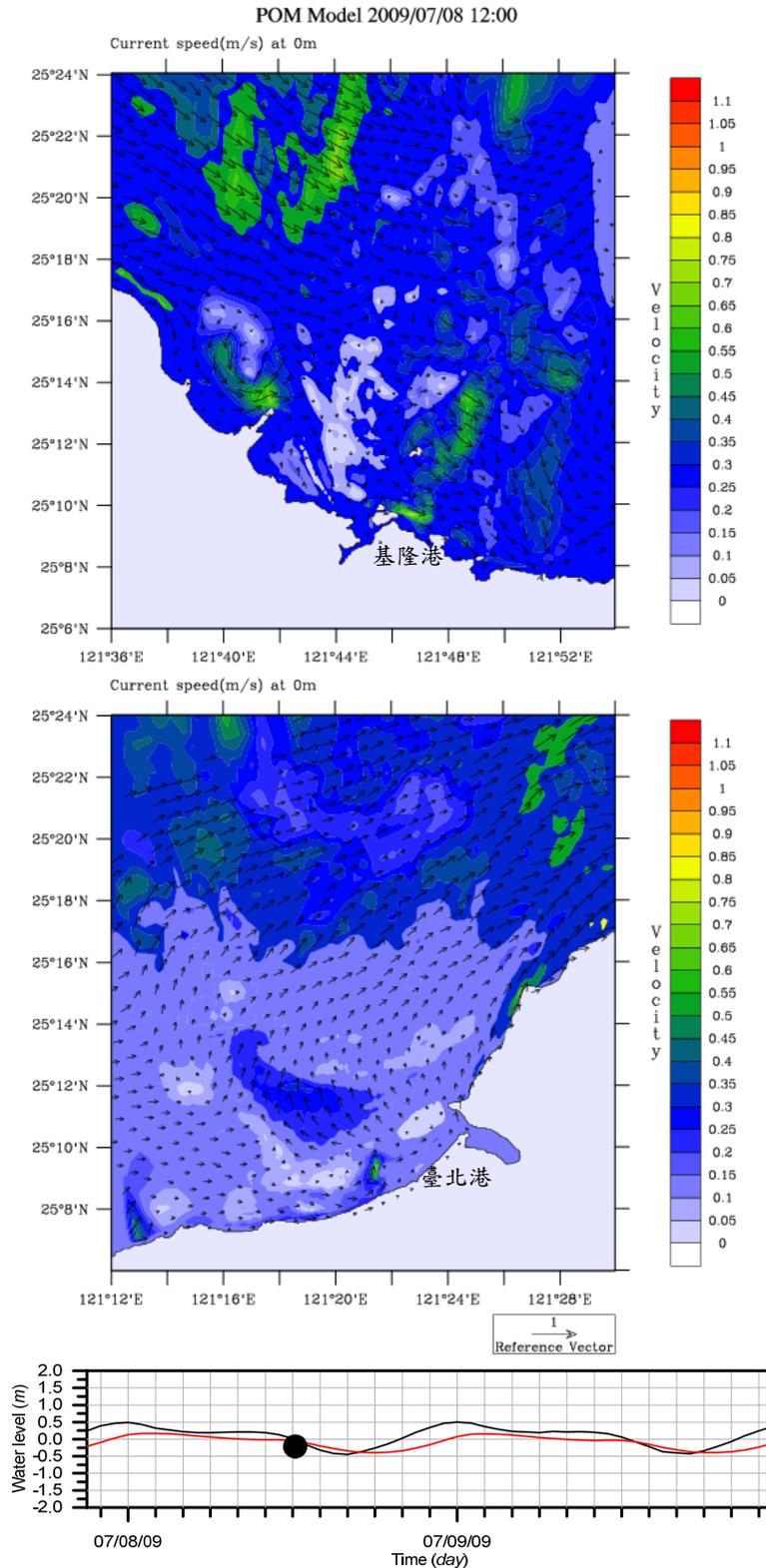


圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 12:00

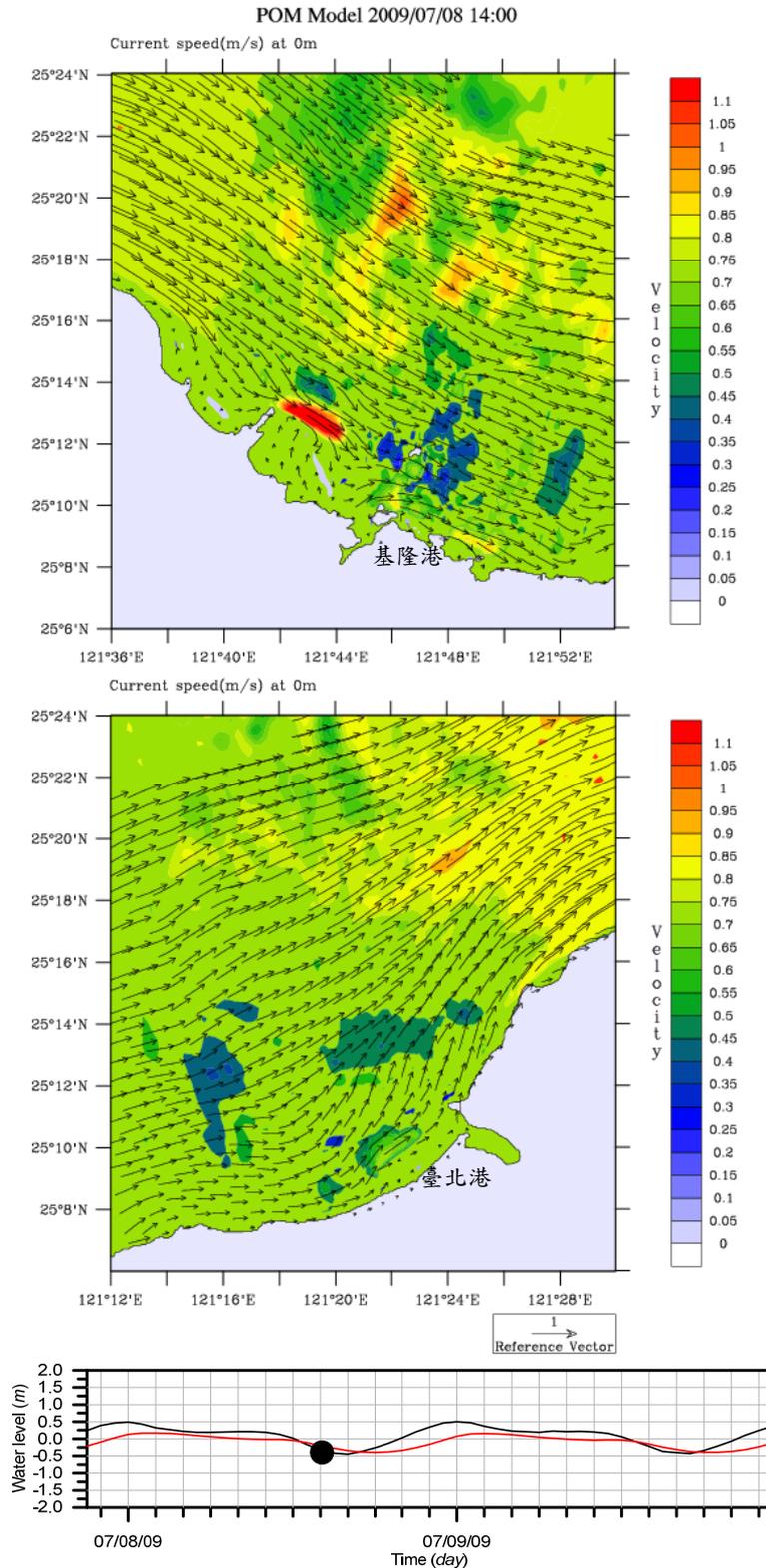


圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 14:00

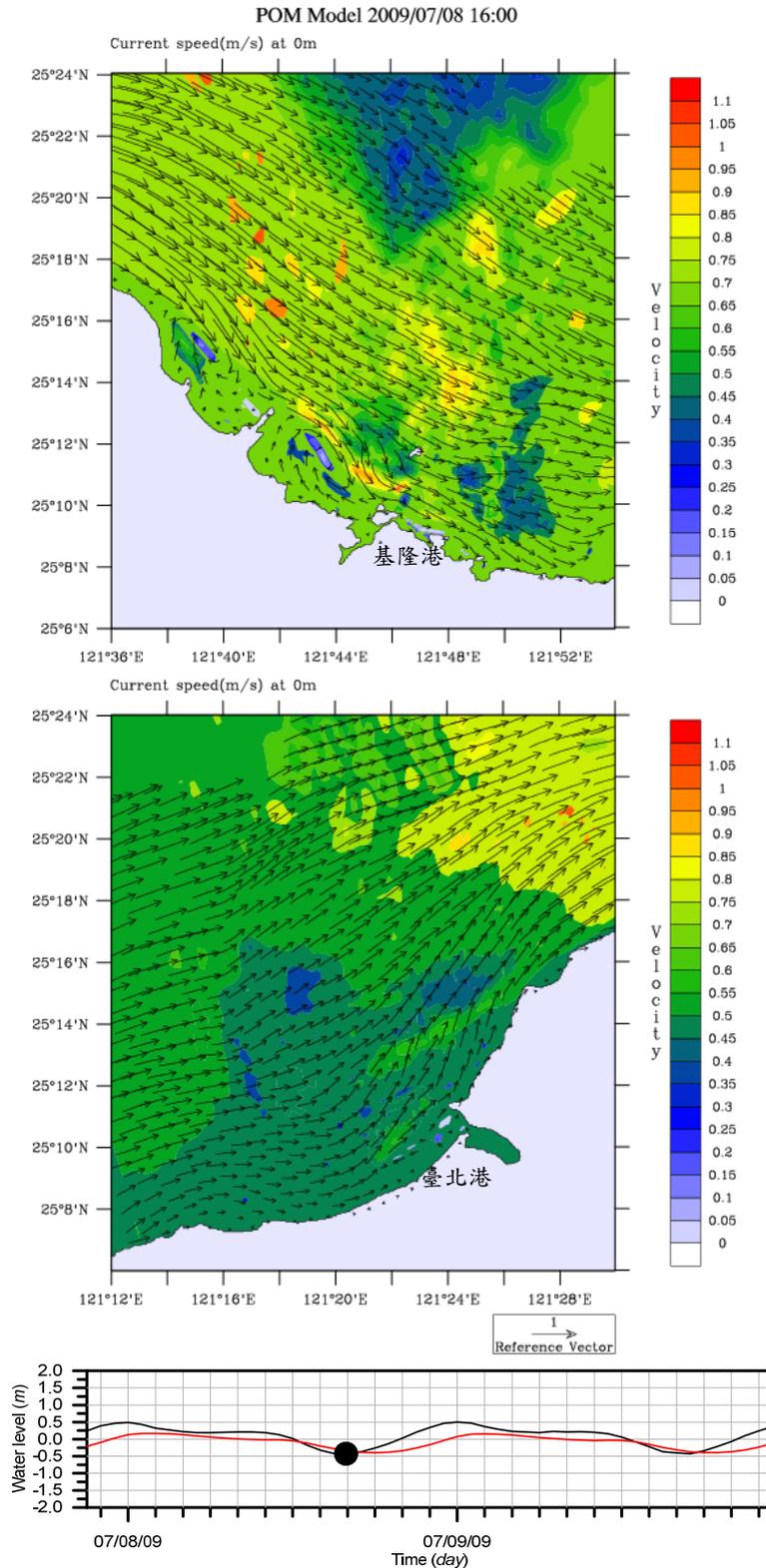


圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 16:00

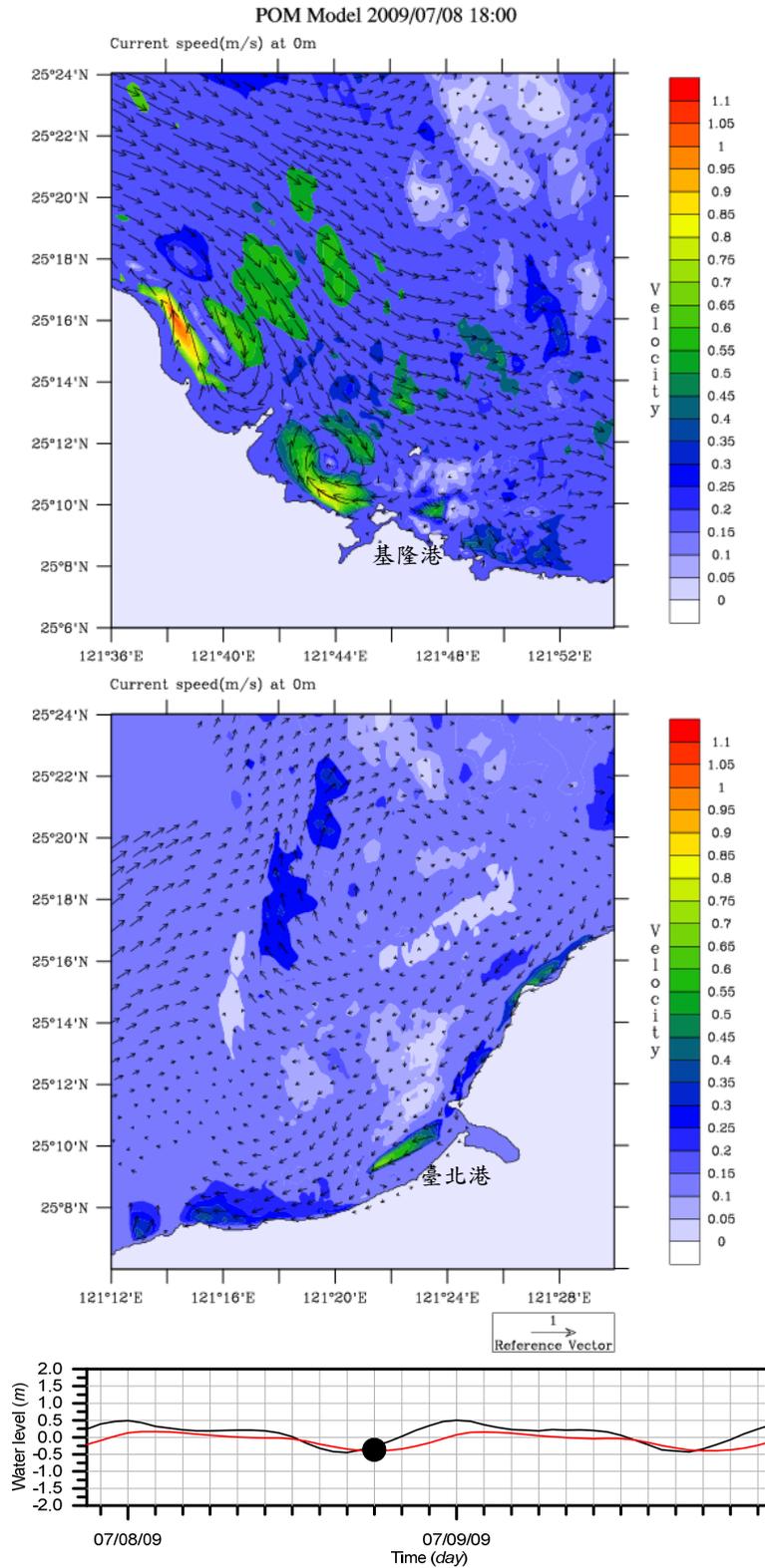


圖 4-46(續) 臺灣北部基隆港(上)與臺北港(中)港口外廓海域(T-NS_N)夏季表層海面之近岸海流流場，參考水位(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/01 18:00

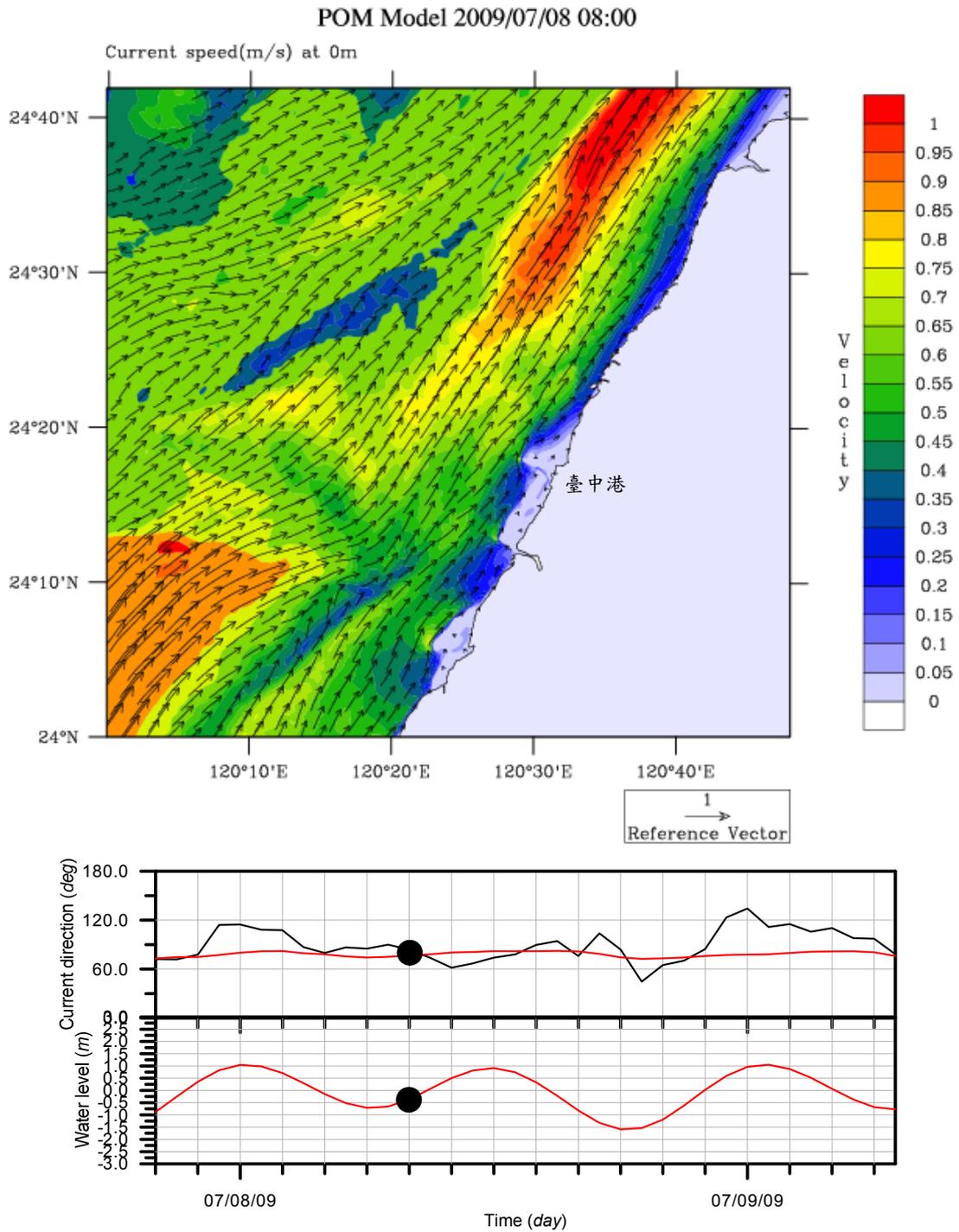


圖 4-47 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 08:00

POM Model 2009/07/08 10:00

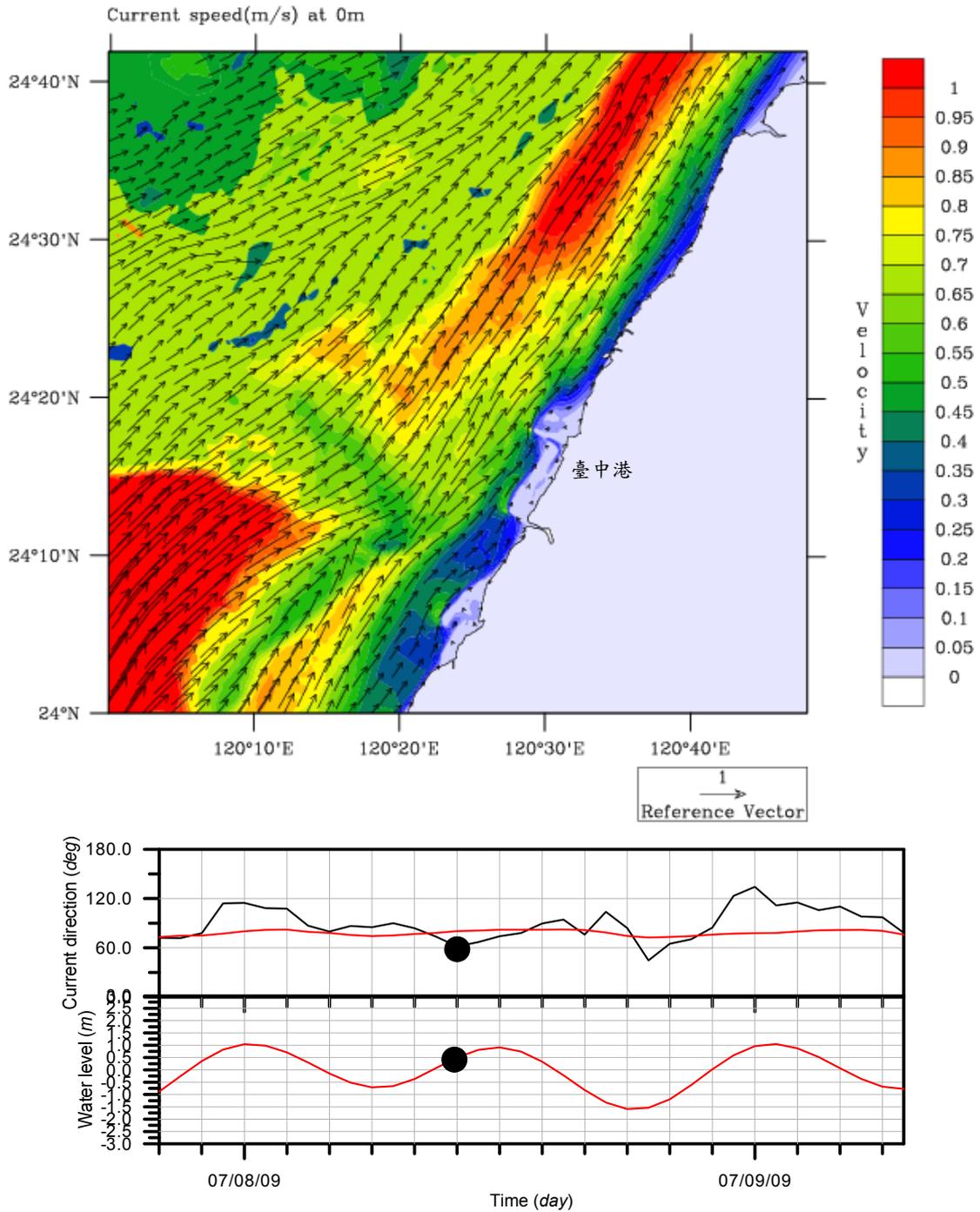


圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 10:00

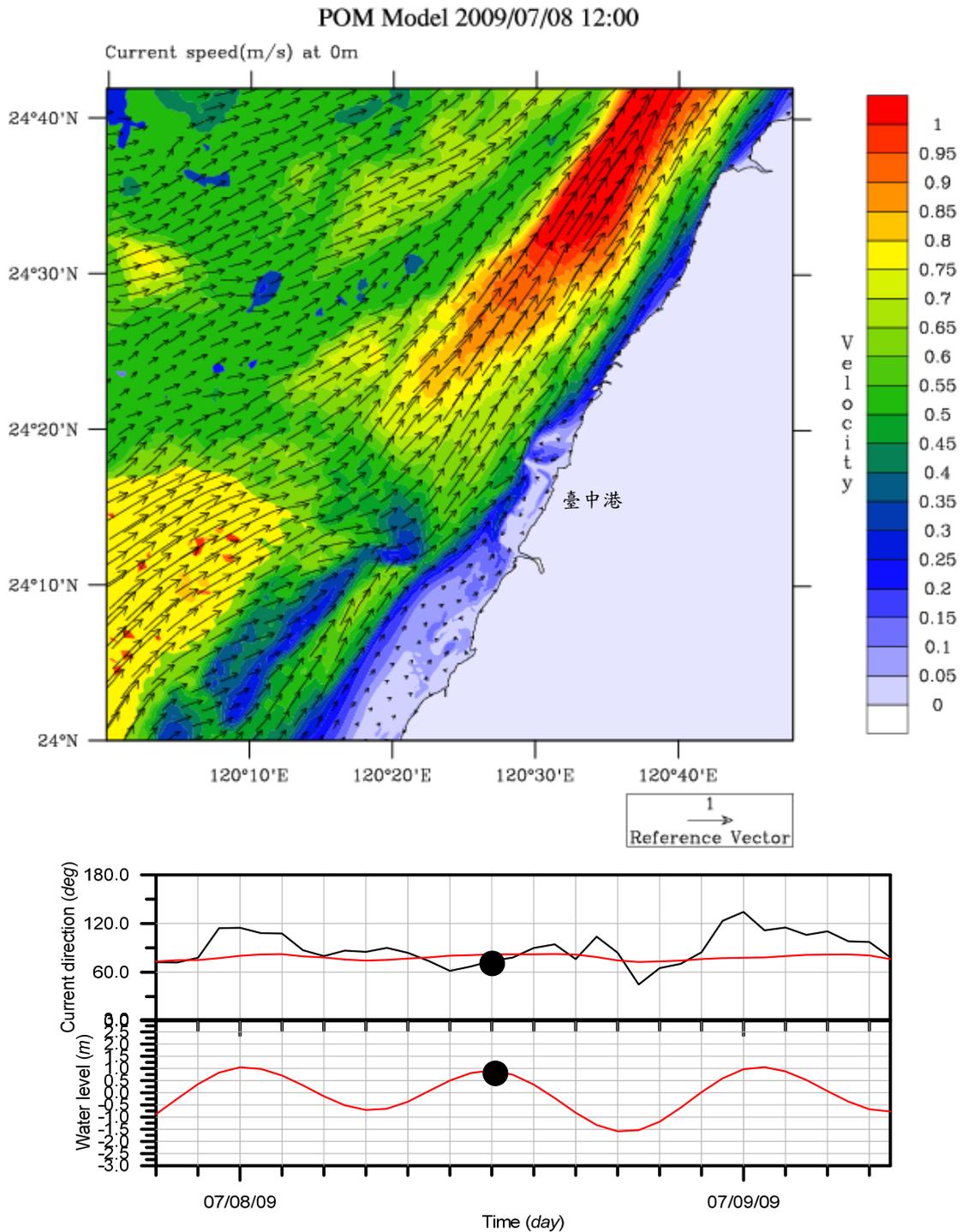


圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 12:00

POM Model 2009/07/08 14:00

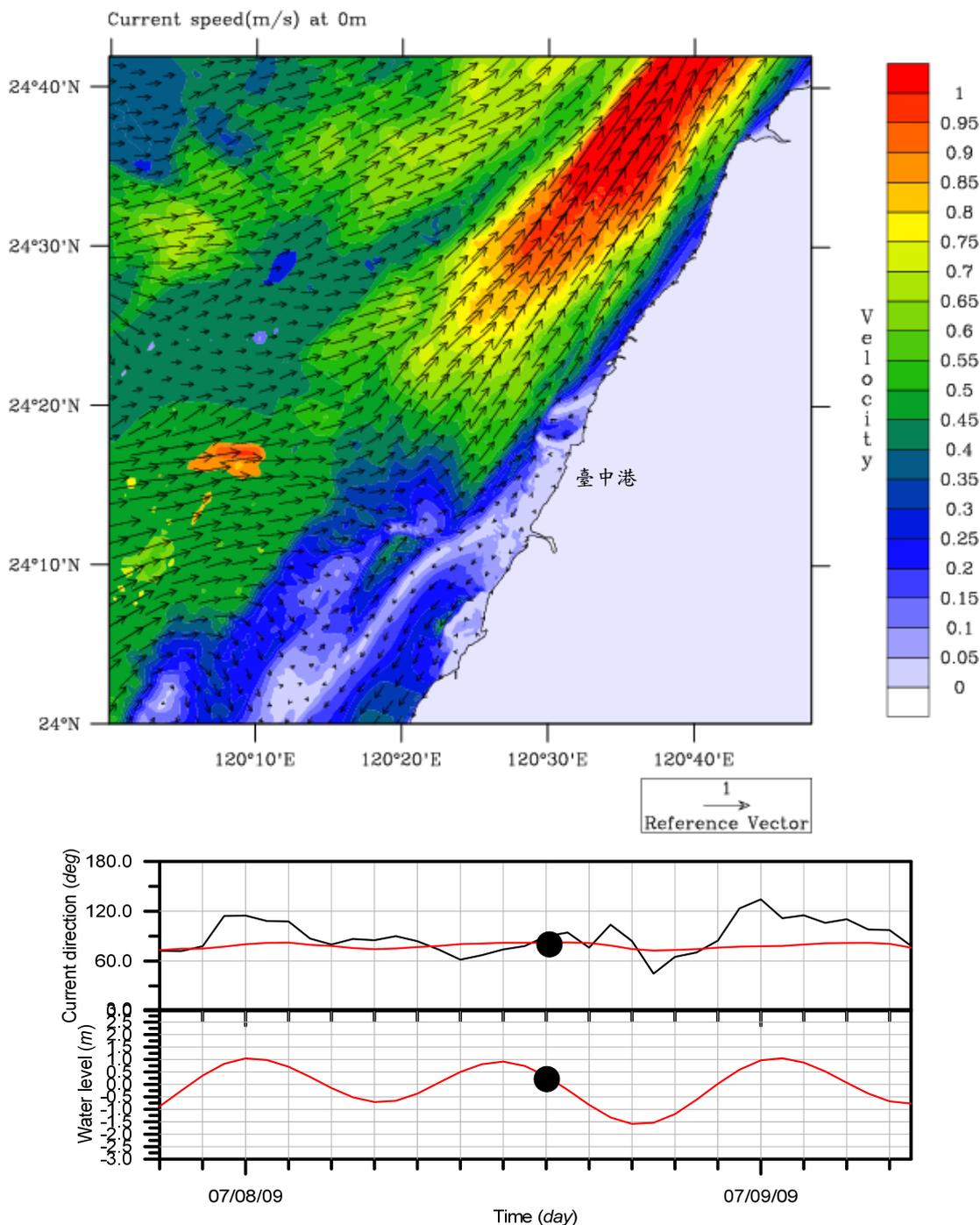


圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 14:00

POM Model 2009/07/08 16:00

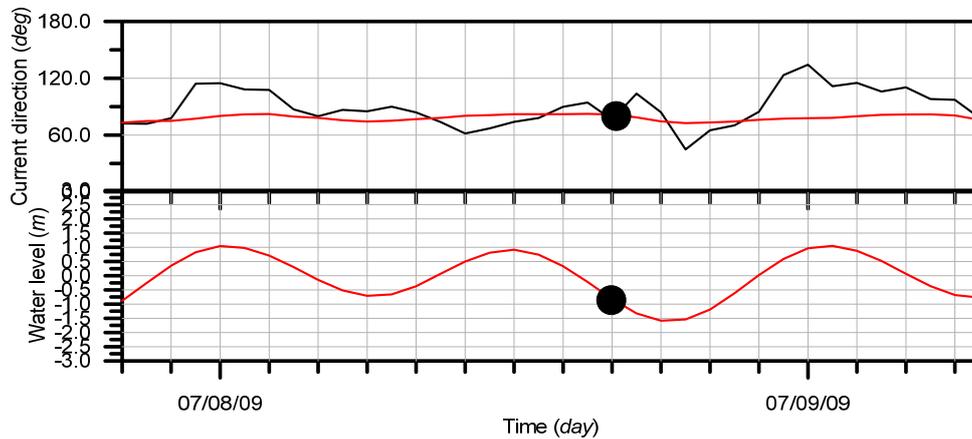
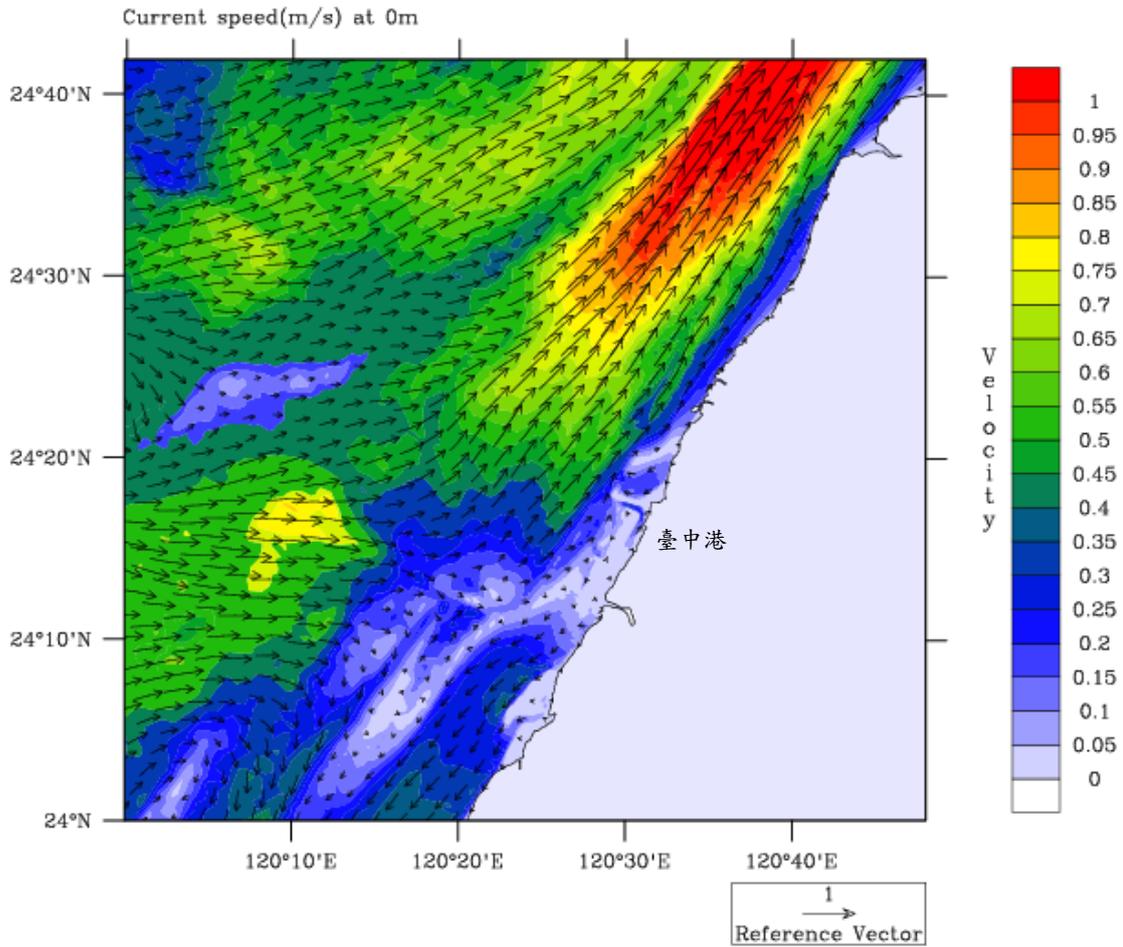


圖 4-47(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 16:00

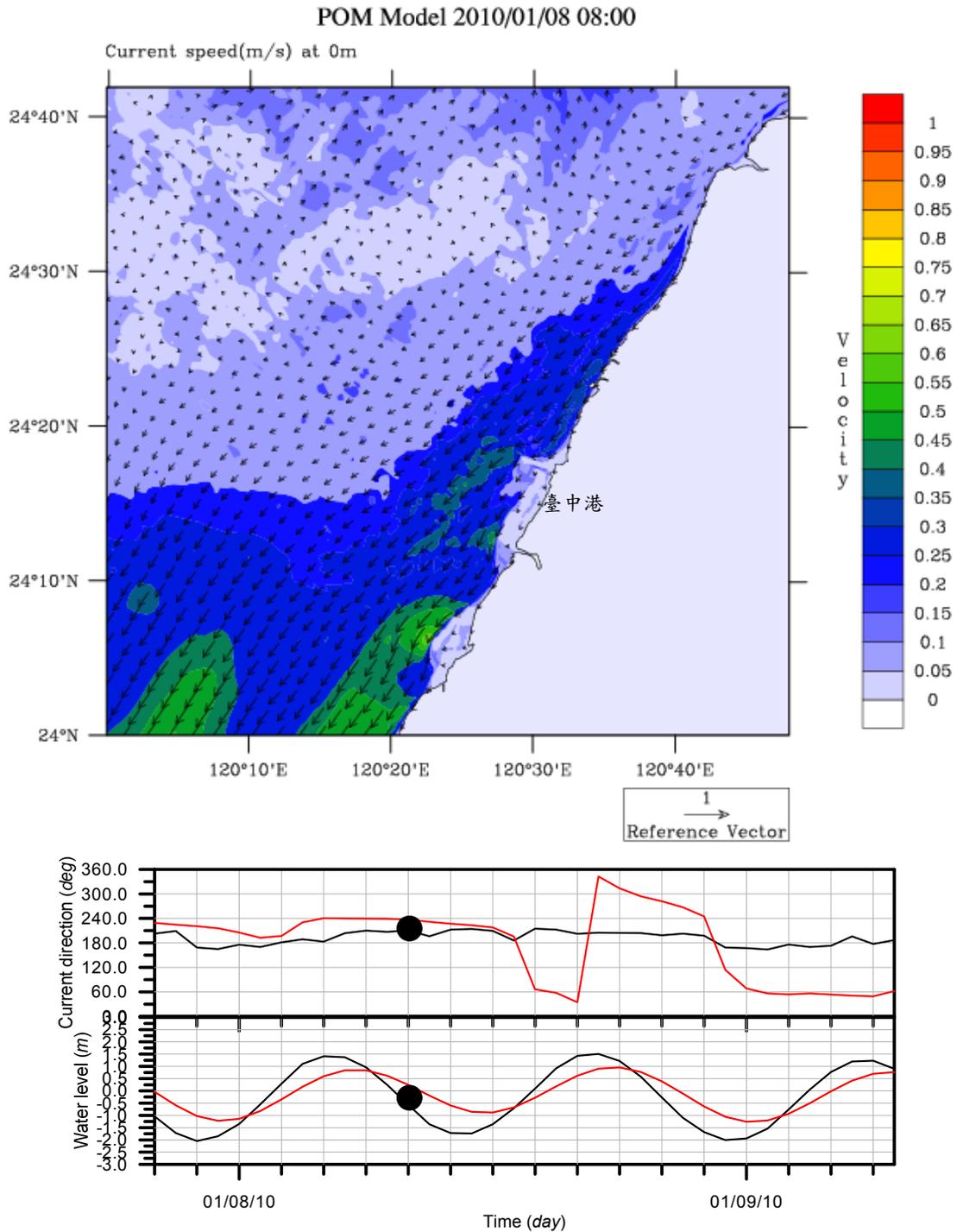


圖 4-48 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 08:00

POM Model 2010/01/08 10:00

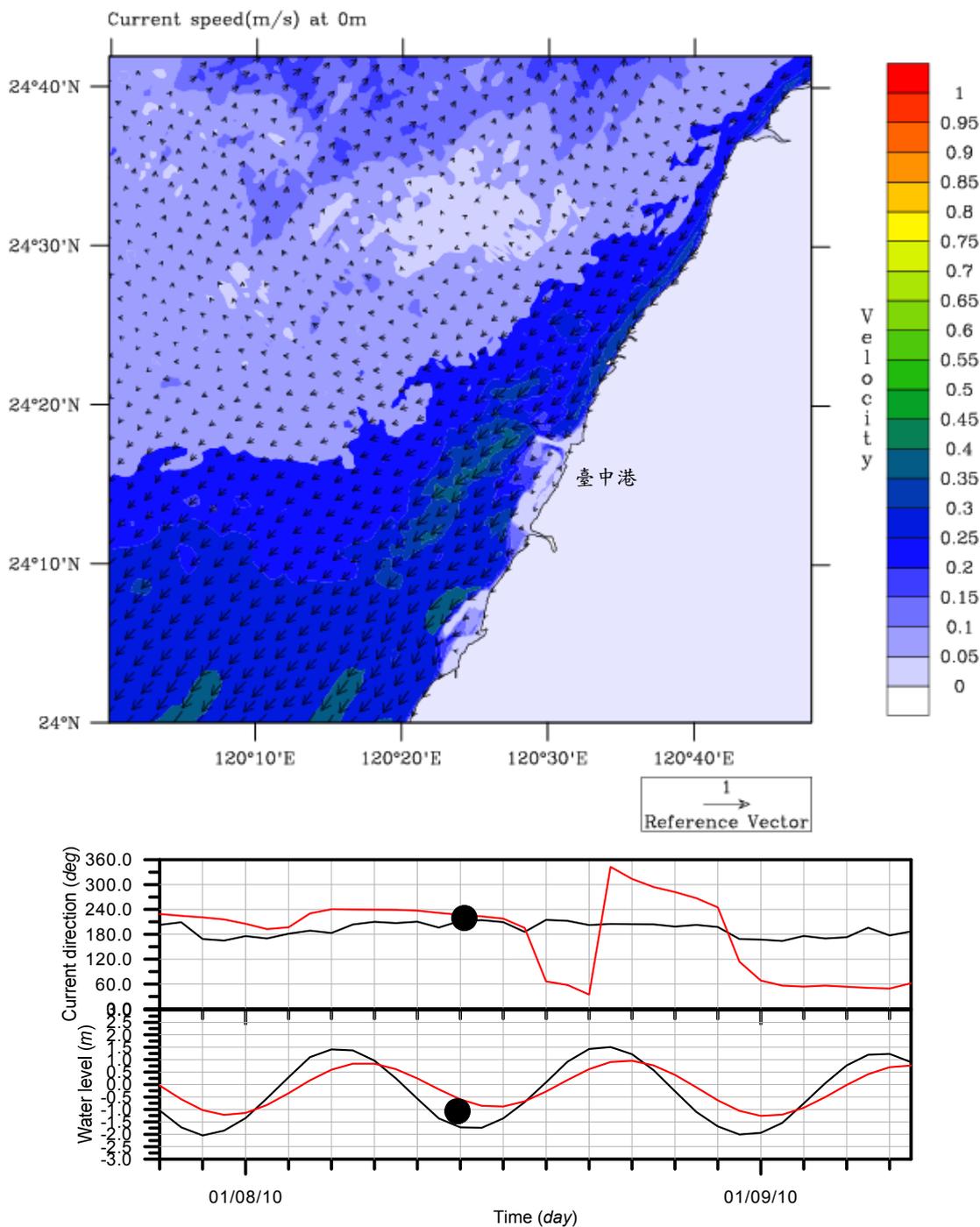


圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 10:00

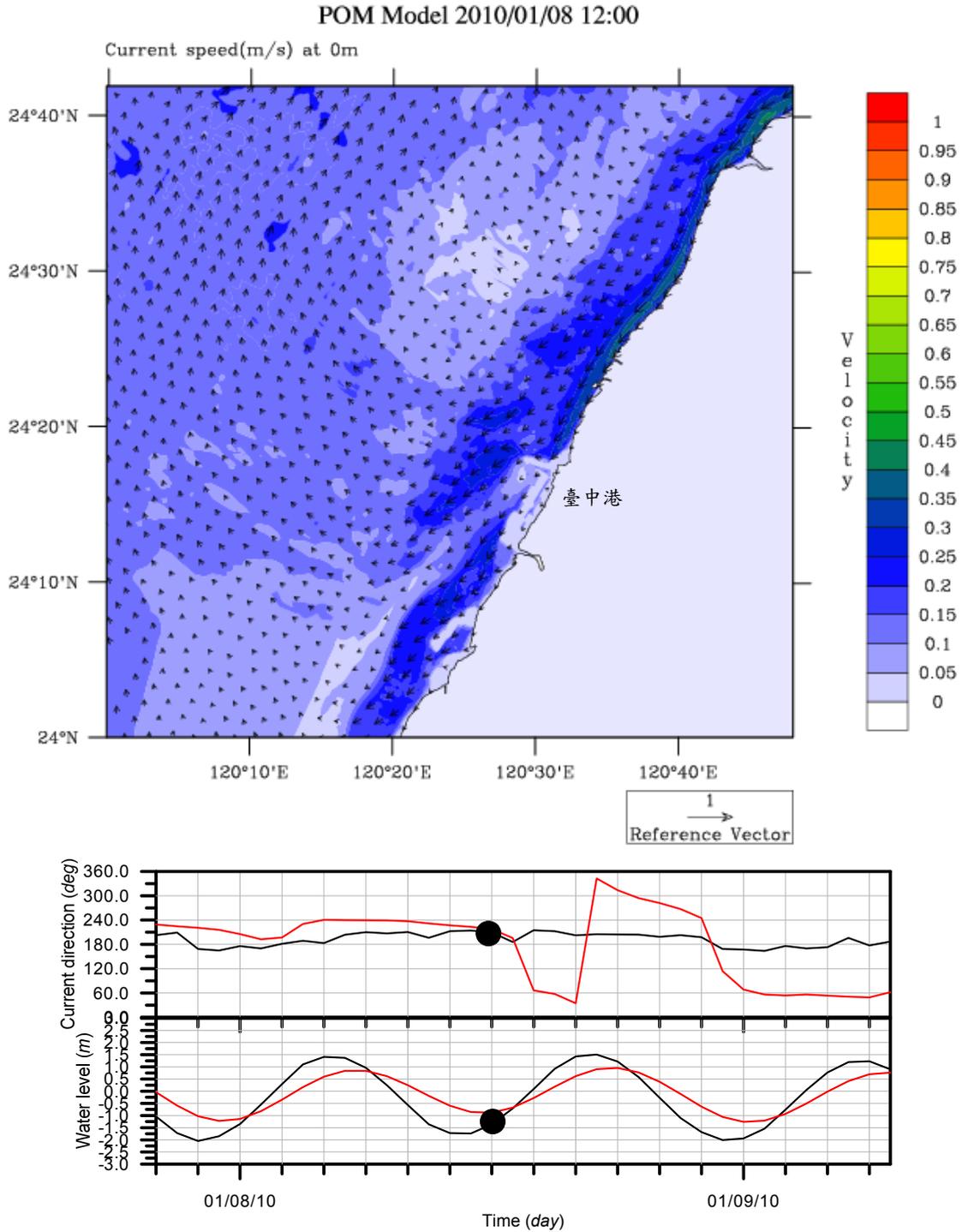


圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 12:00

POM Model 2010/01/08 14:00

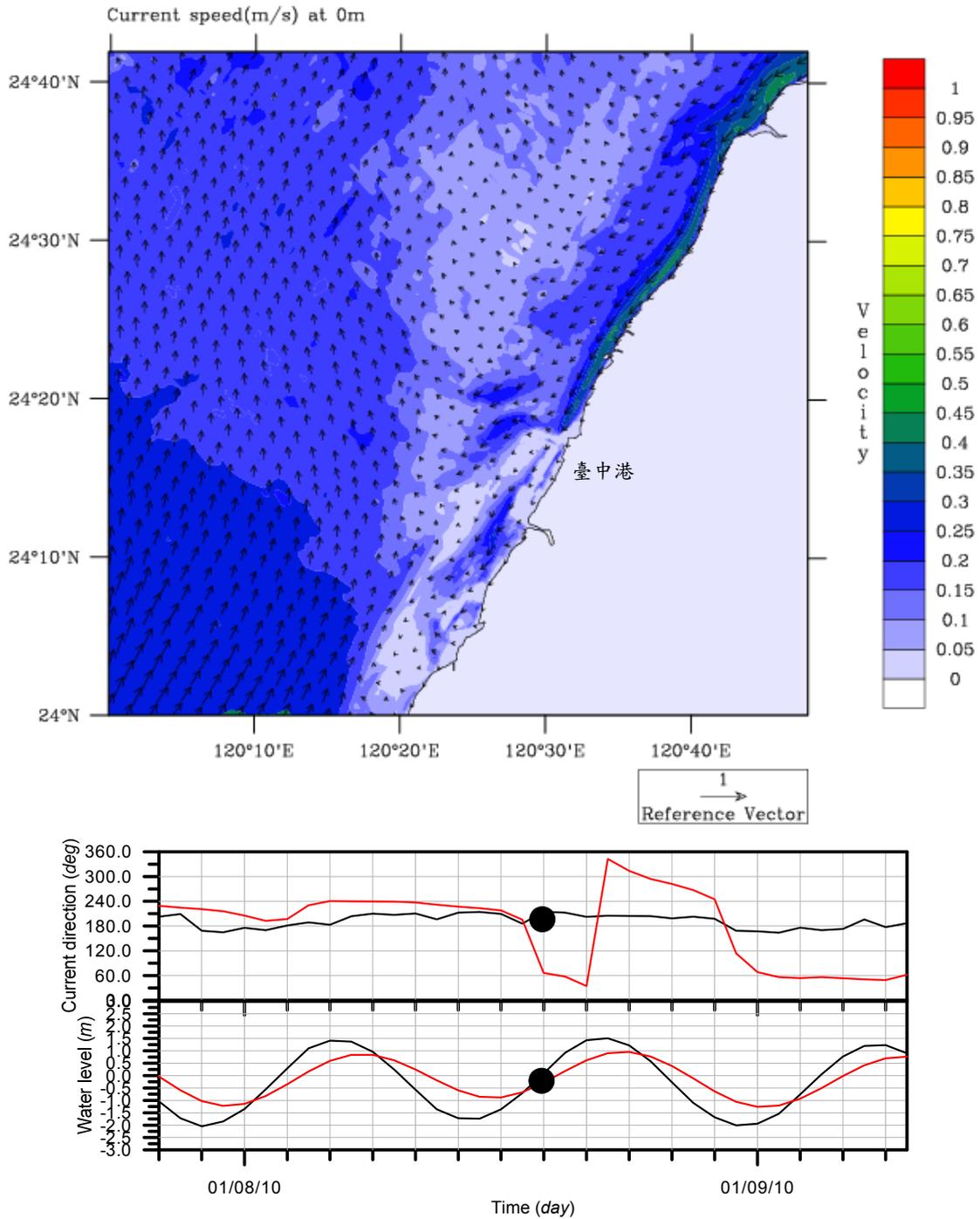


圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 14:00

POM Model 2010/01/08 16:00

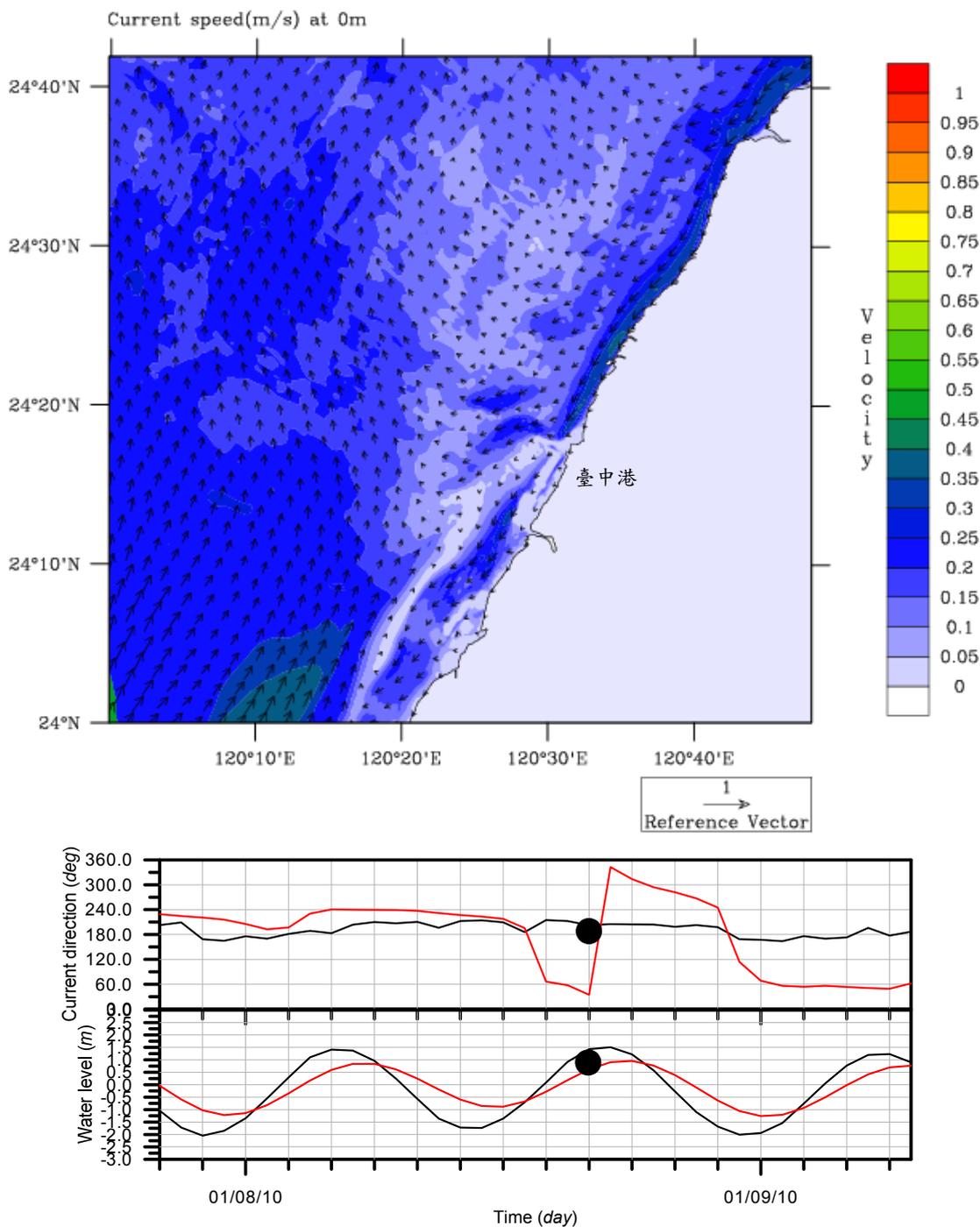


圖 4-48(續) 臺灣西部臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季表層海面之近岸海流流場(上)與參考流向及水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2010/01/08 16:00

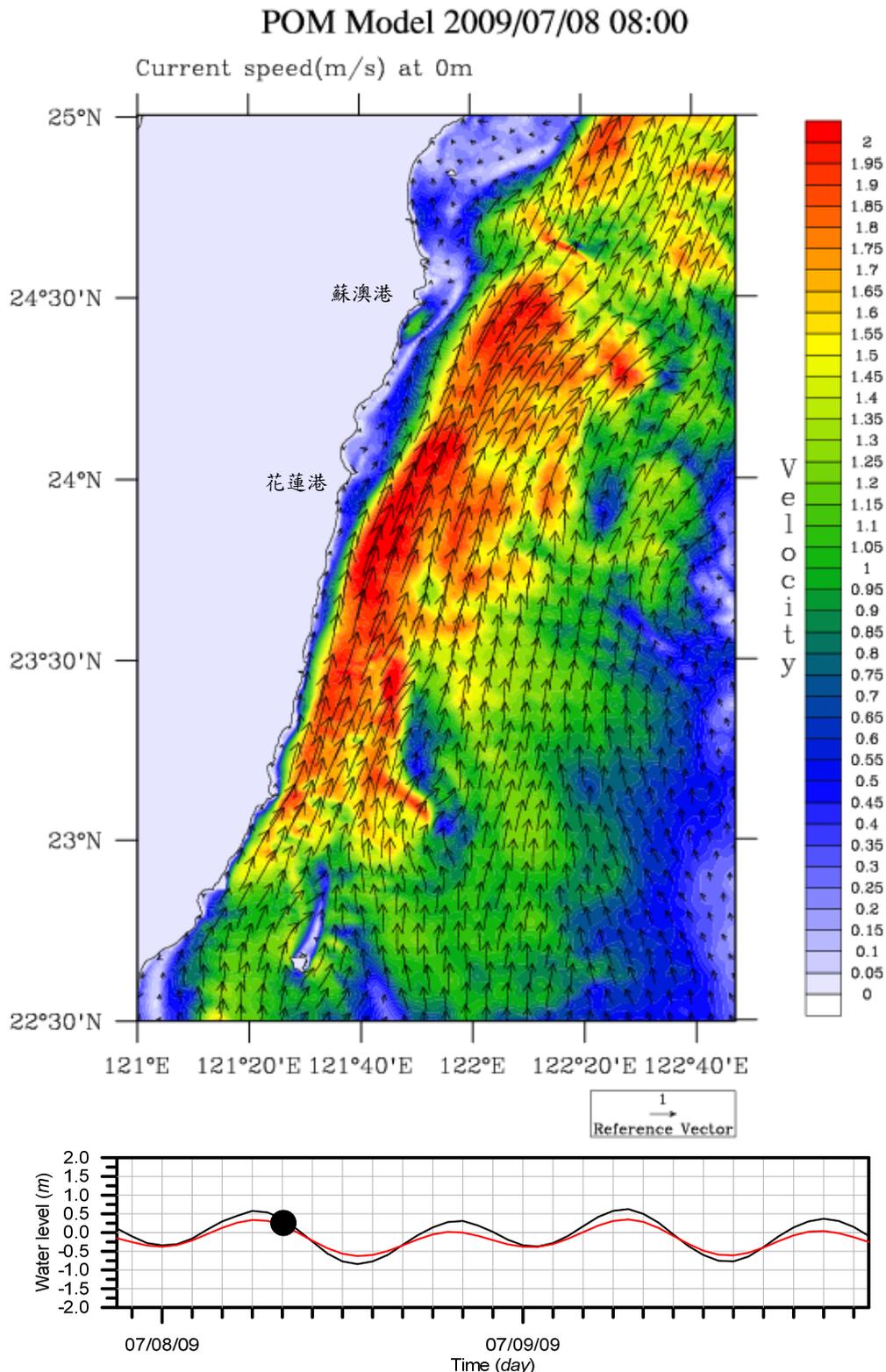


圖 4-49 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 08:00

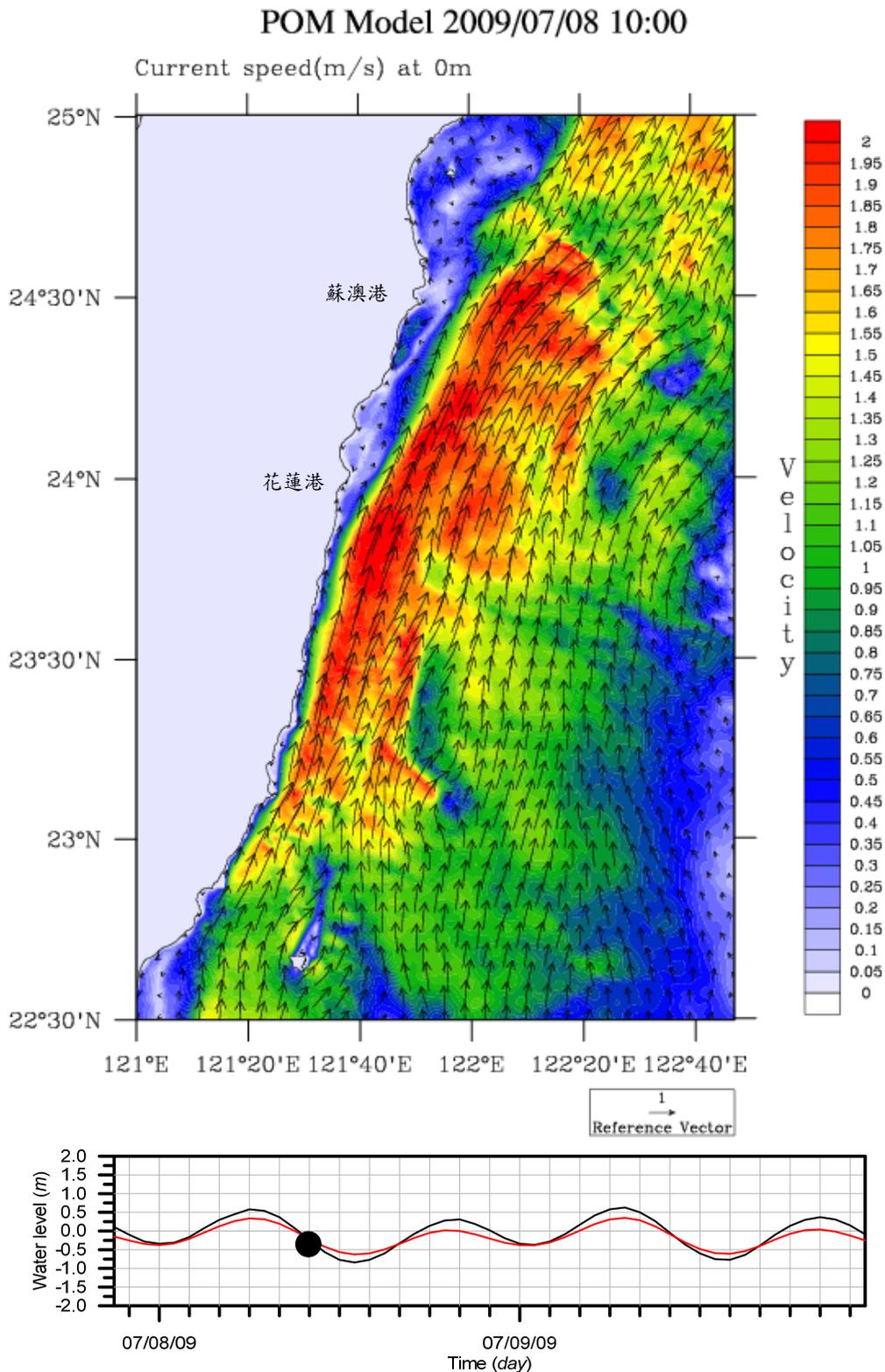


圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 10:00

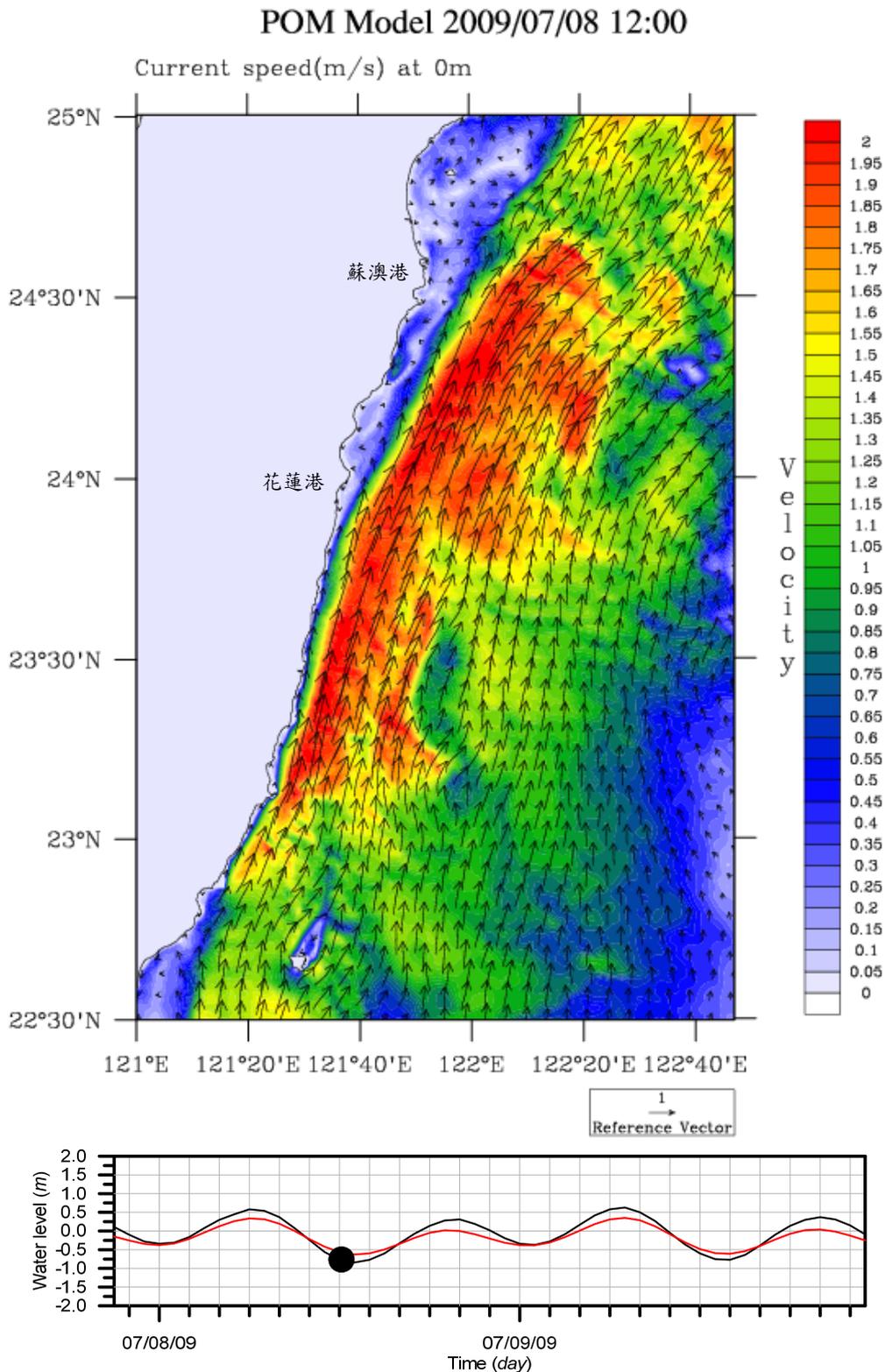


圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 12:00

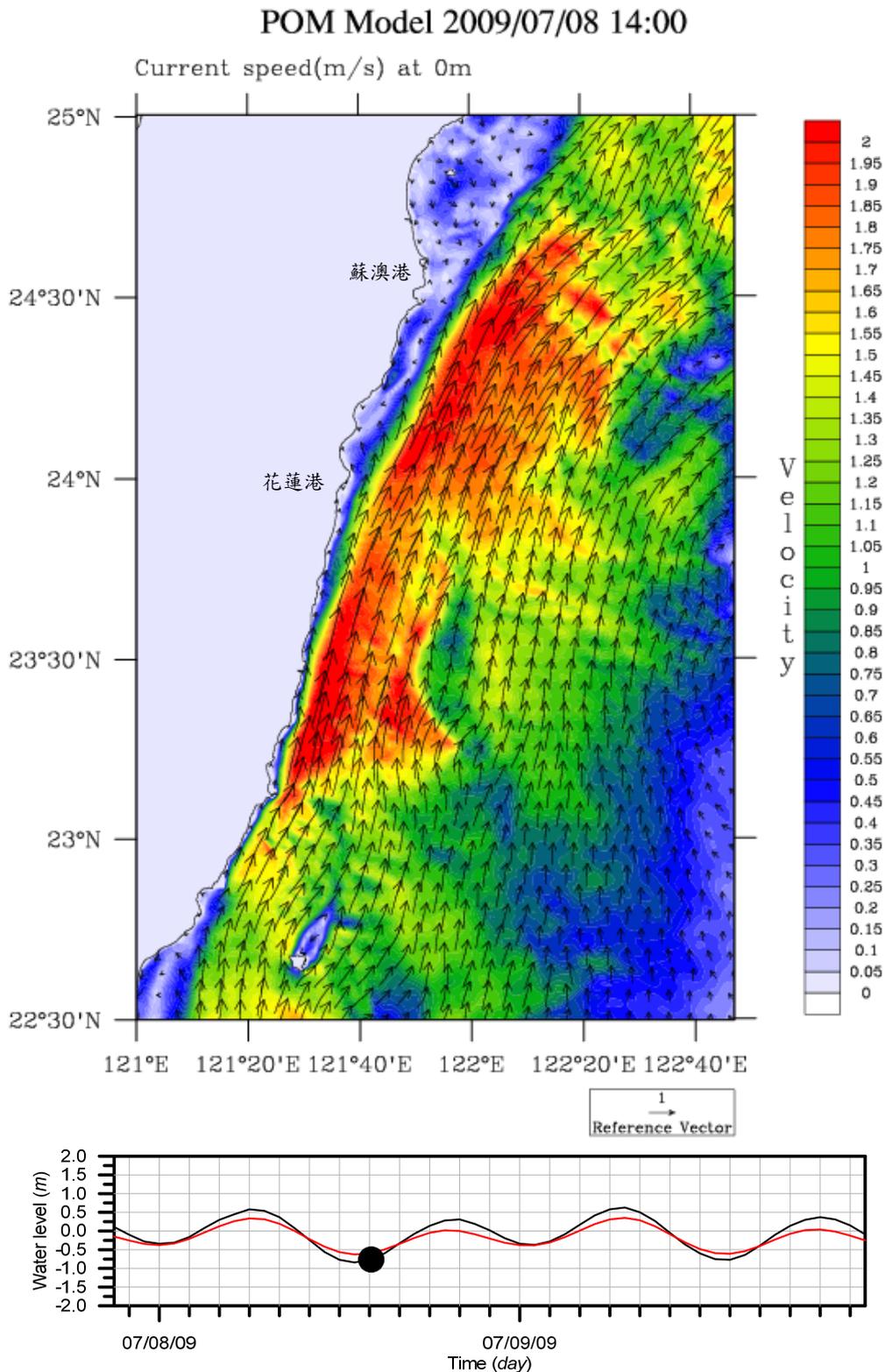


圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 14:00

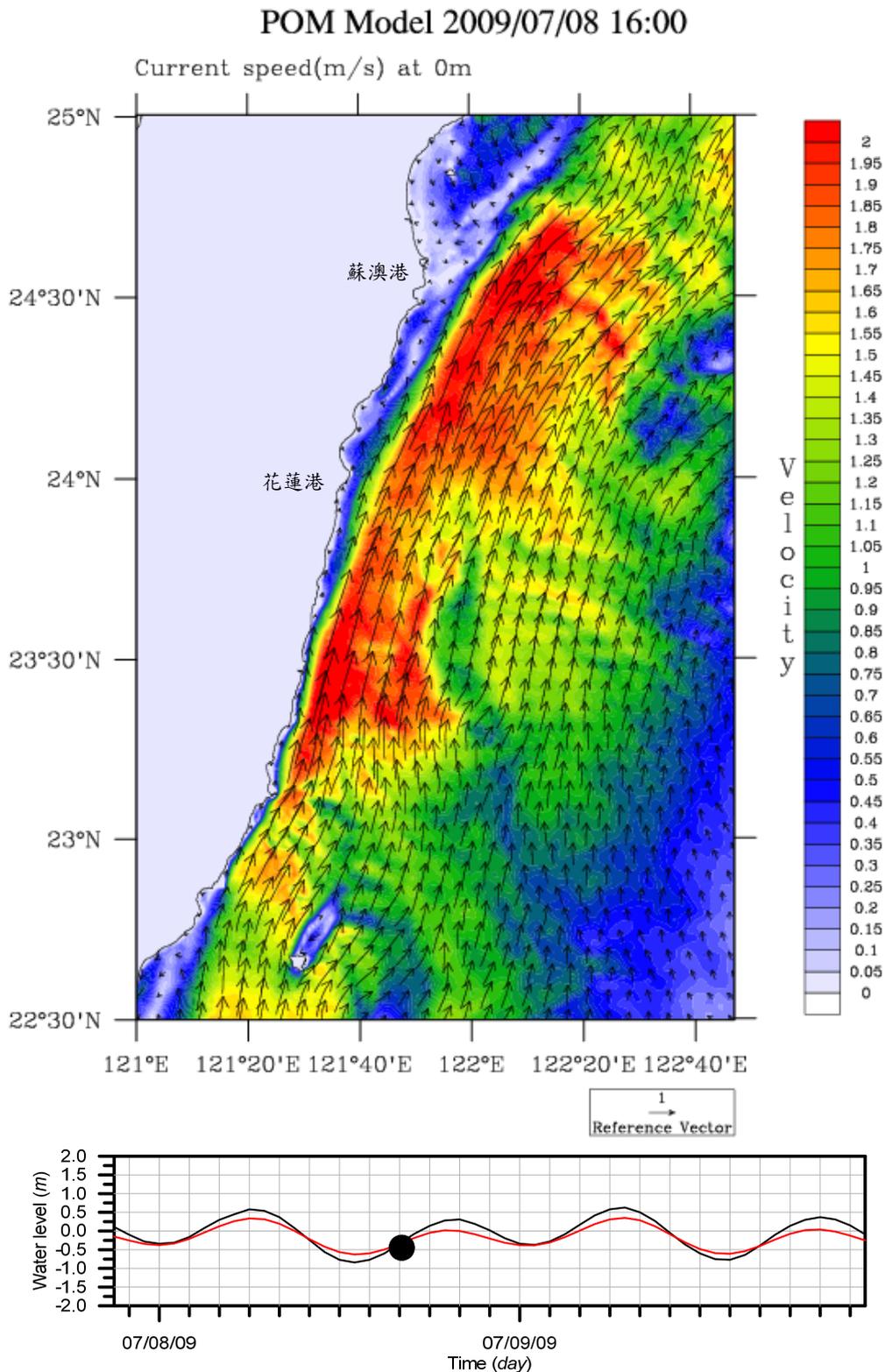


圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 16:00

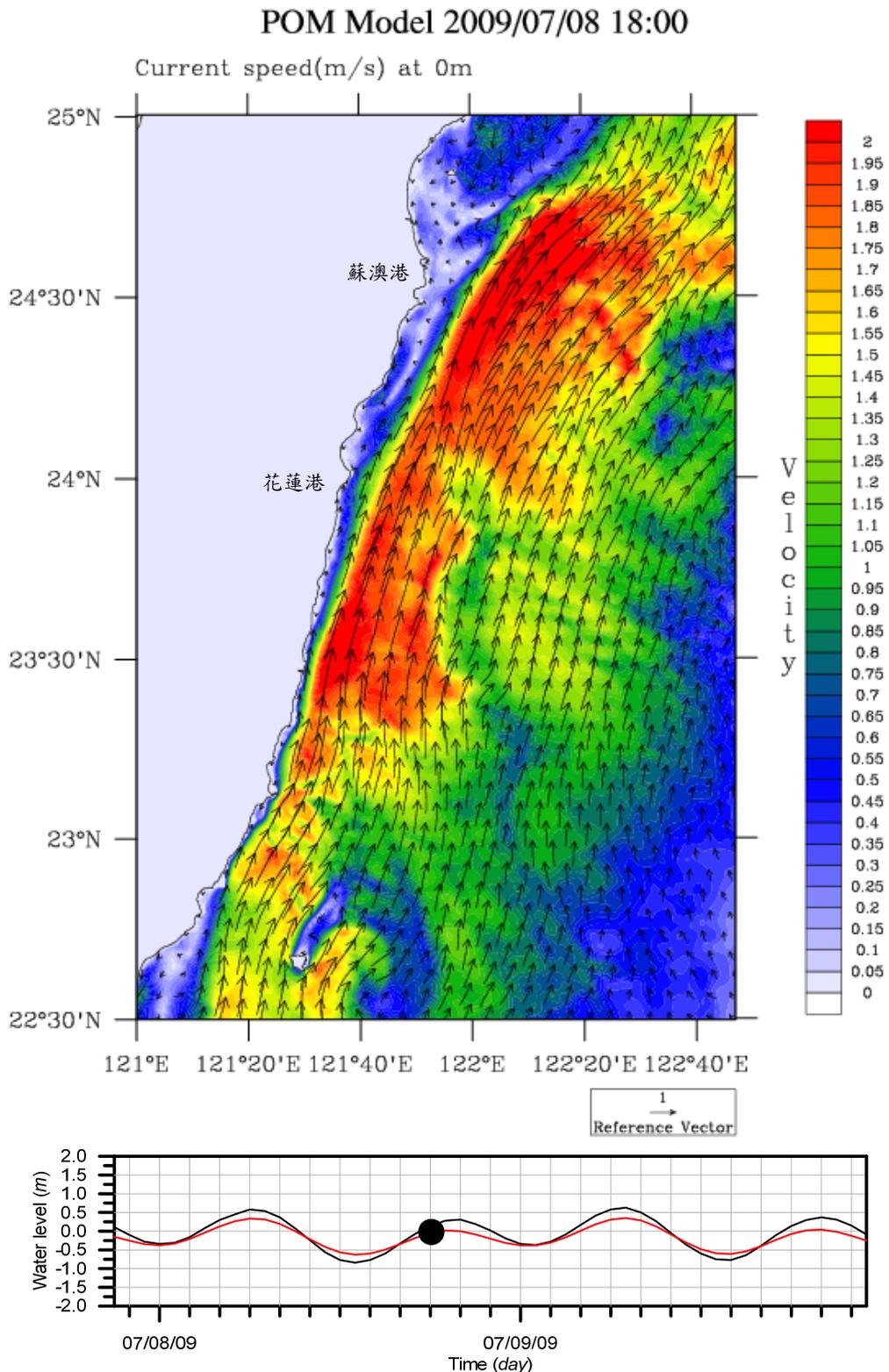


圖 4-49(續) 臺灣東部蘇澳港及花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)夏季表層海面之近岸海流流場(上)與參考水位(下)，紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 18:00

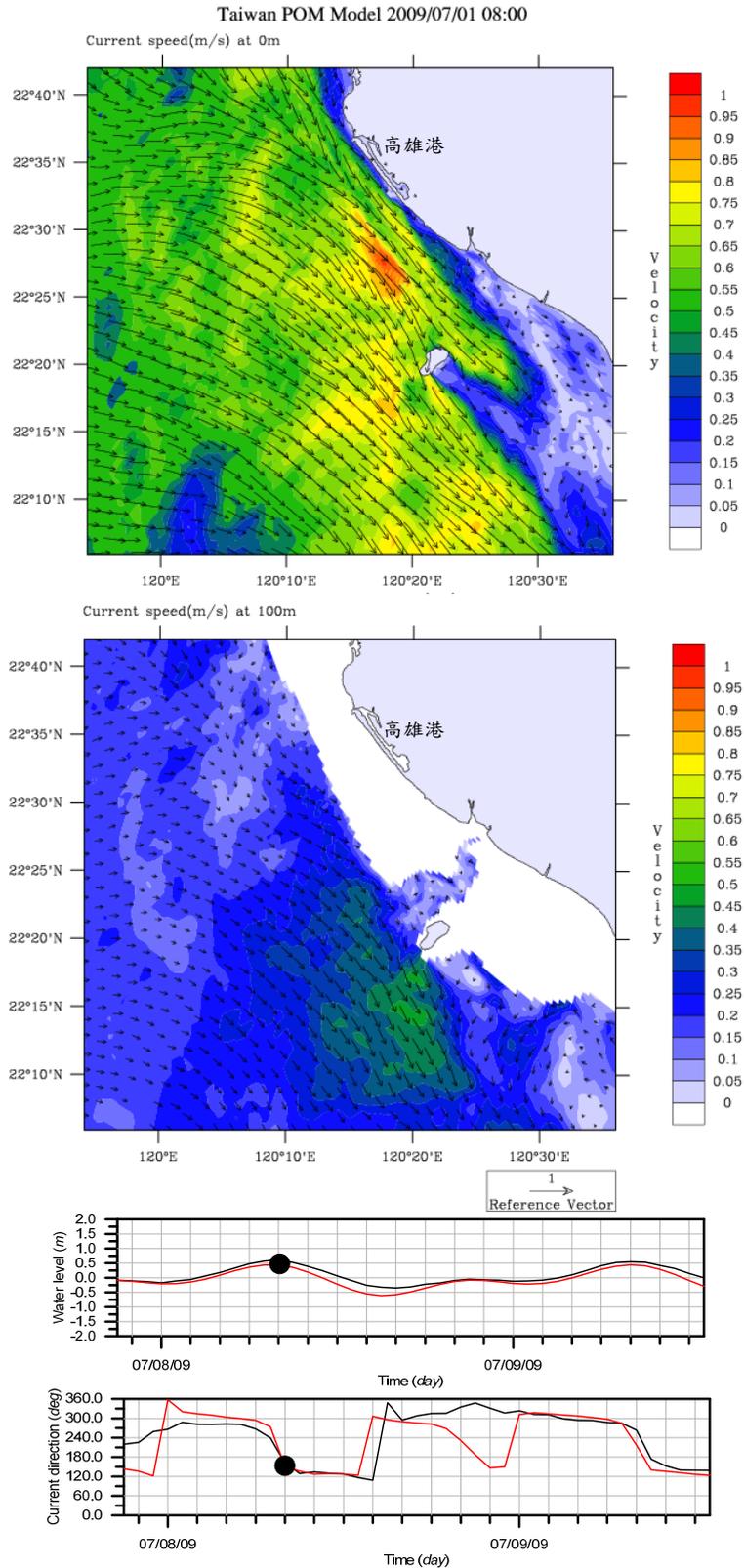


圖 4-50 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 08:00

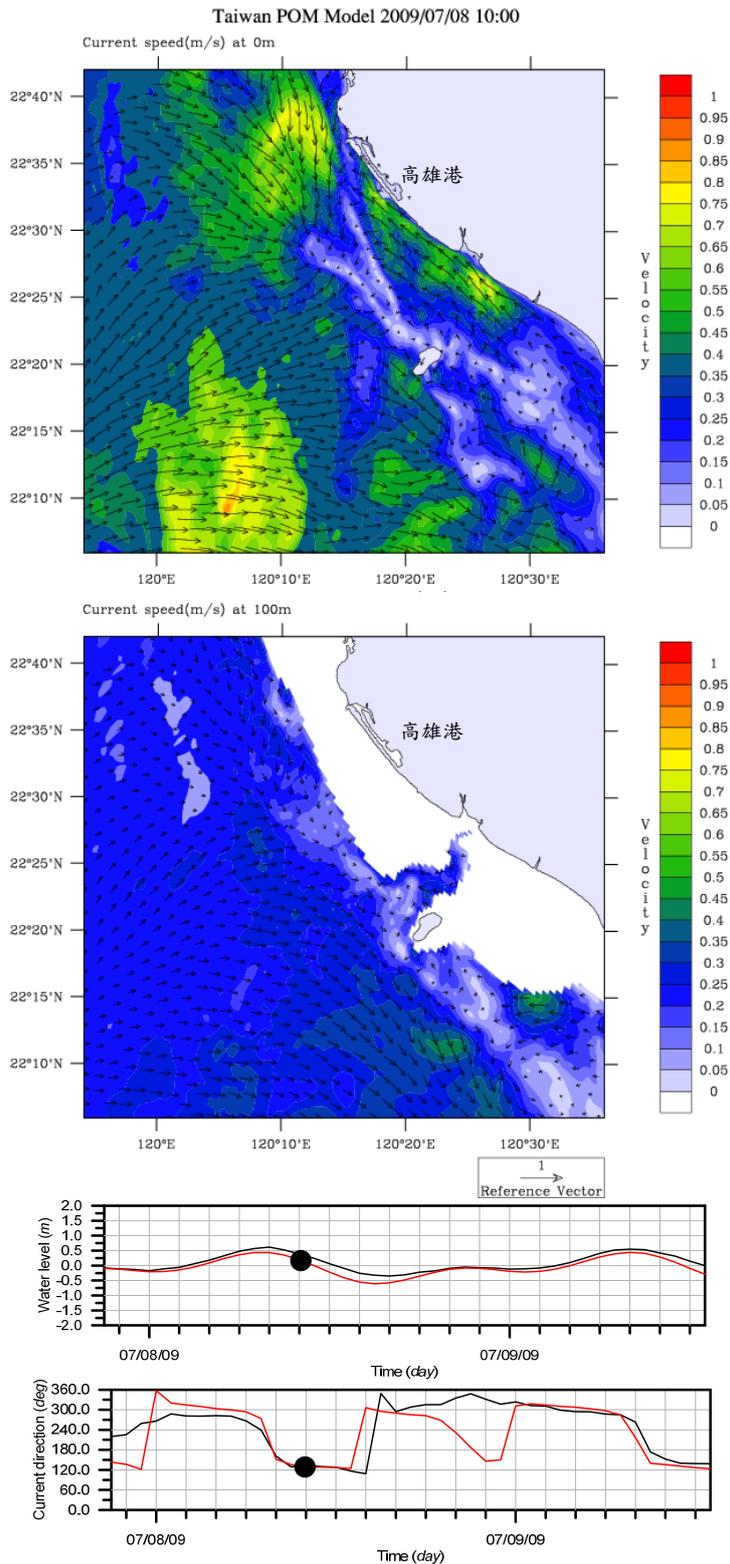


圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 10:00

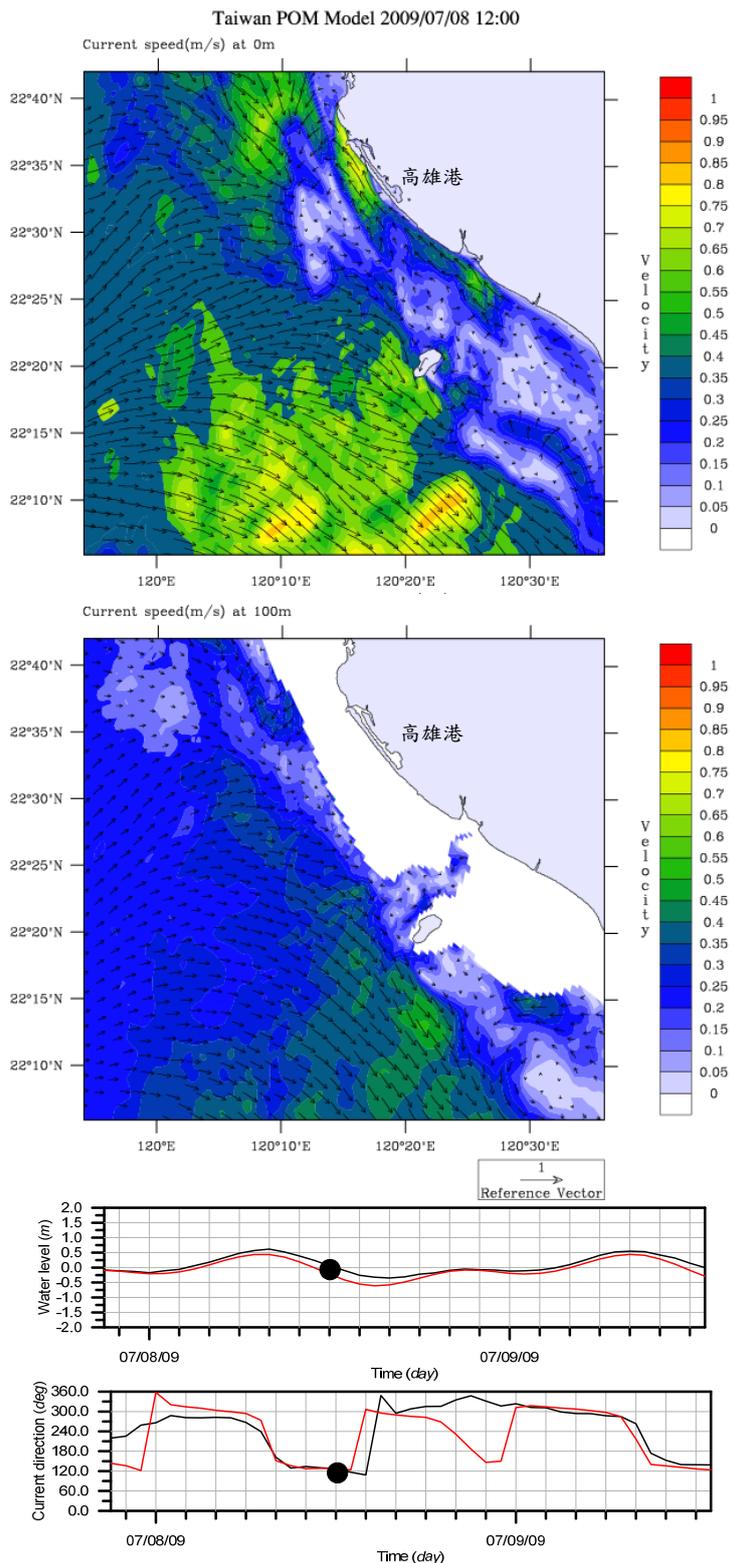


圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 12:00

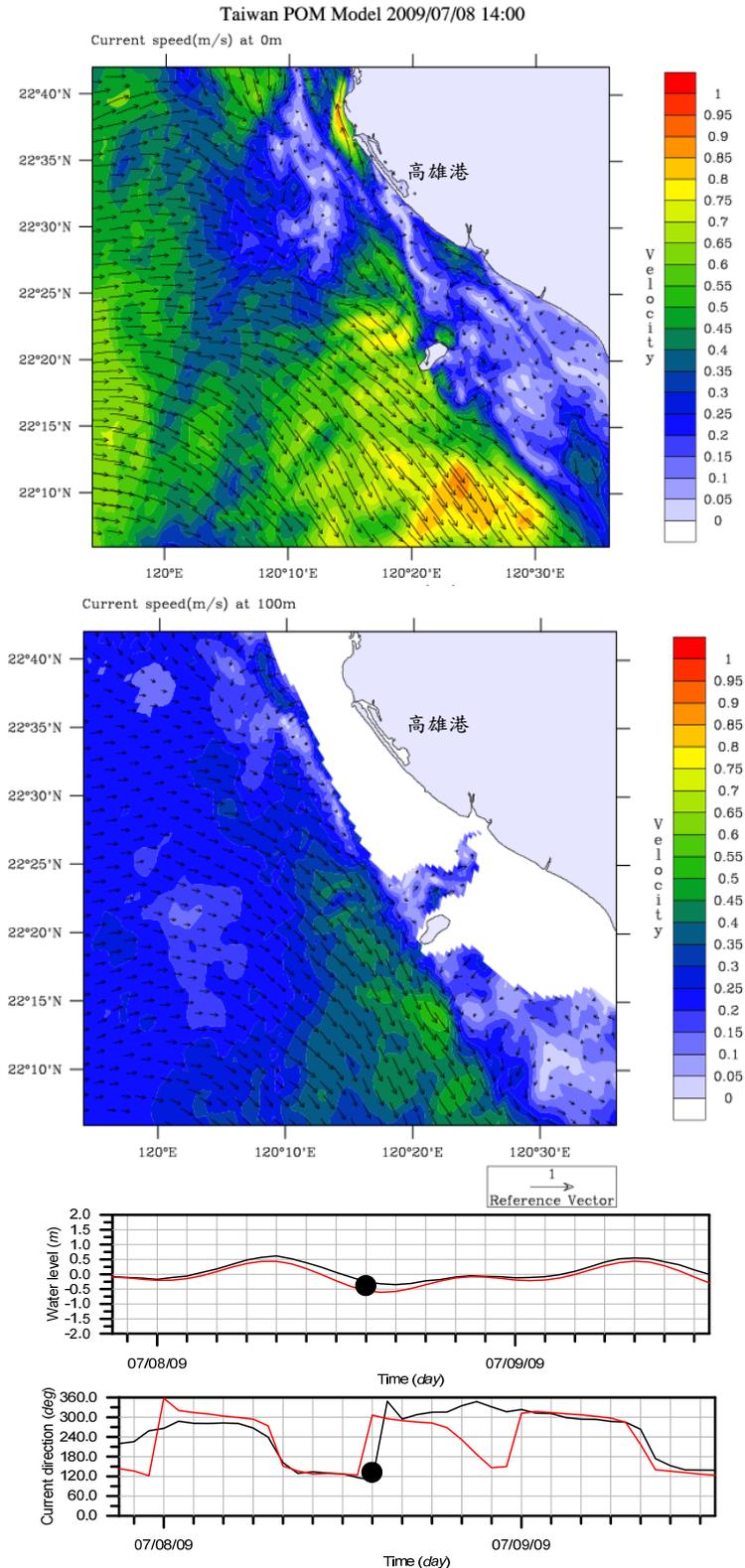


圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 14:00

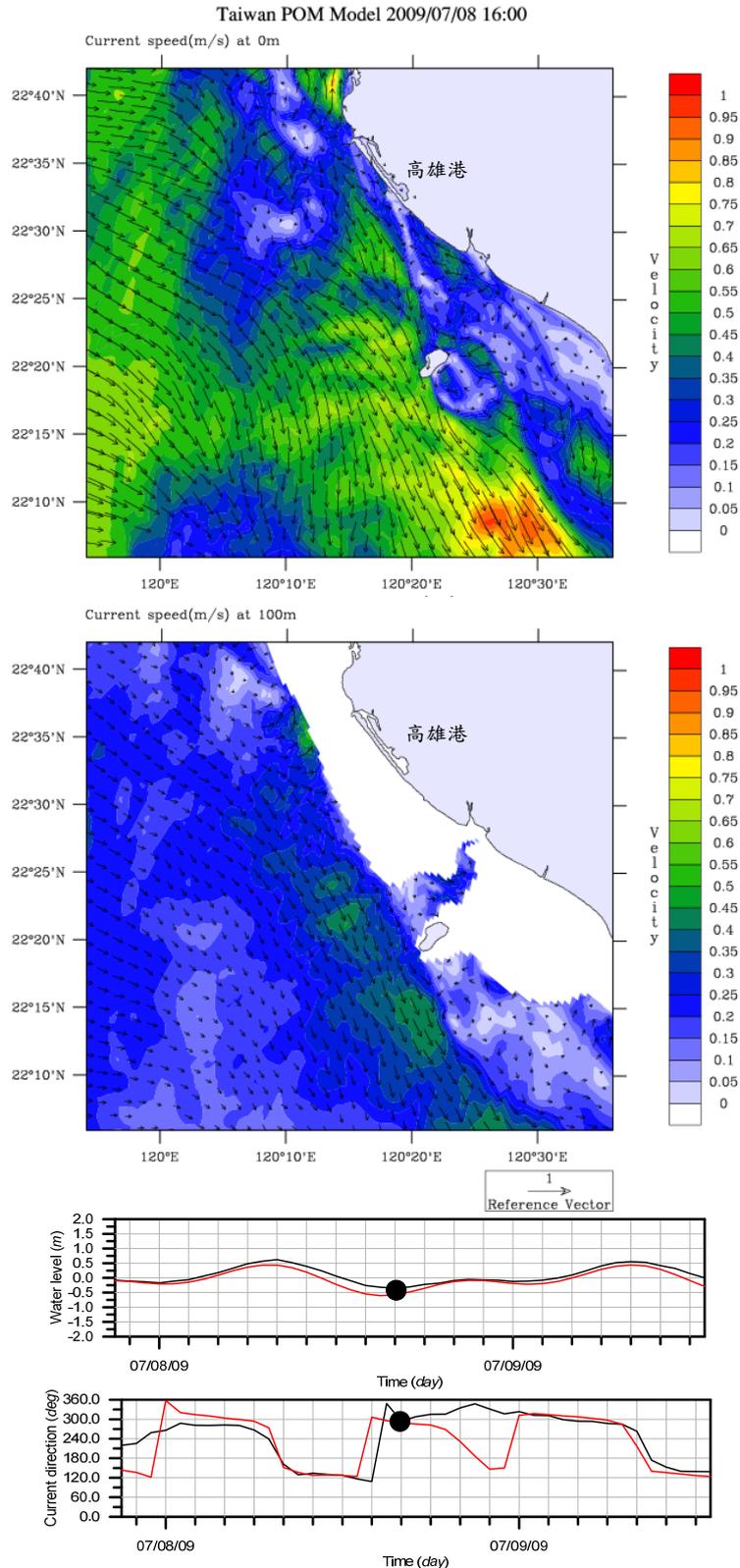


圖 4-50(續) 臺灣西南部高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)表層海面(上)與 100 米等水深層(中)之近岸海流流場，參考水位及流向(下)之紅線為模式值，黑線為實測值，黑點表示計算時刻為 2009/07/08 16:00

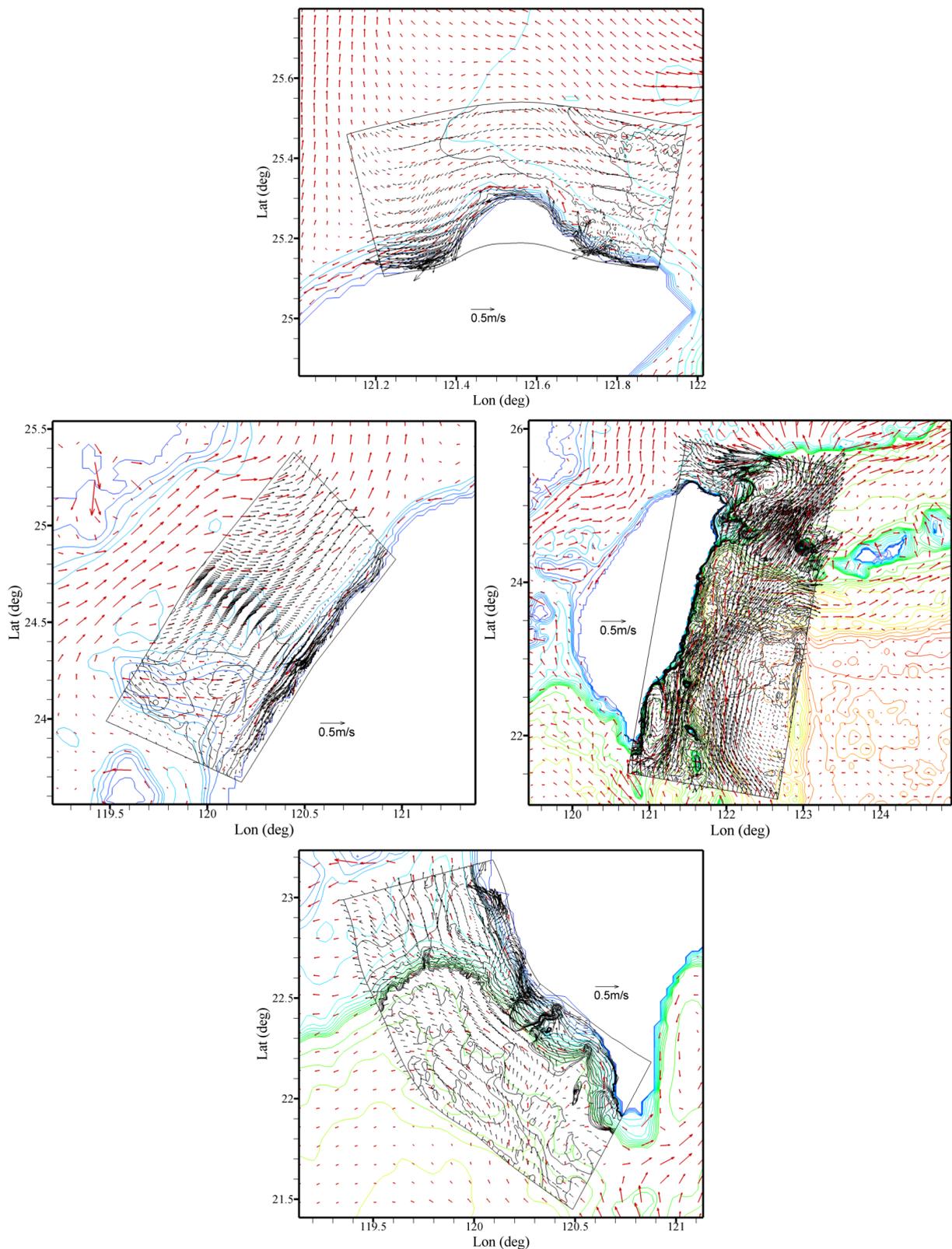


圖 4-51 臺灣四周計算海域(T3)與臺灣近岸之北部(T-NS_N；上)、中西部(T-NS_W；中左)、東部(T-NS_E；中右)及西南部(T-NS_SW；下)等 4 局部巢狀格網計算海域內及邊界上之計算流場校驗

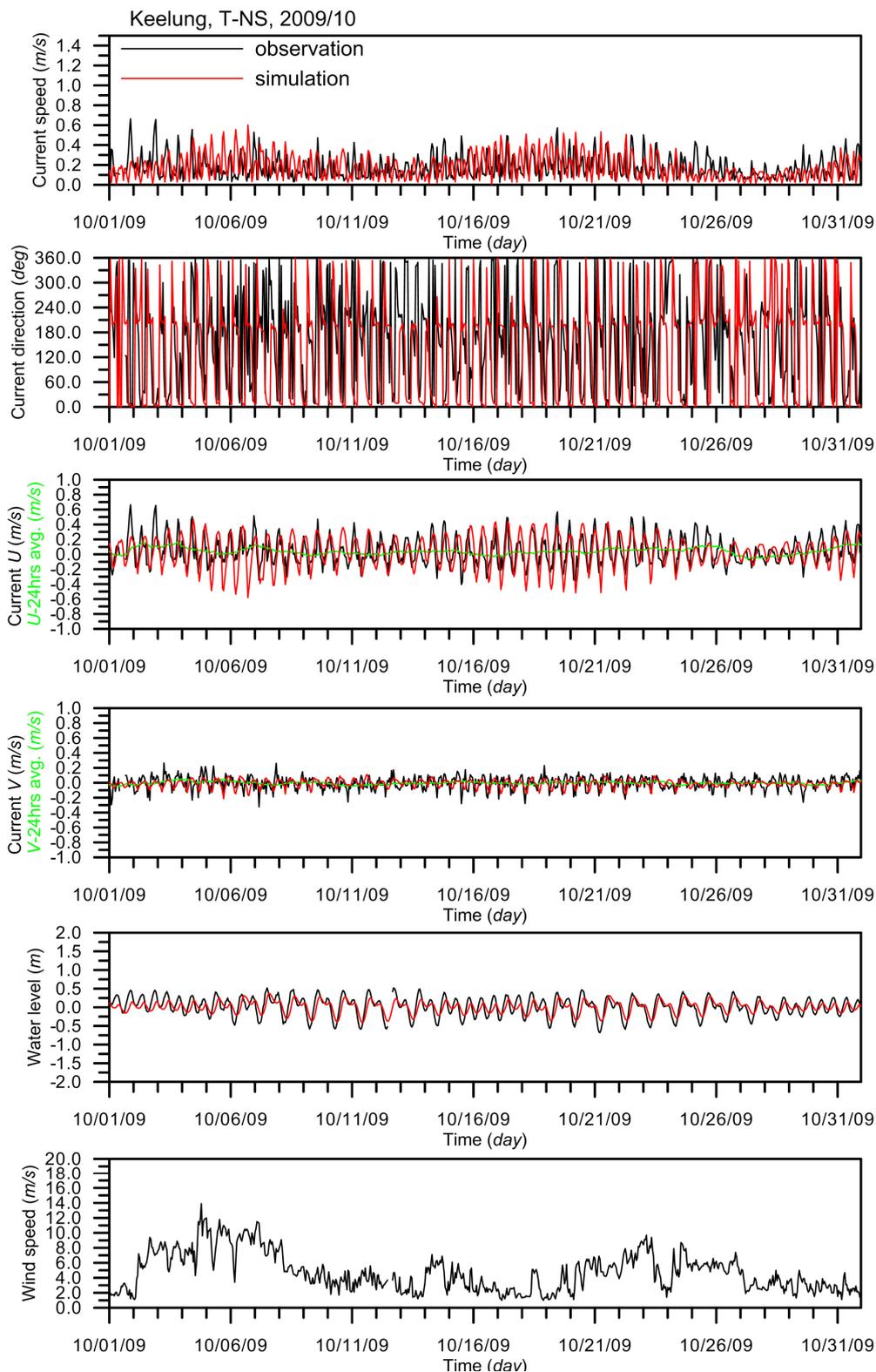


圖 4-52 基隆港港口外廓海域(T-NS_N)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年10月份)

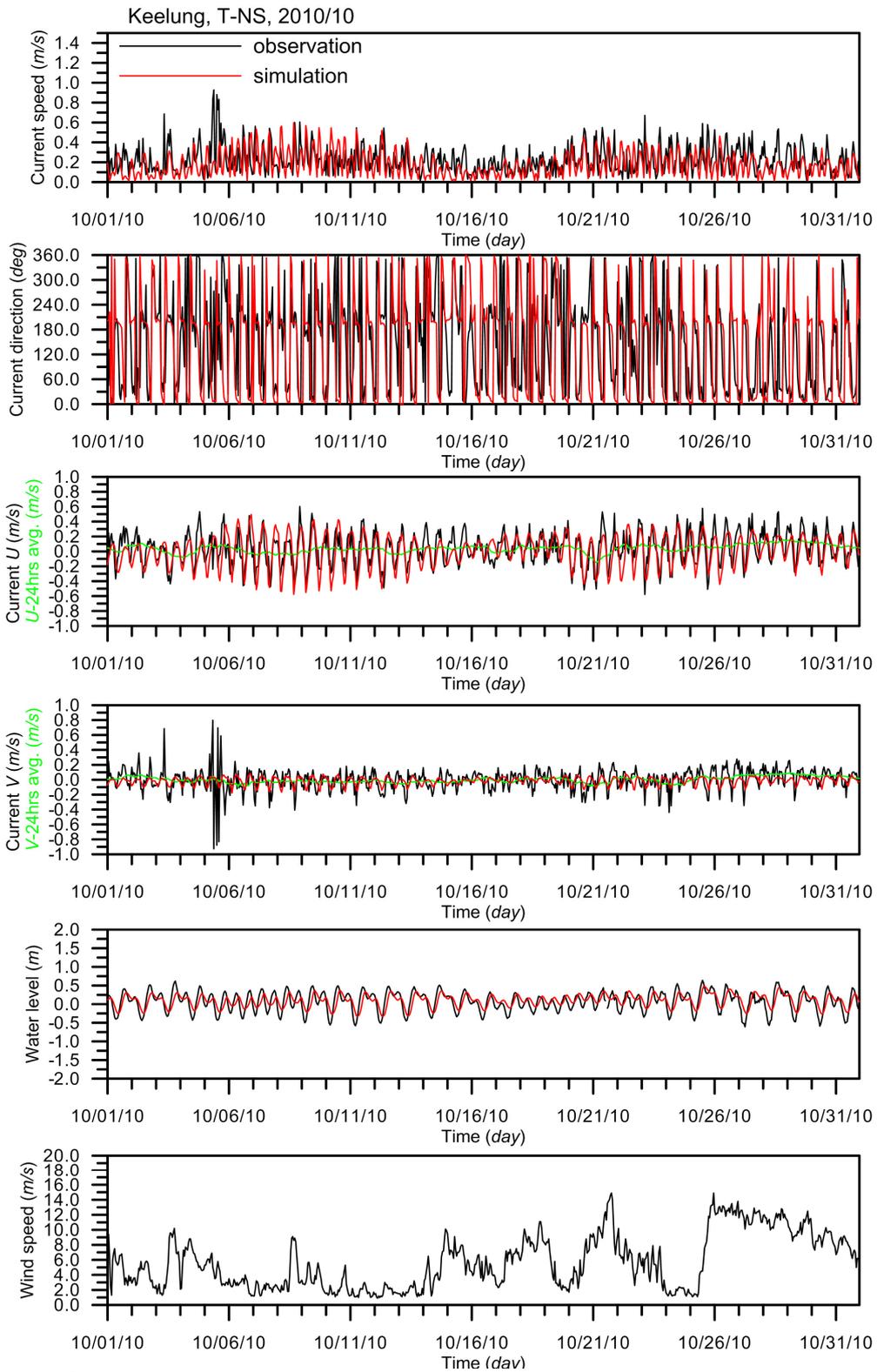


圖 4-52(續) 基隆港港口外廓海域(T-NS_N)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

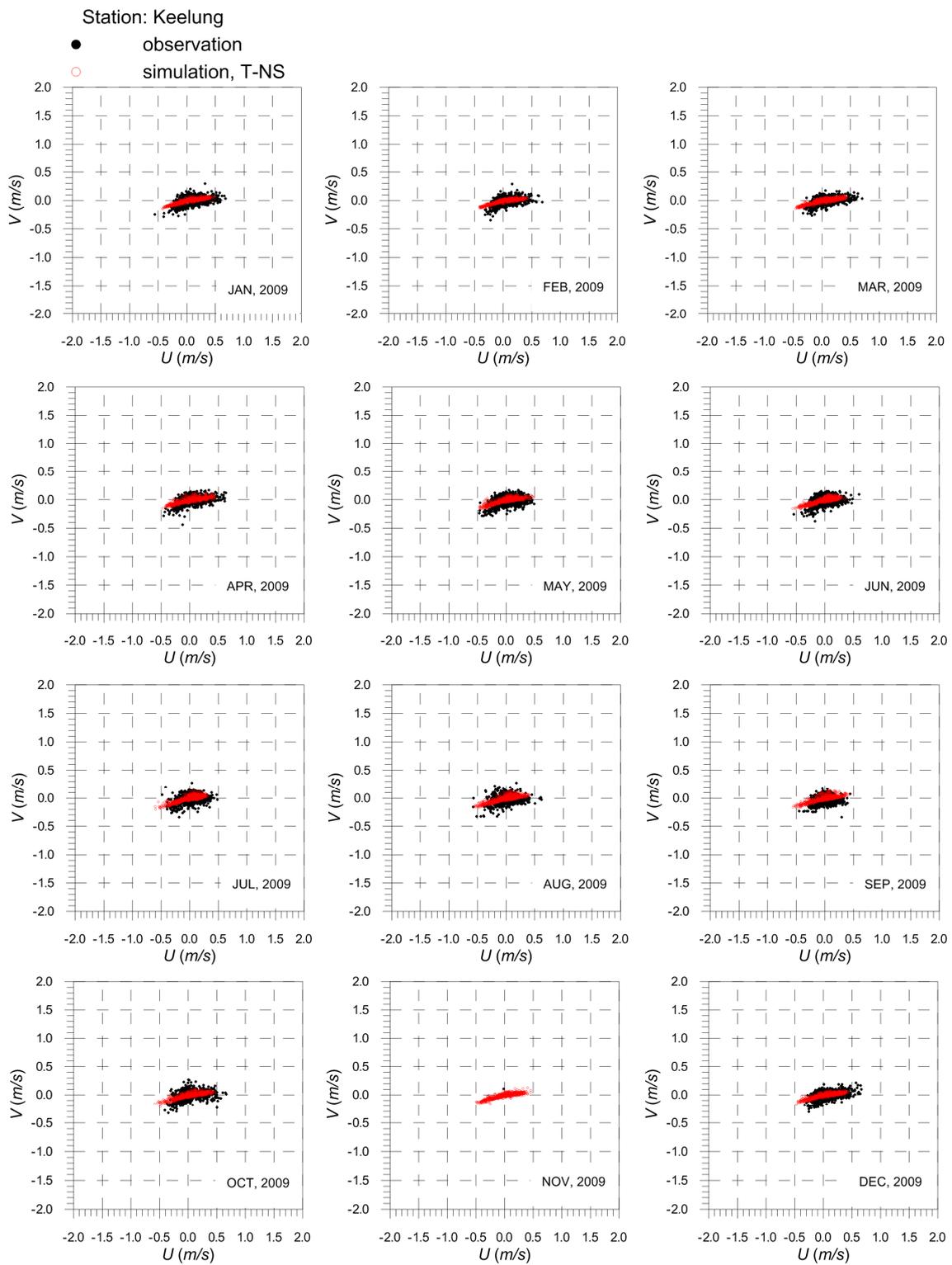


圖 4-53 基隆港港口外廓海域(T-NS_N)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

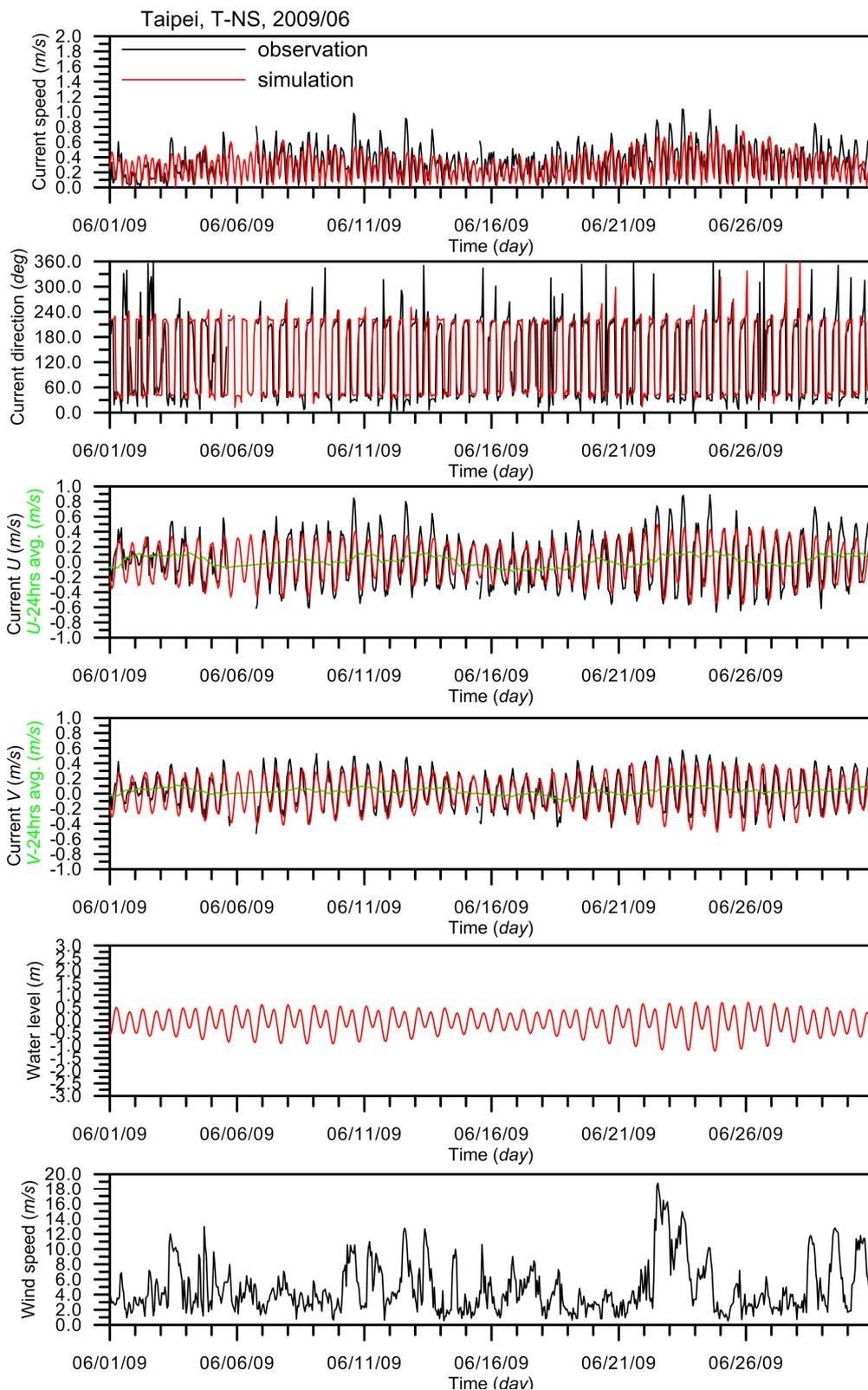


圖 4-54 臺北港港口外廓海域(T-NS_N)夏季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年6月份)

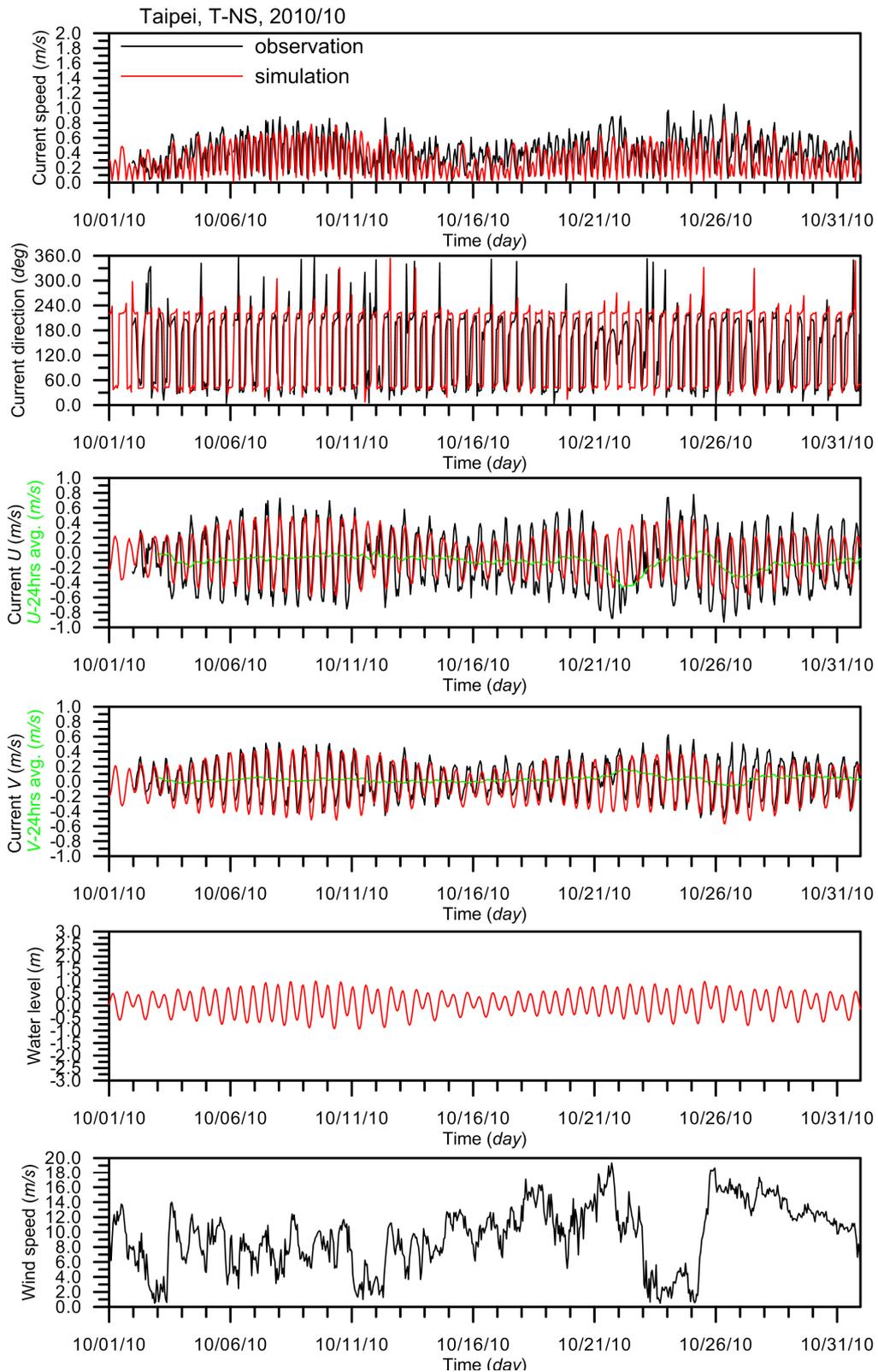


圖 4-54(續) 臺北港港口外廓海域(T-NS_N)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年10月份)

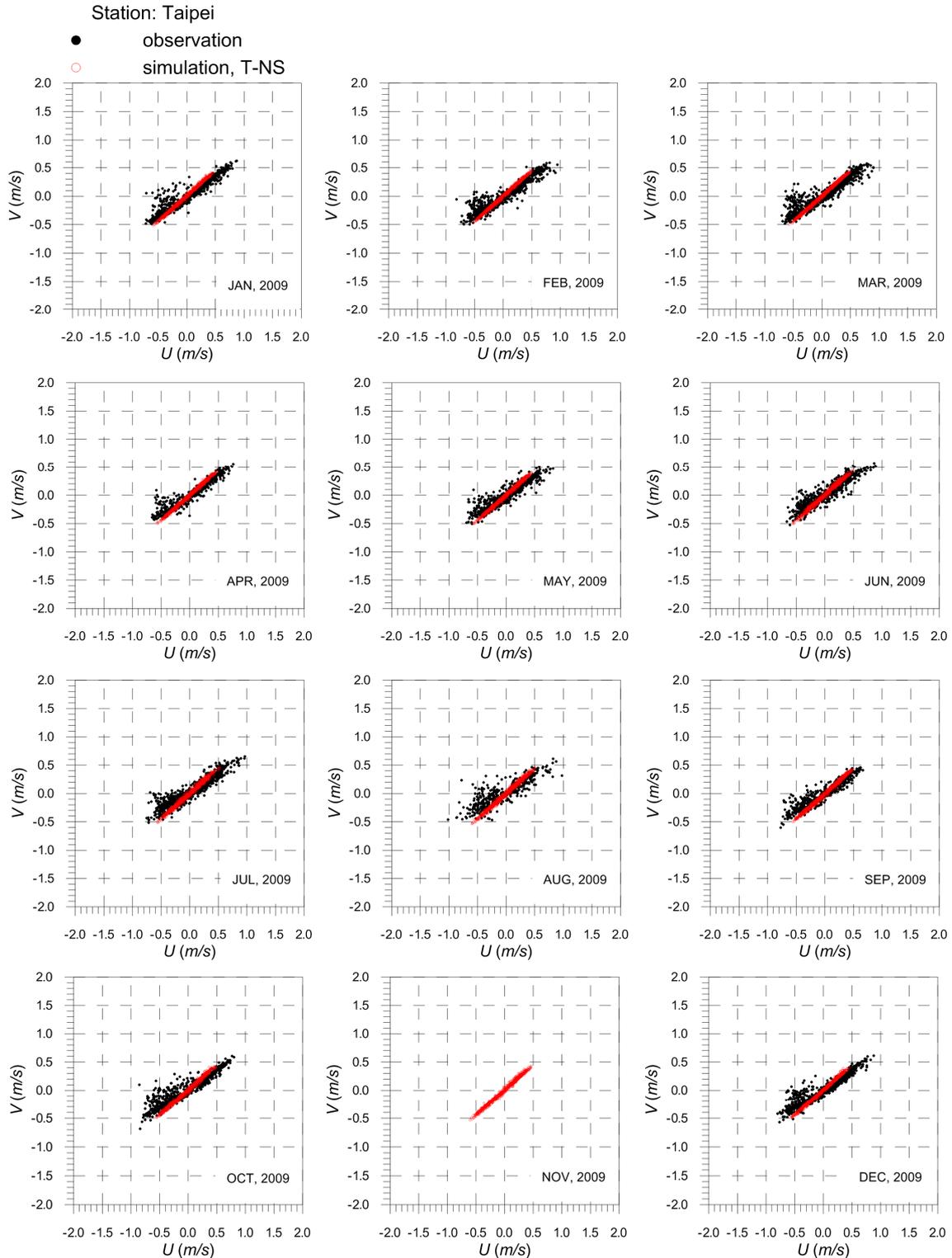


圖 4-55 臺北港港口外廓海域(T-NS_N)2009年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

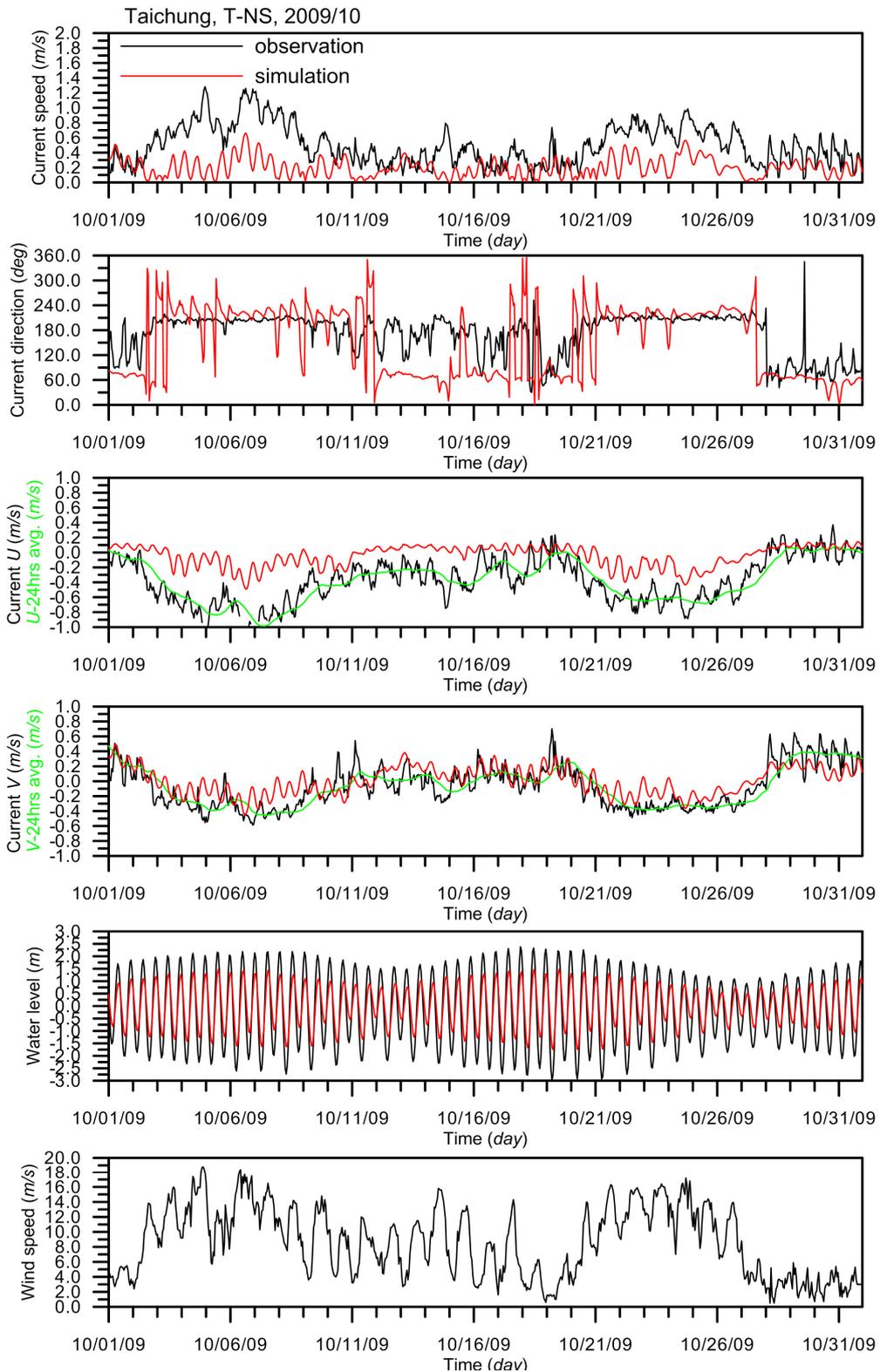


圖 4-56 臺中港港口外廓海域(T-NS_W)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年10月份)

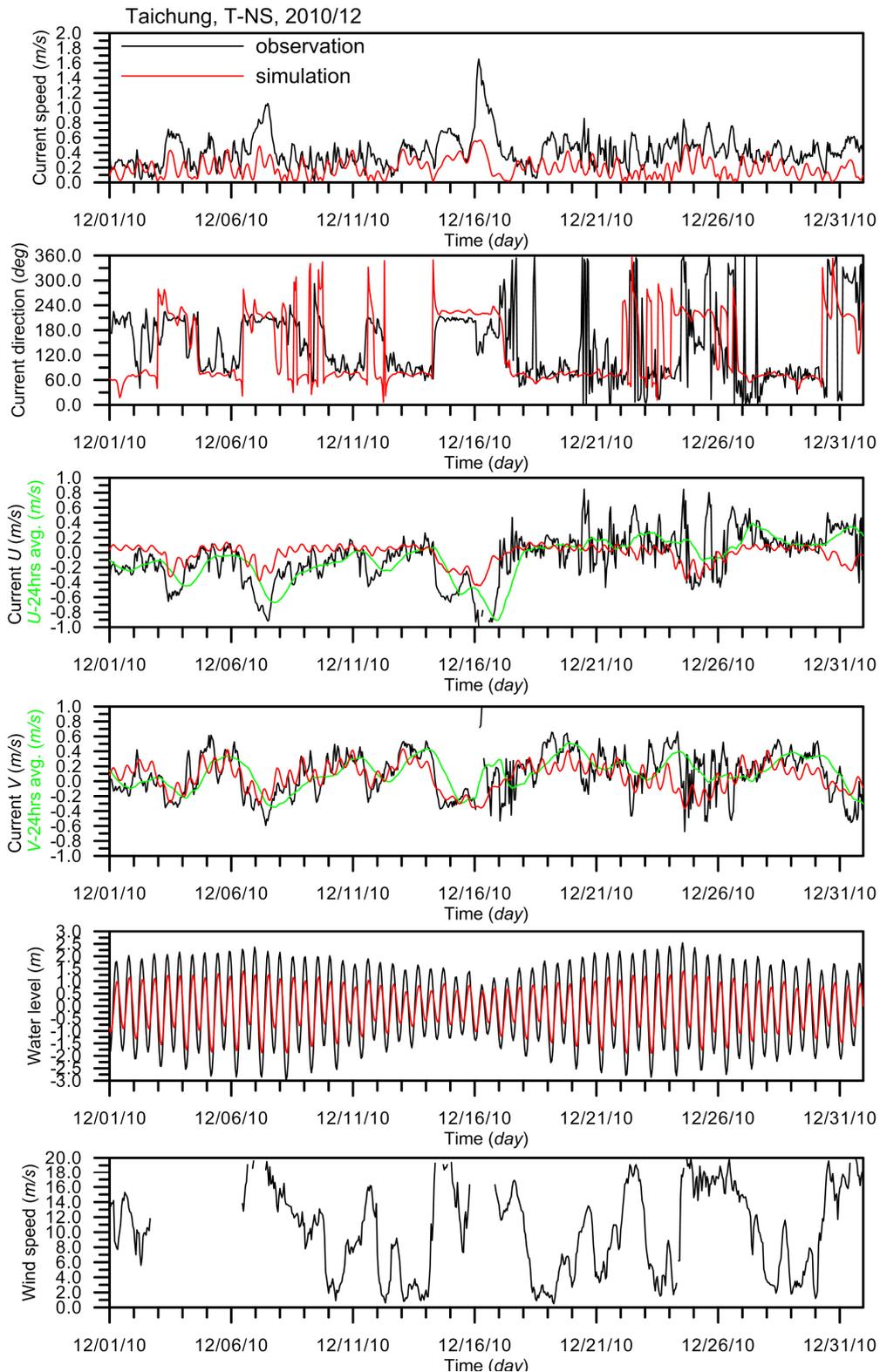


圖 4-56(續) 臺中港港口外廓海域(T-NS_W)冬季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年12月份)

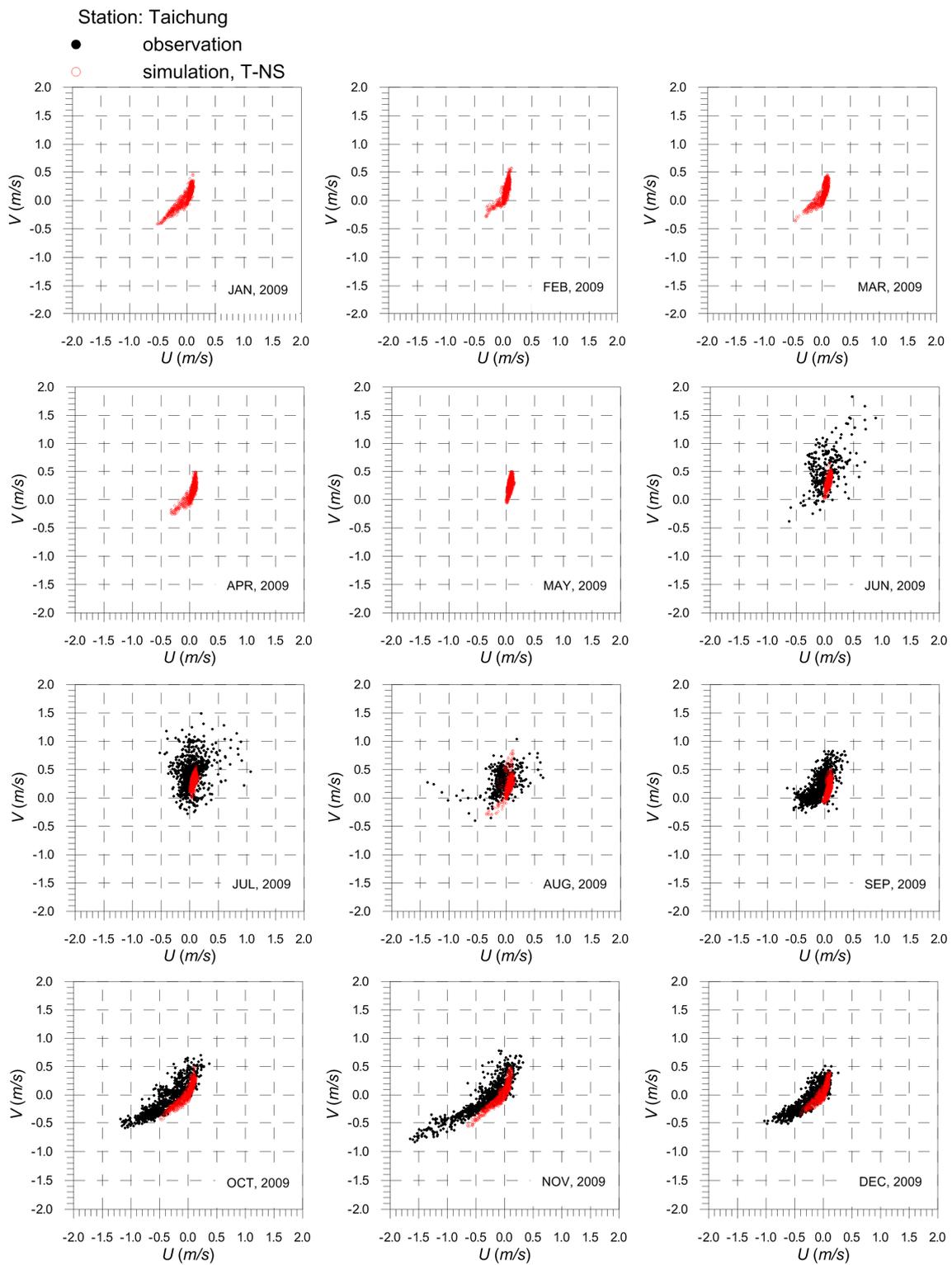


圖 4-57 臺中港港口外廓海域(T-NS_W)2009 年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

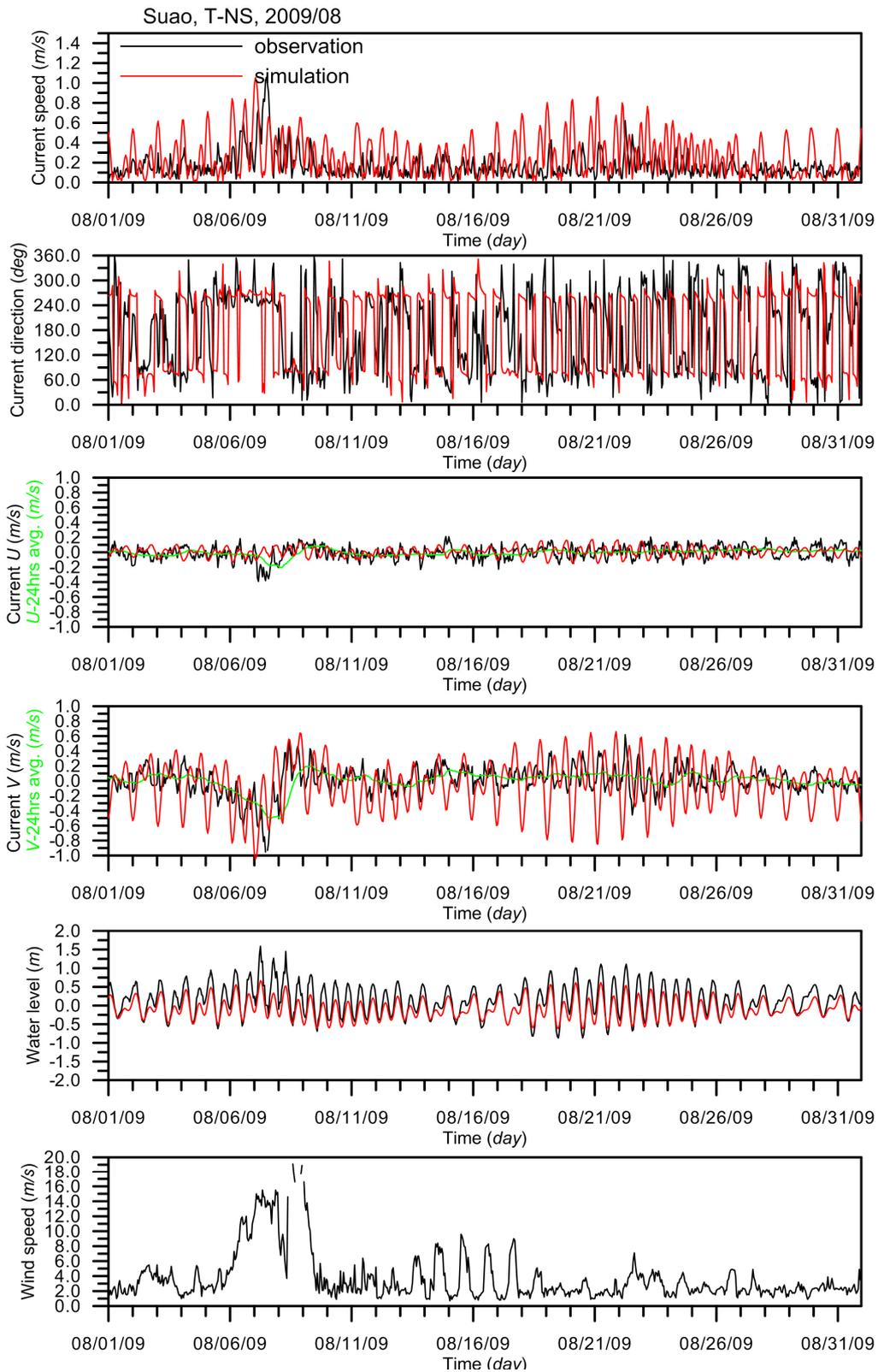


圖 4-58 蘇澳港港口外廓海域(T-NS_E)夏季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年8月份)

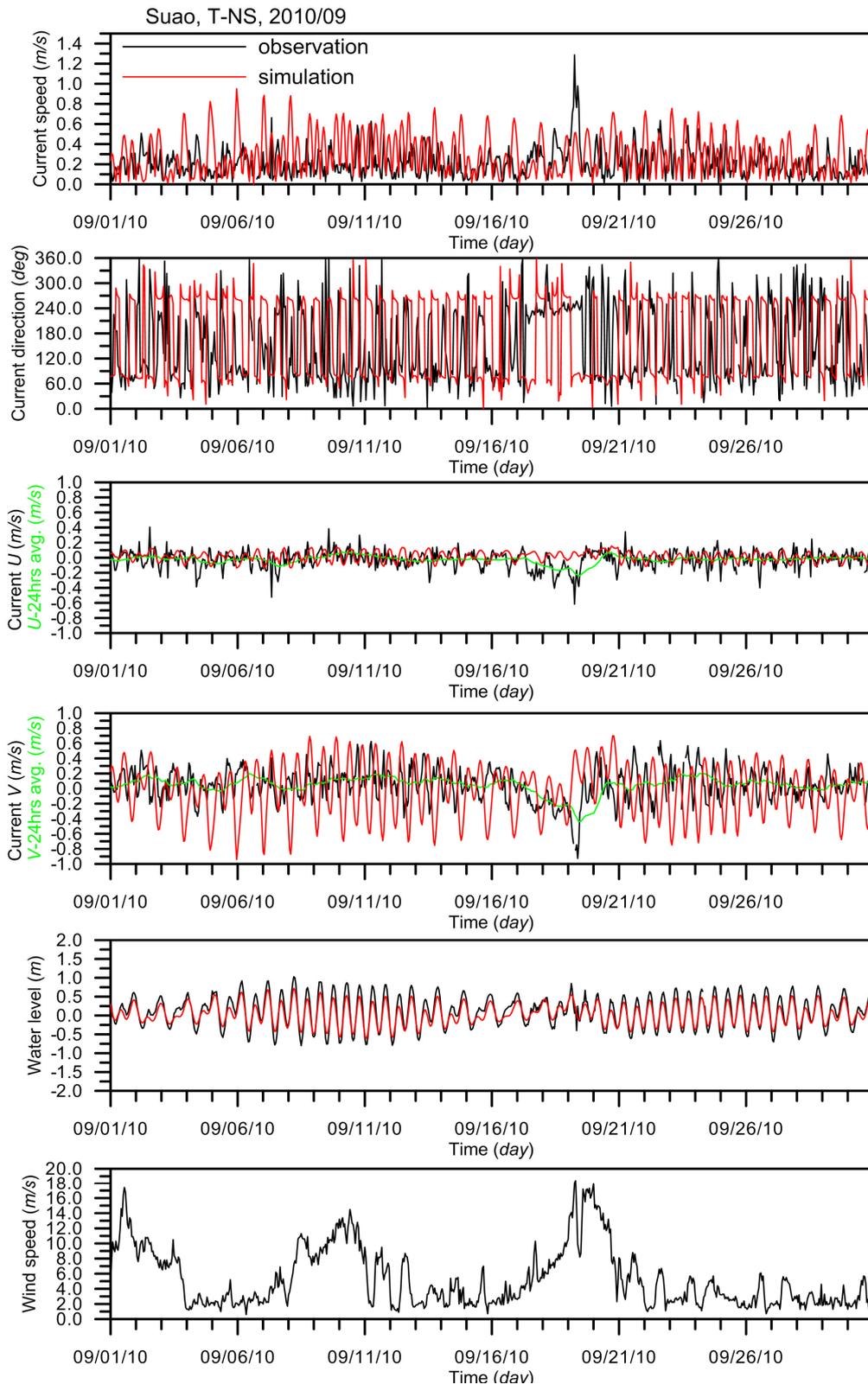


圖 4-58(續) 蘇澳港港口外廓海域(T-NS_E)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年9月份)

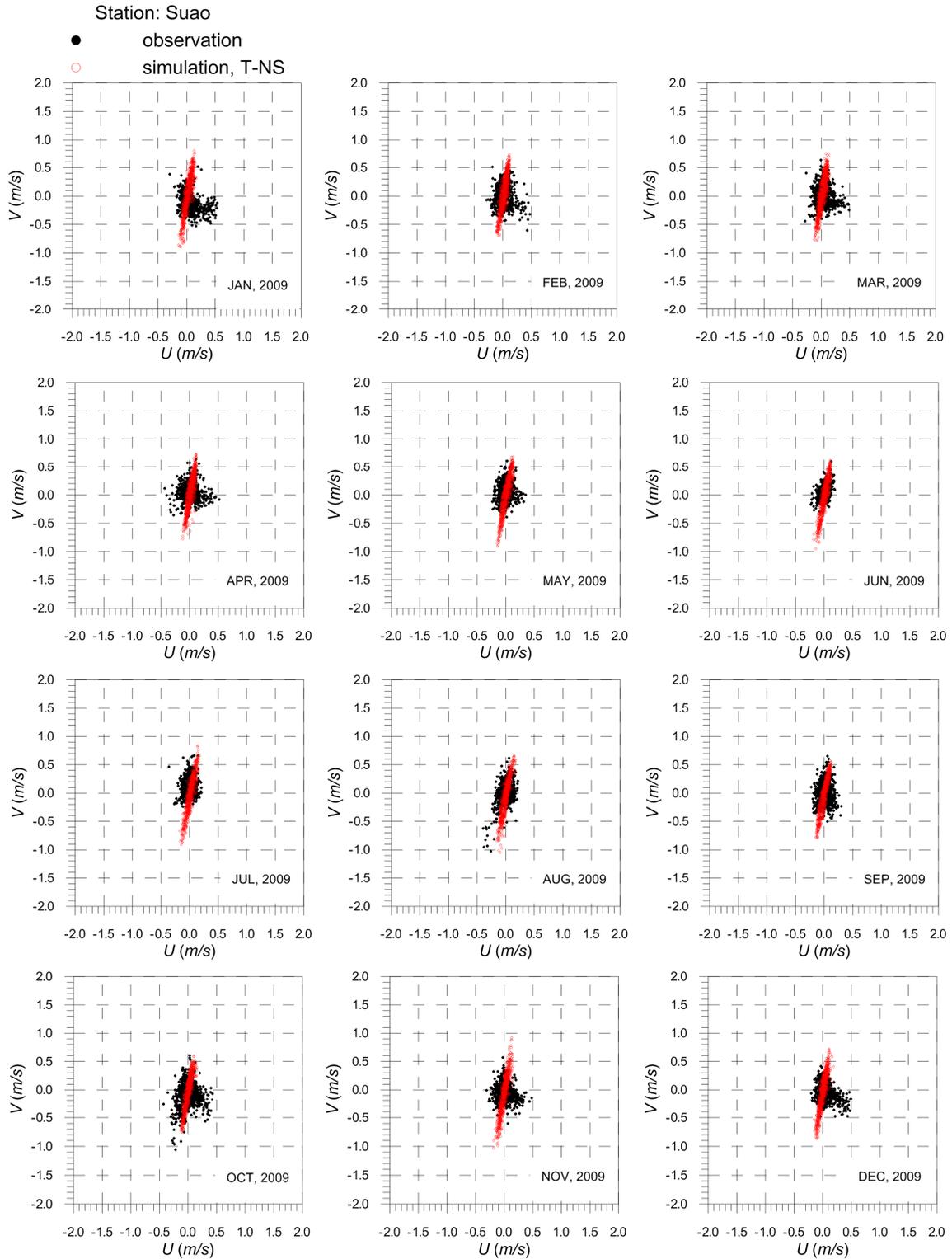


圖 4-59 蘇澳港港口外廓海域(T-NS_E)2009 年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

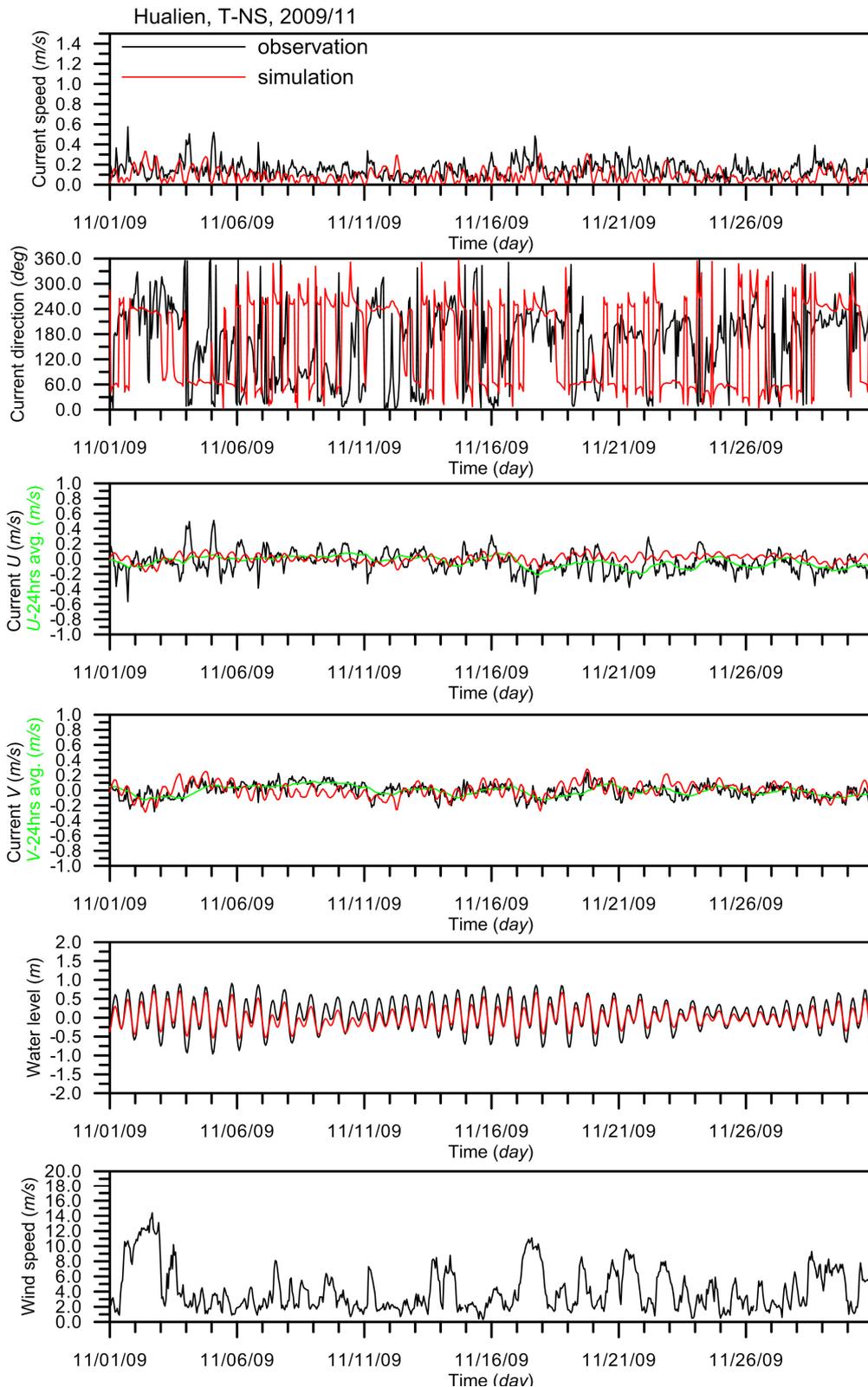


圖 4-60 花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

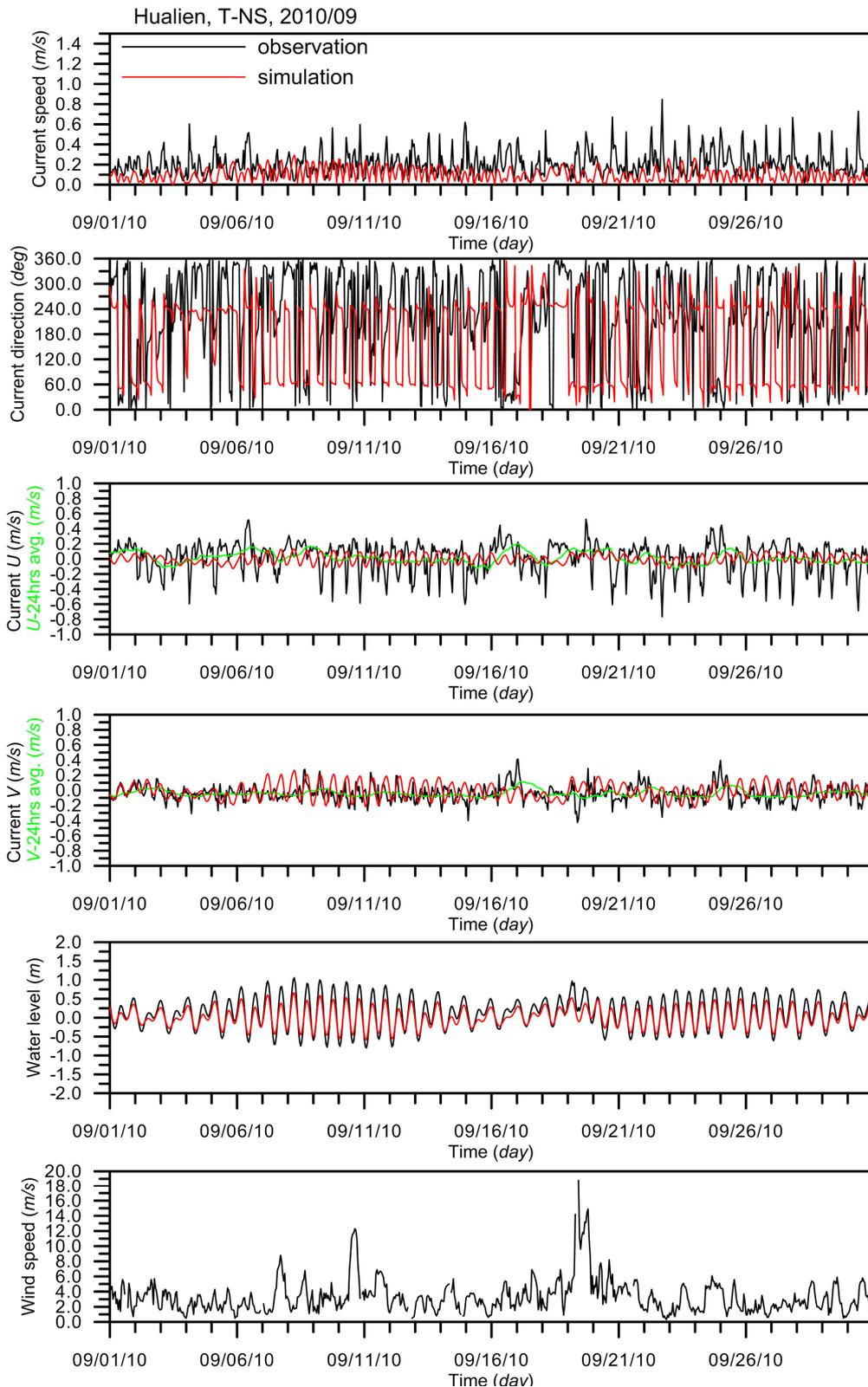


圖 4-60(續) 花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年9月份)

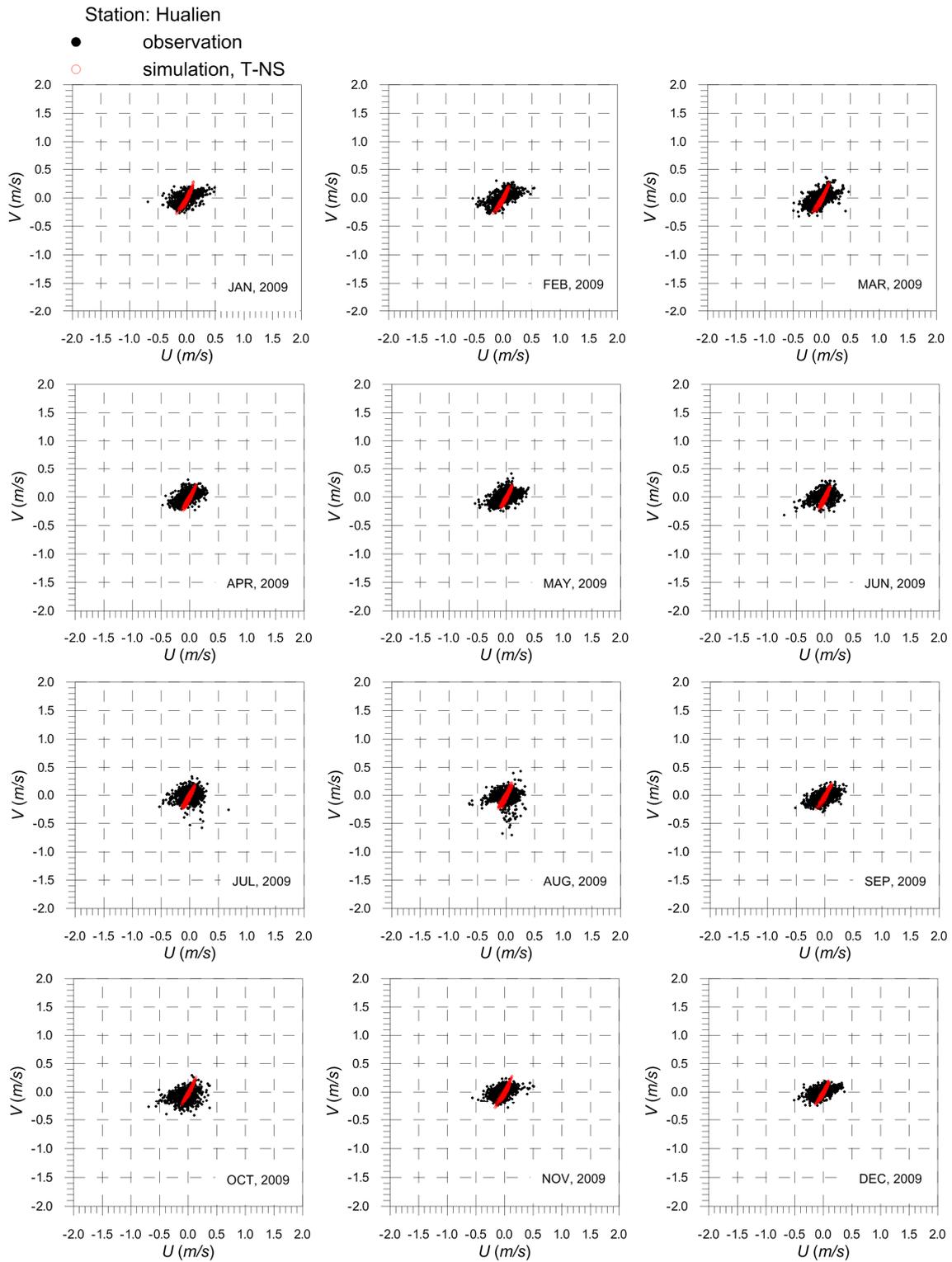


圖 4-61 花蓮港港口外廓海域(T-NS_E)2009 年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

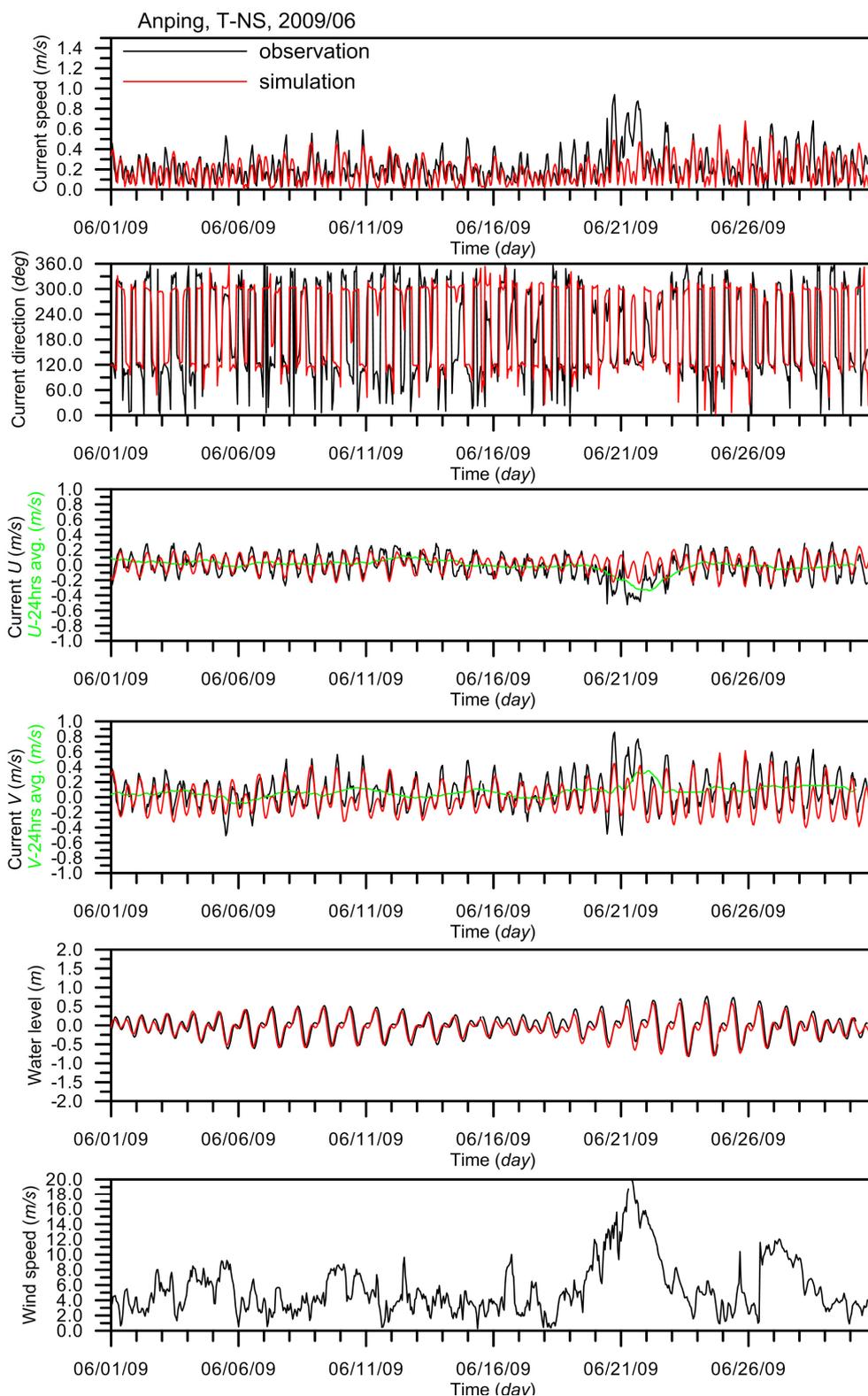


圖 4-62 安平港港口外廓海域(T-NS_SW)夏季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年6月份)

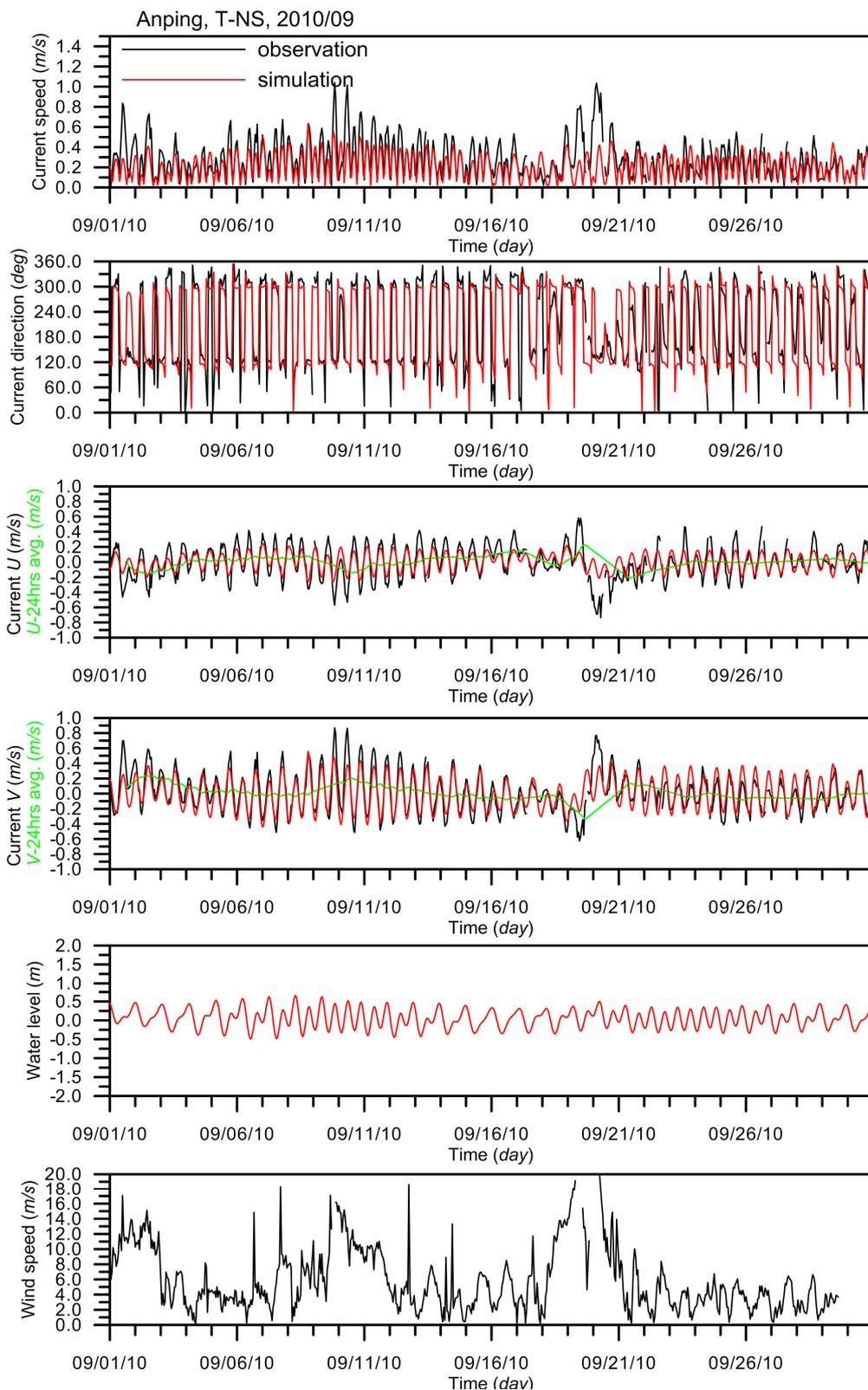


圖 4-62(續) 安平港港口外廓海域(T-NS_SW)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年9月份)

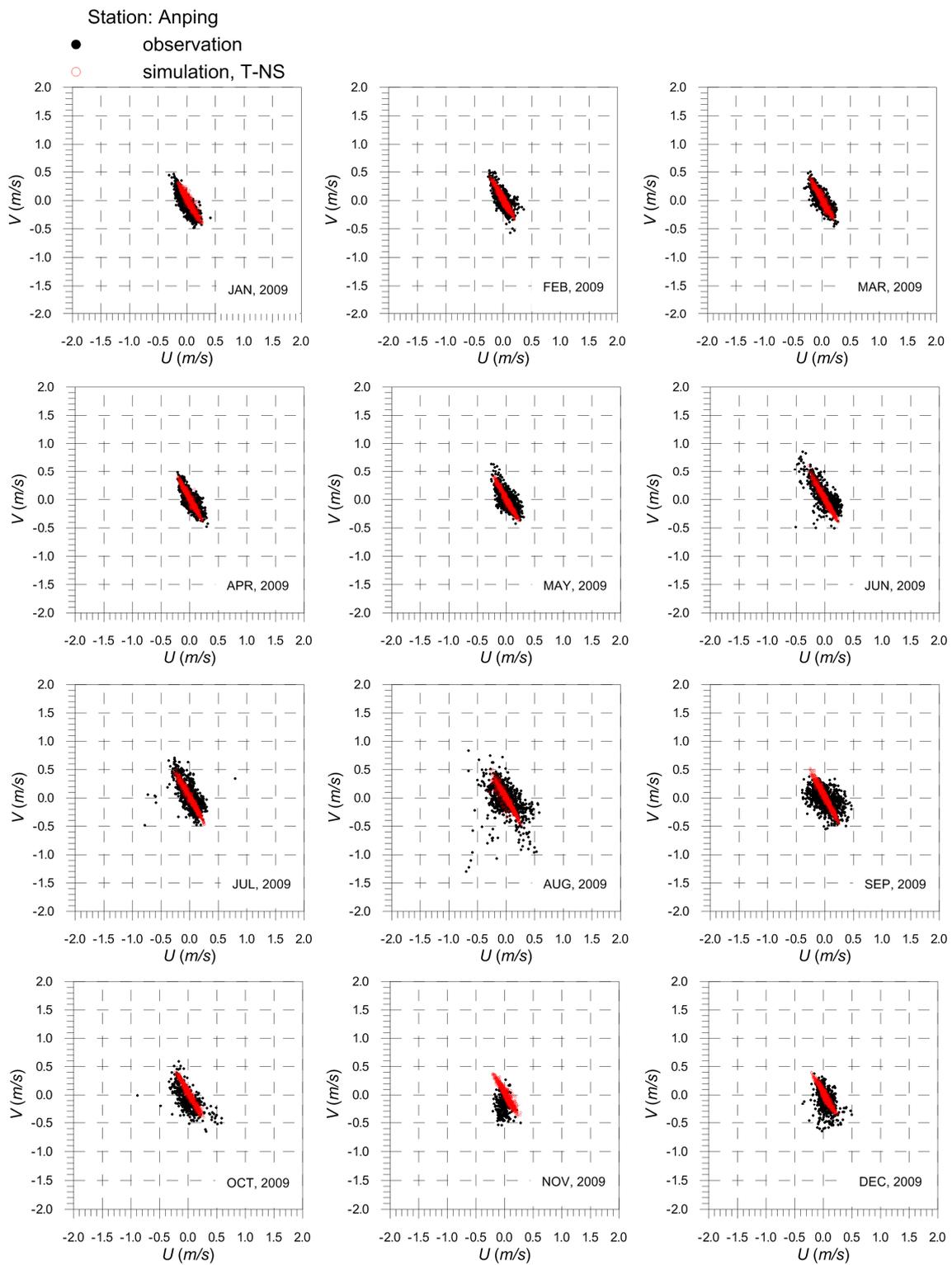


圖 4-63 安平港港口外廓海域(T-NS_SW)2009 年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

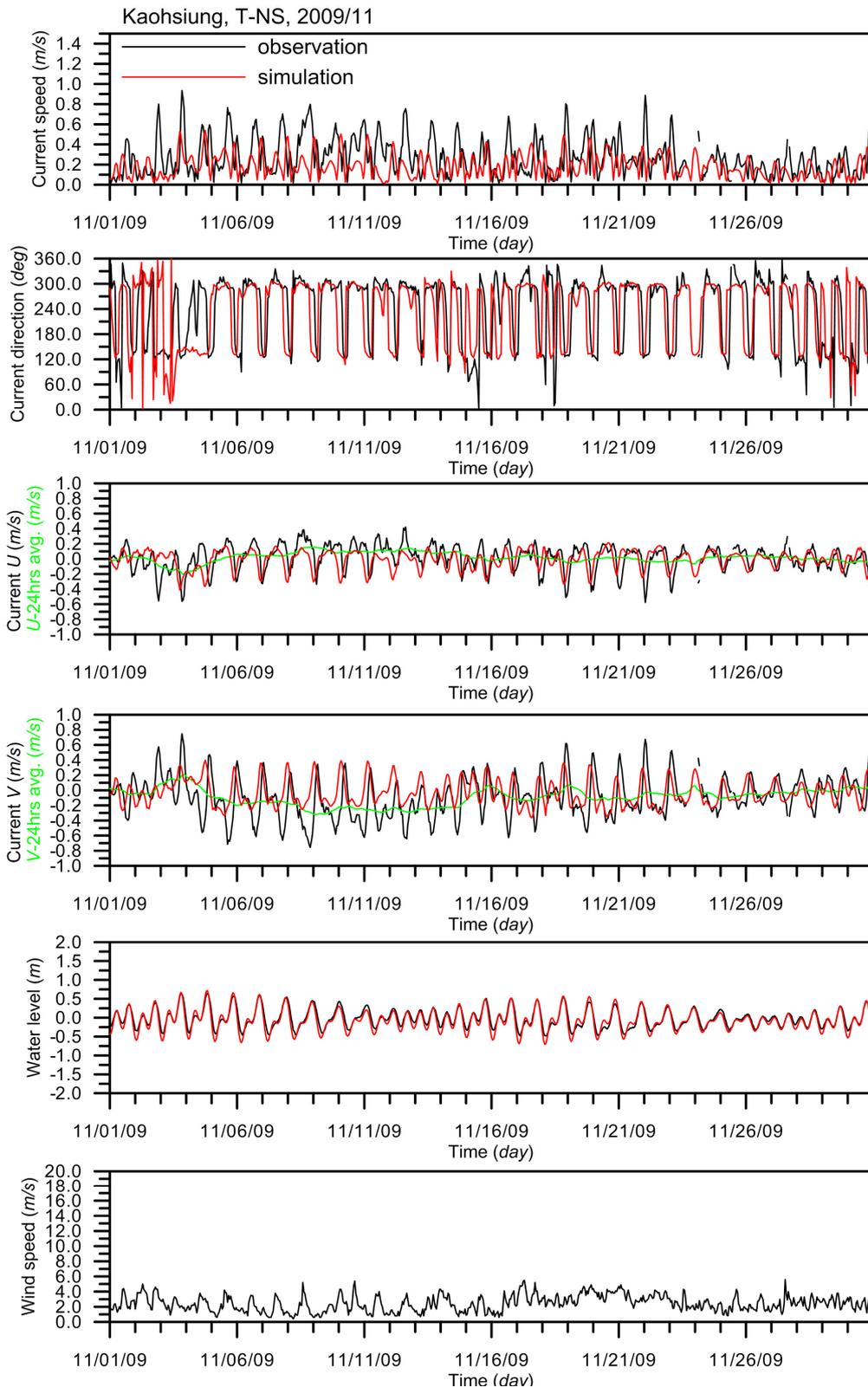


圖 4-64 高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)秋季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值，黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2009年11月份)

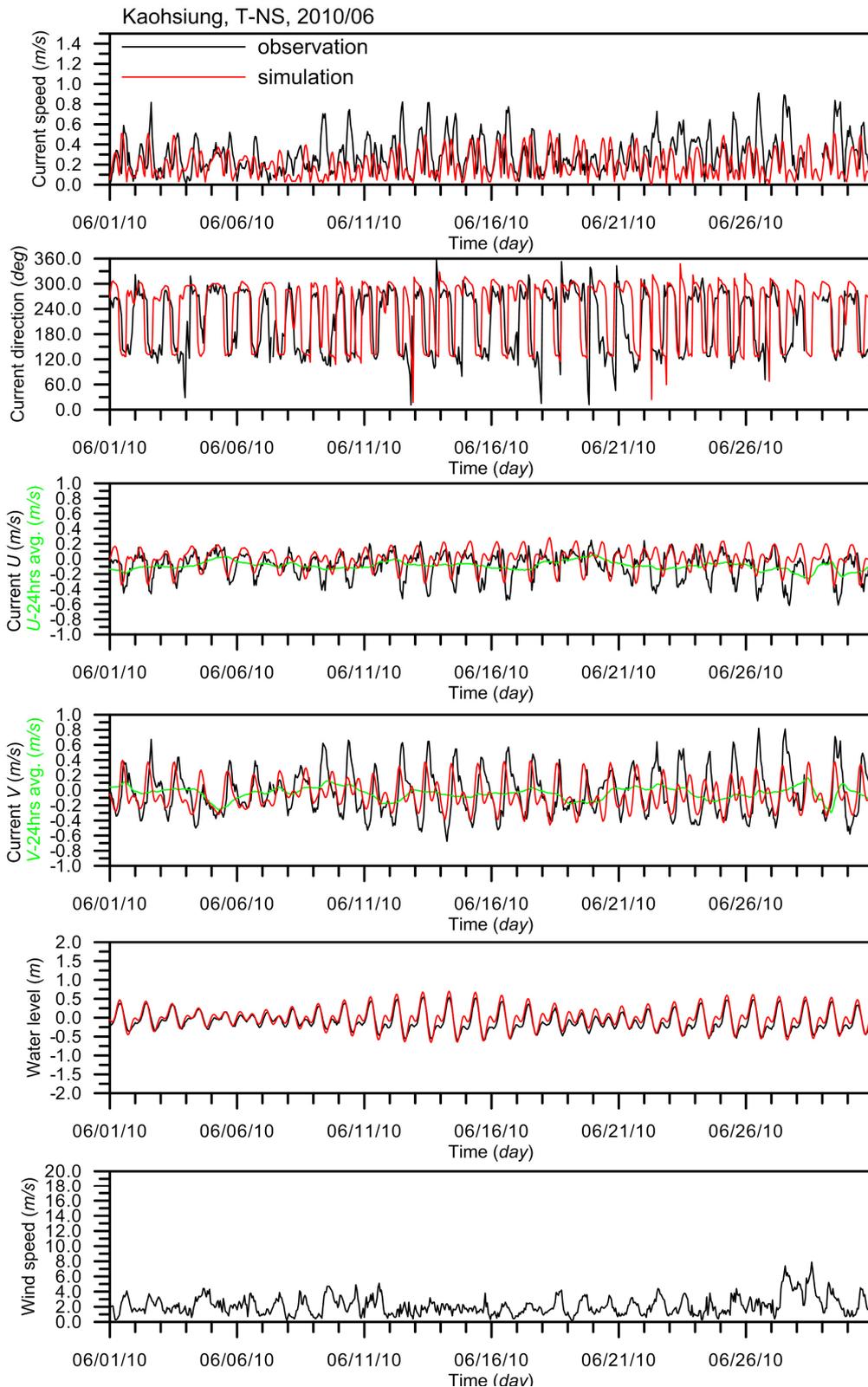


圖 4-64(續) 高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)夏季觀測與模式模擬結果之海流與潮位比較圖(紅線為模式值,黑線為實測值)及對應之觀測風速時序列圖(2010年6月份)

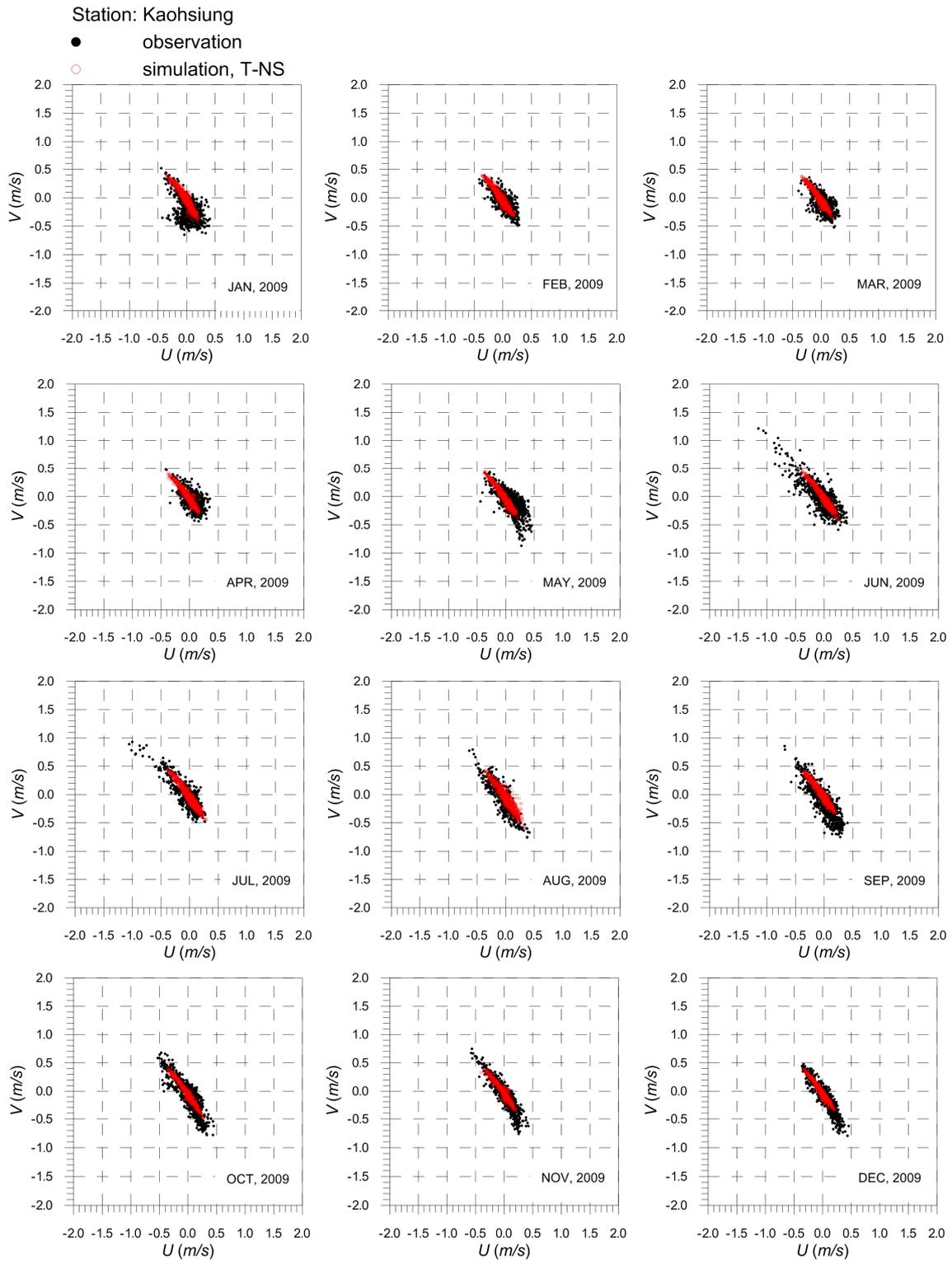


圖 4-65 高雄港港口外廓海域(T-NS_SW)2009 年分月實測(黑)與綜合洋流及潮流效應所模擬計算(紅)之海流流速集散圖比較

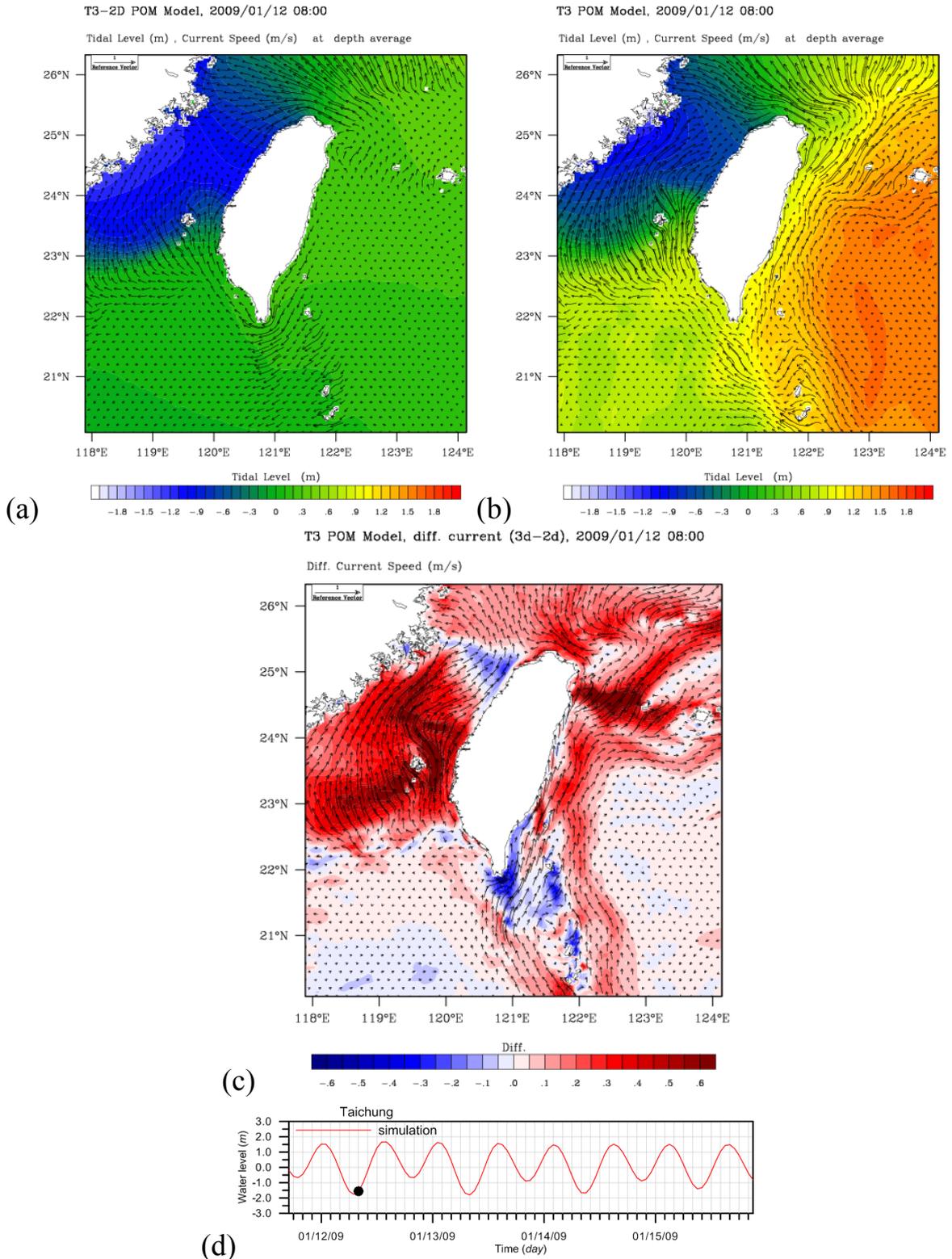


圖 4-66 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 08:00

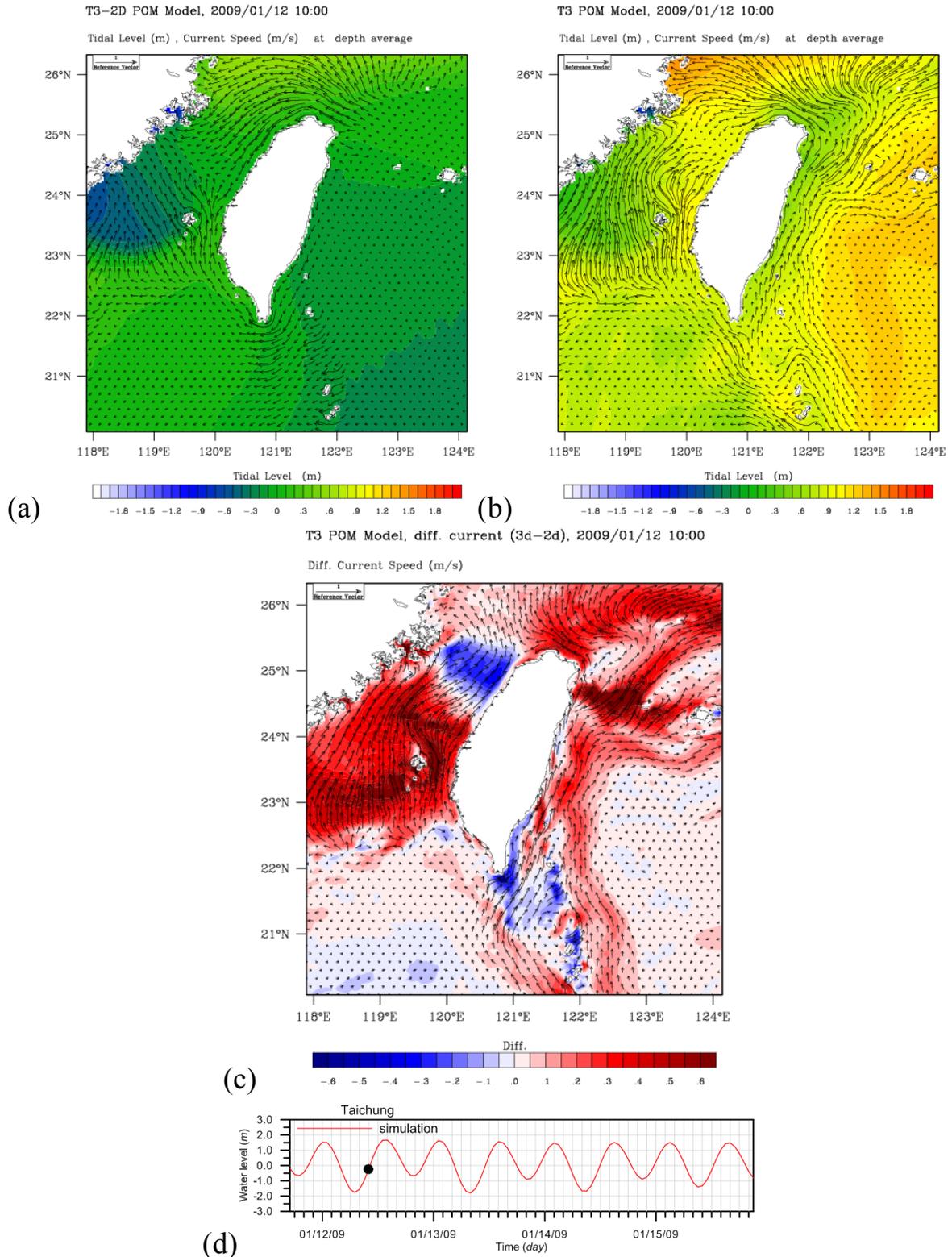


圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 10:00

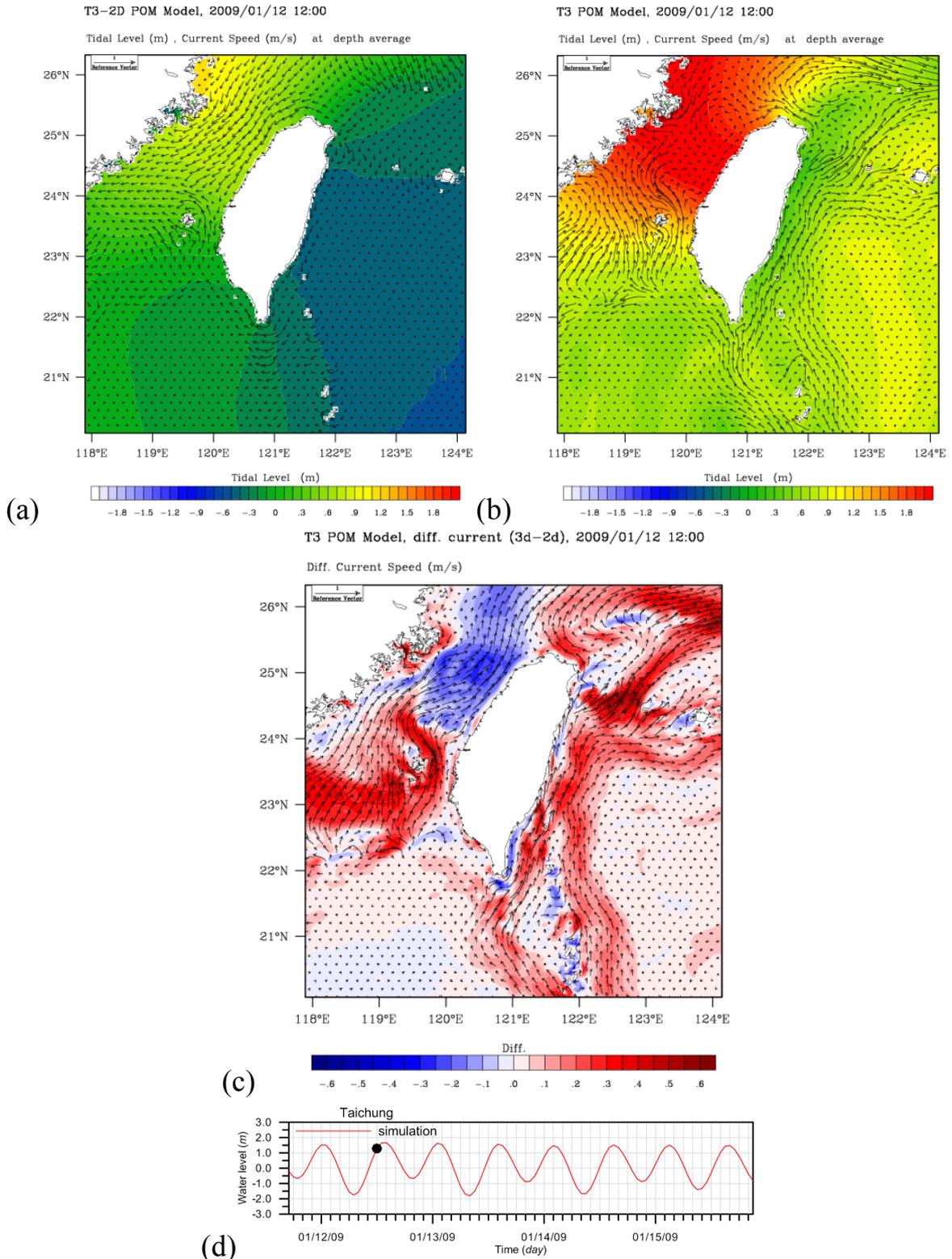


圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 12:00

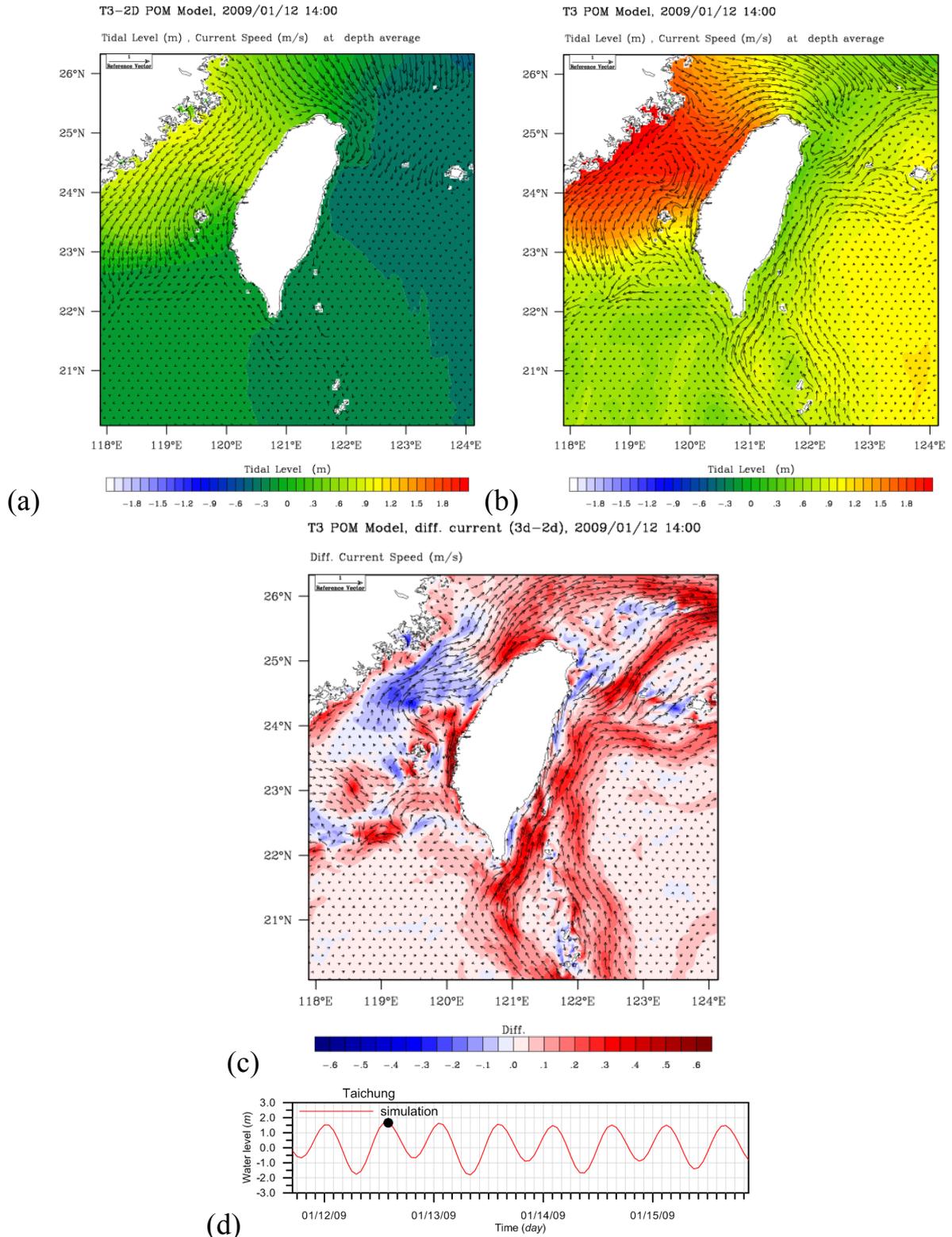


圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 14:00

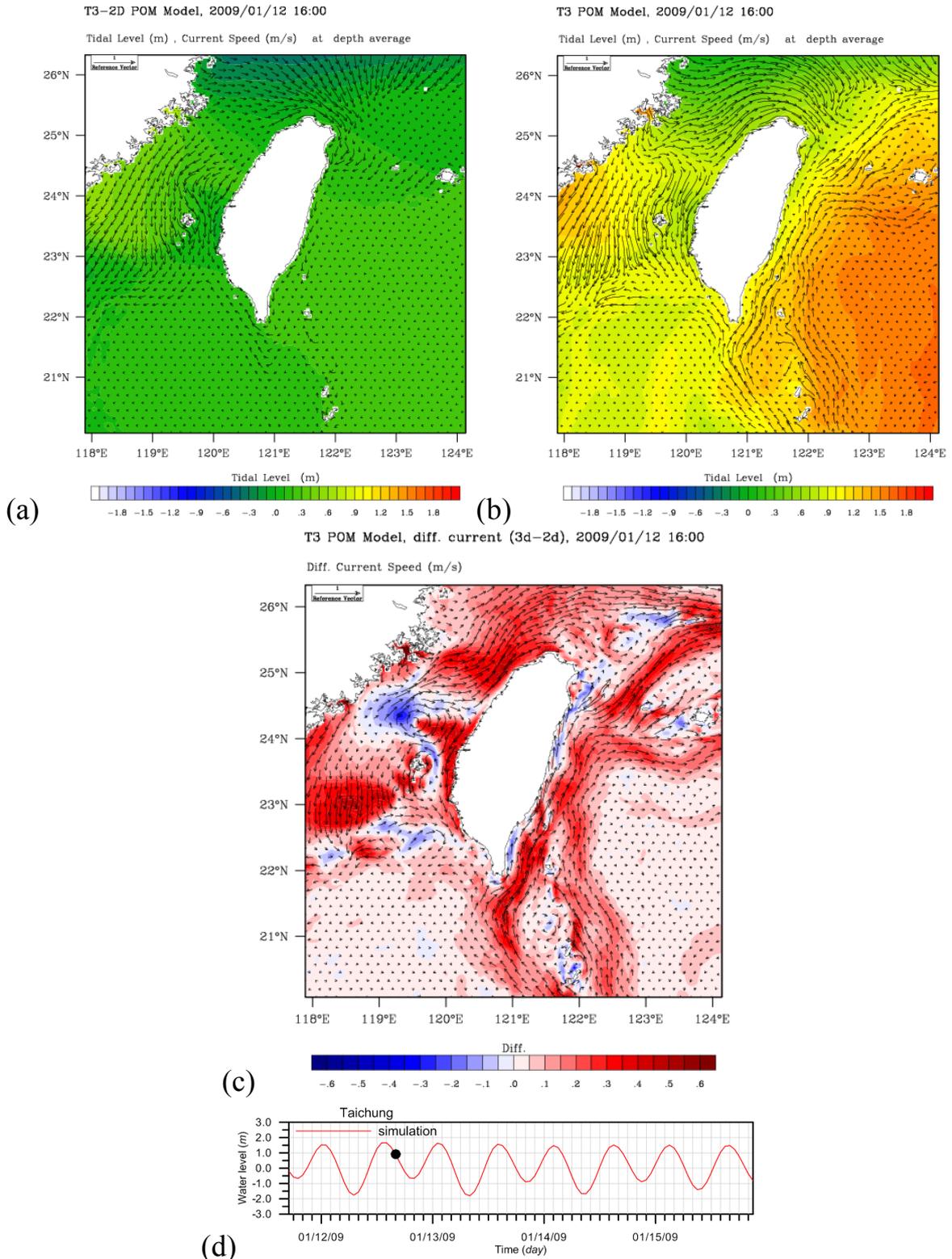


圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 16:00

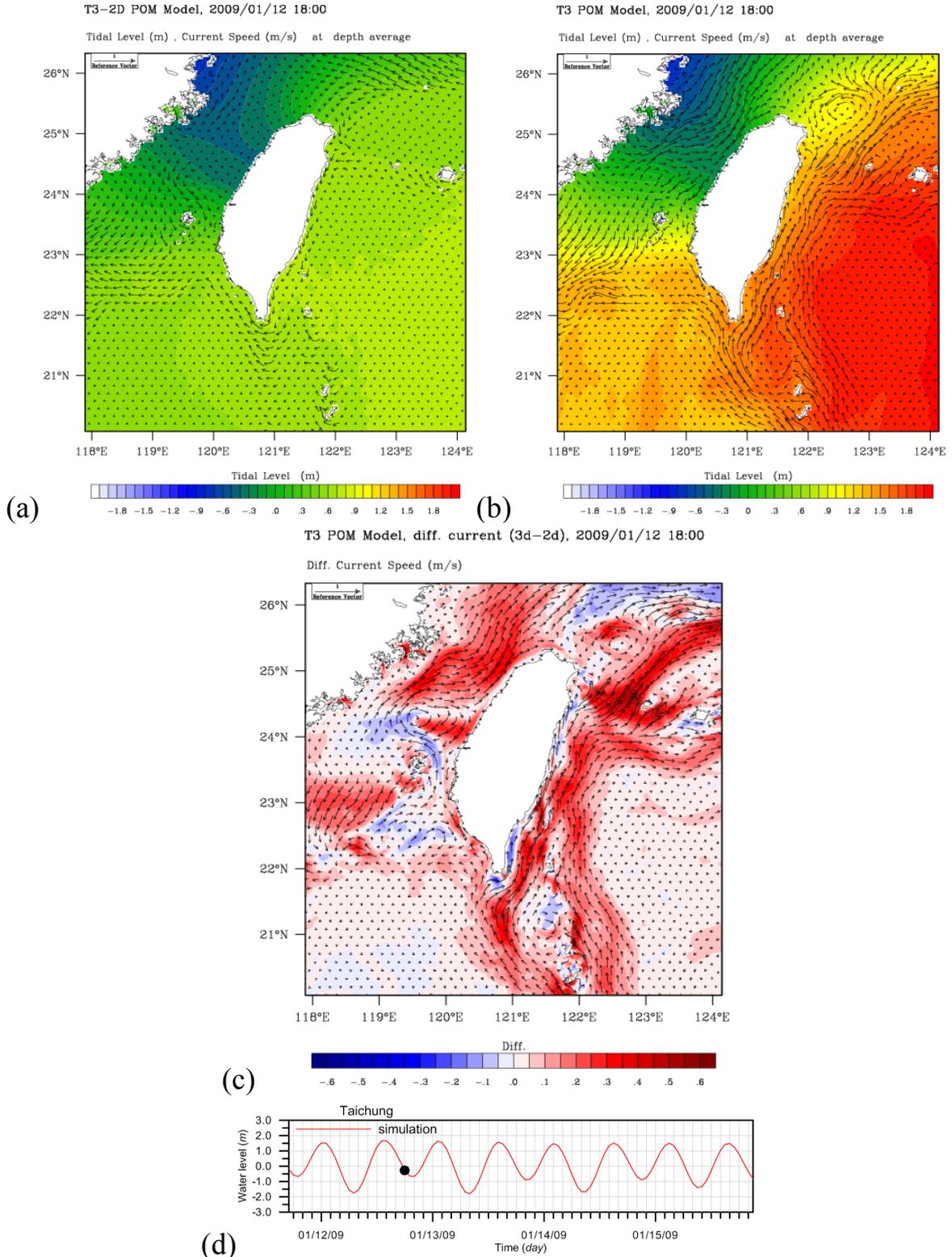


圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 18:00

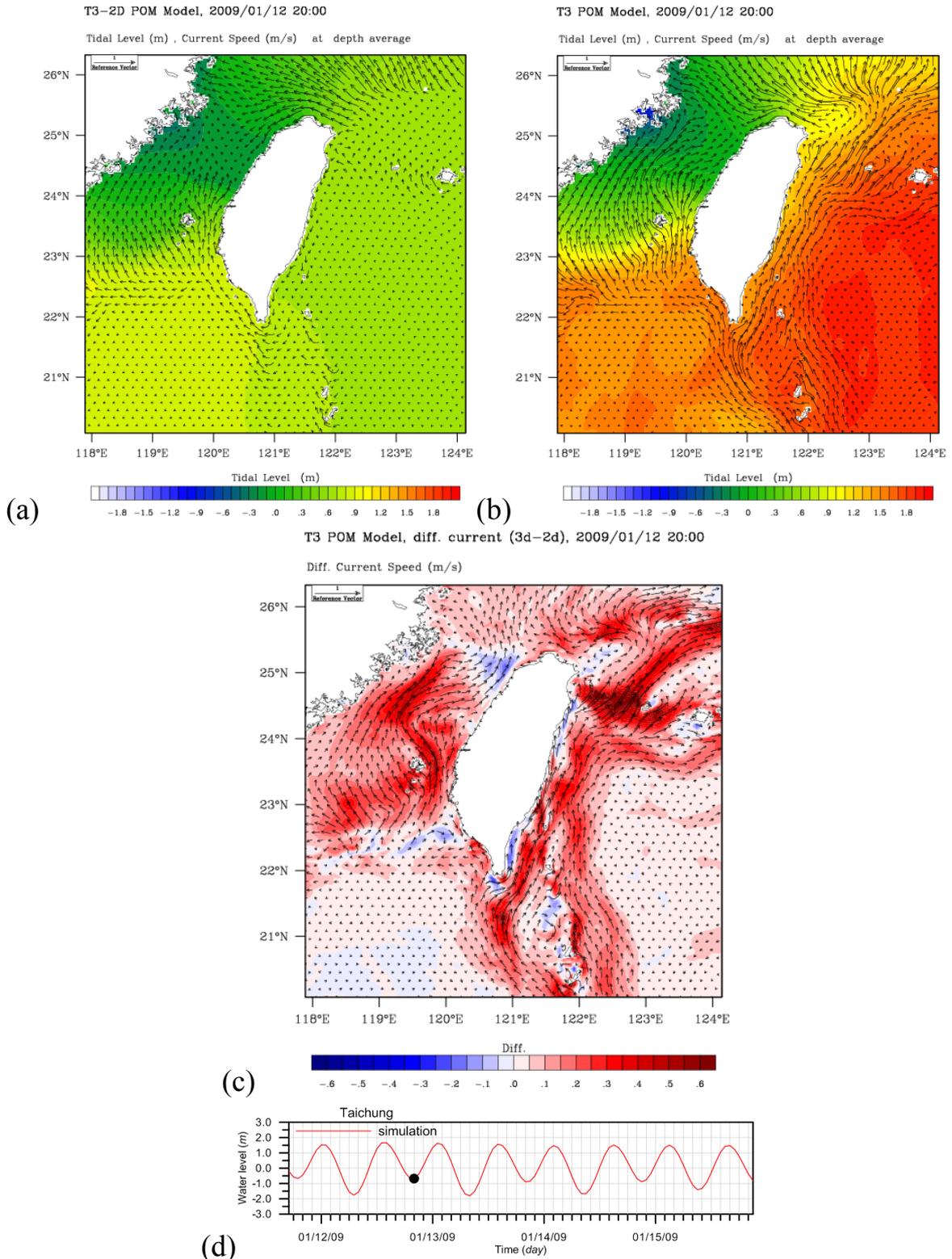


圖 4-66(續) 臺灣四周海域(T3)冬季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/01/12 20:00

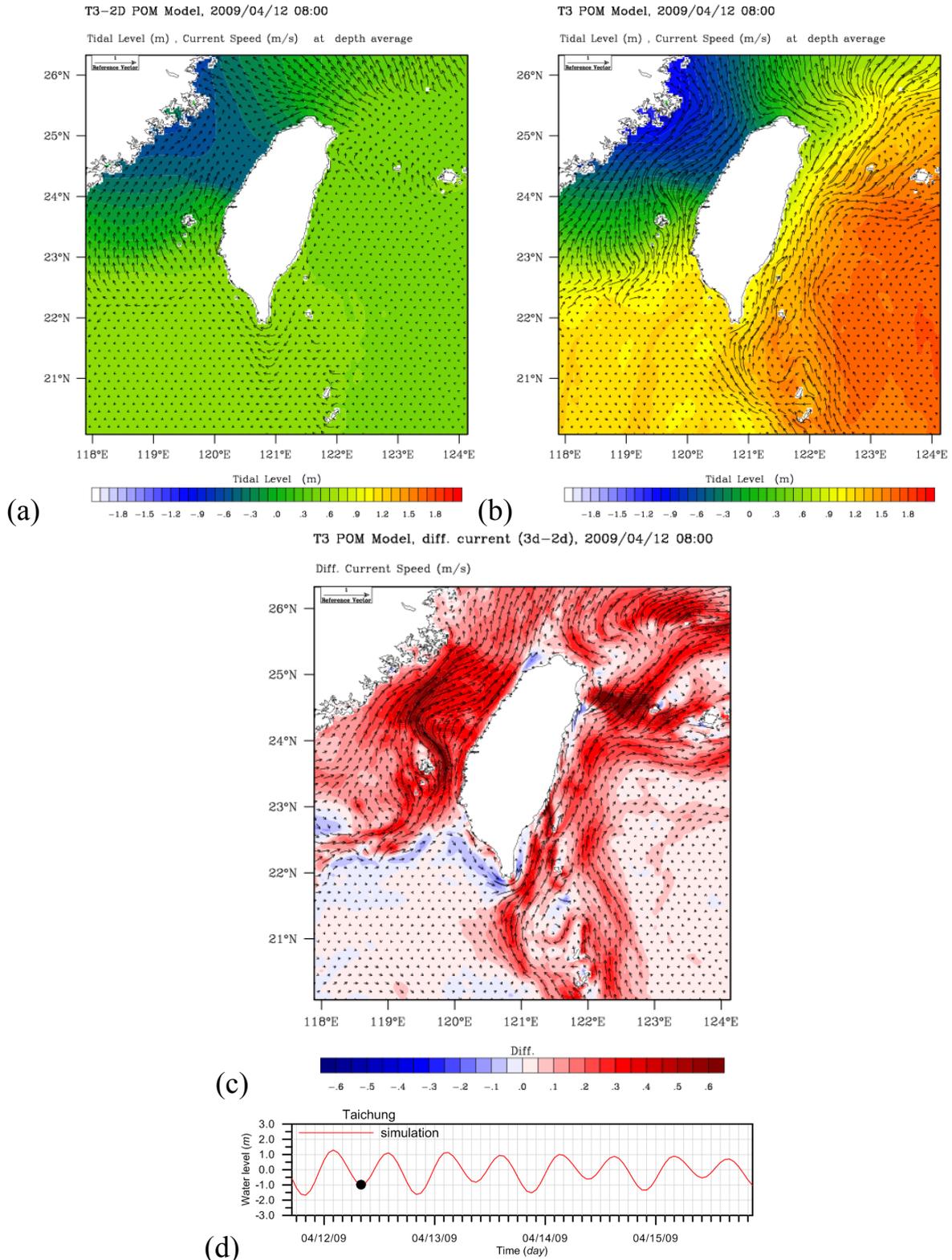


圖 4-67 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 08:00

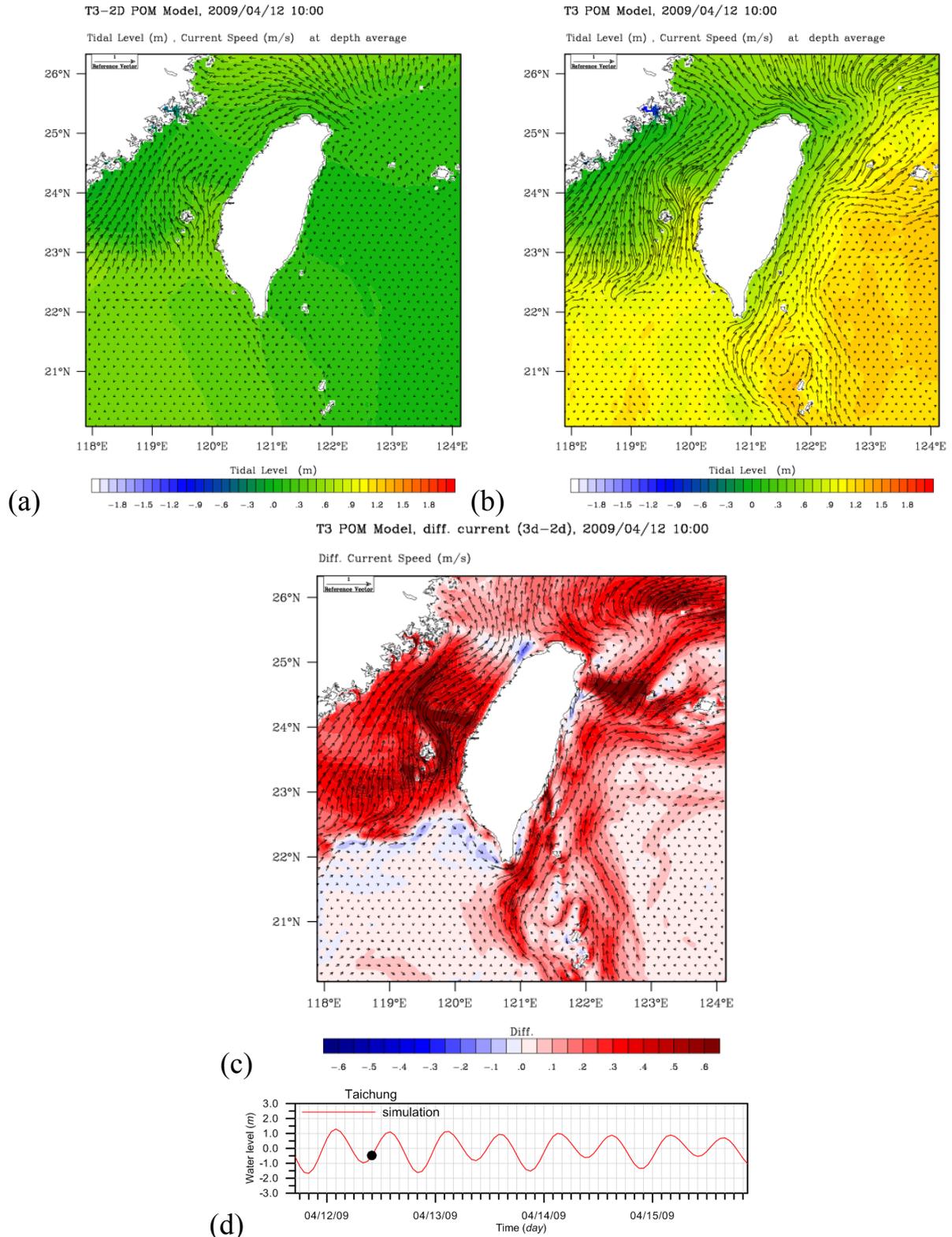


圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 10:00

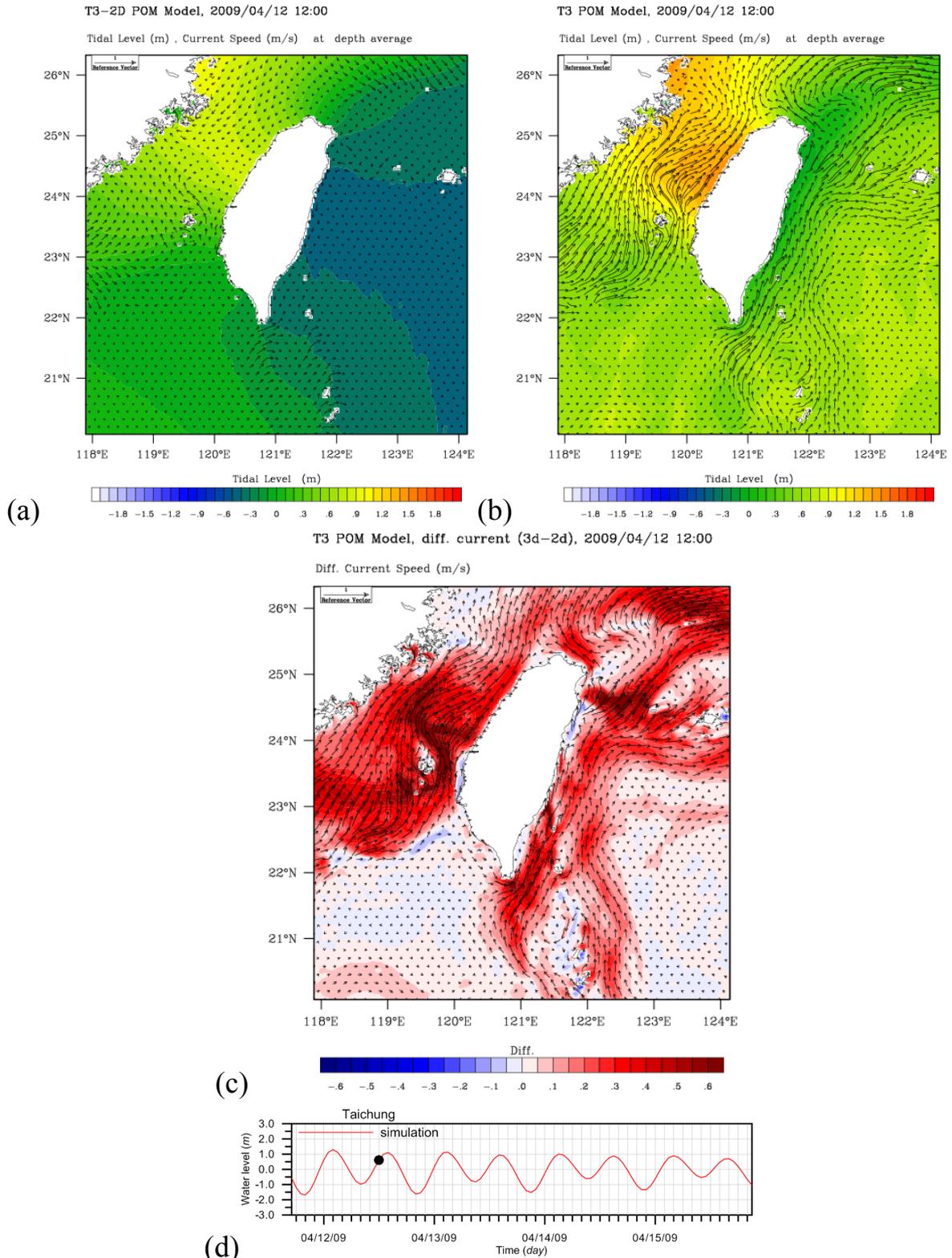


圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 12:00

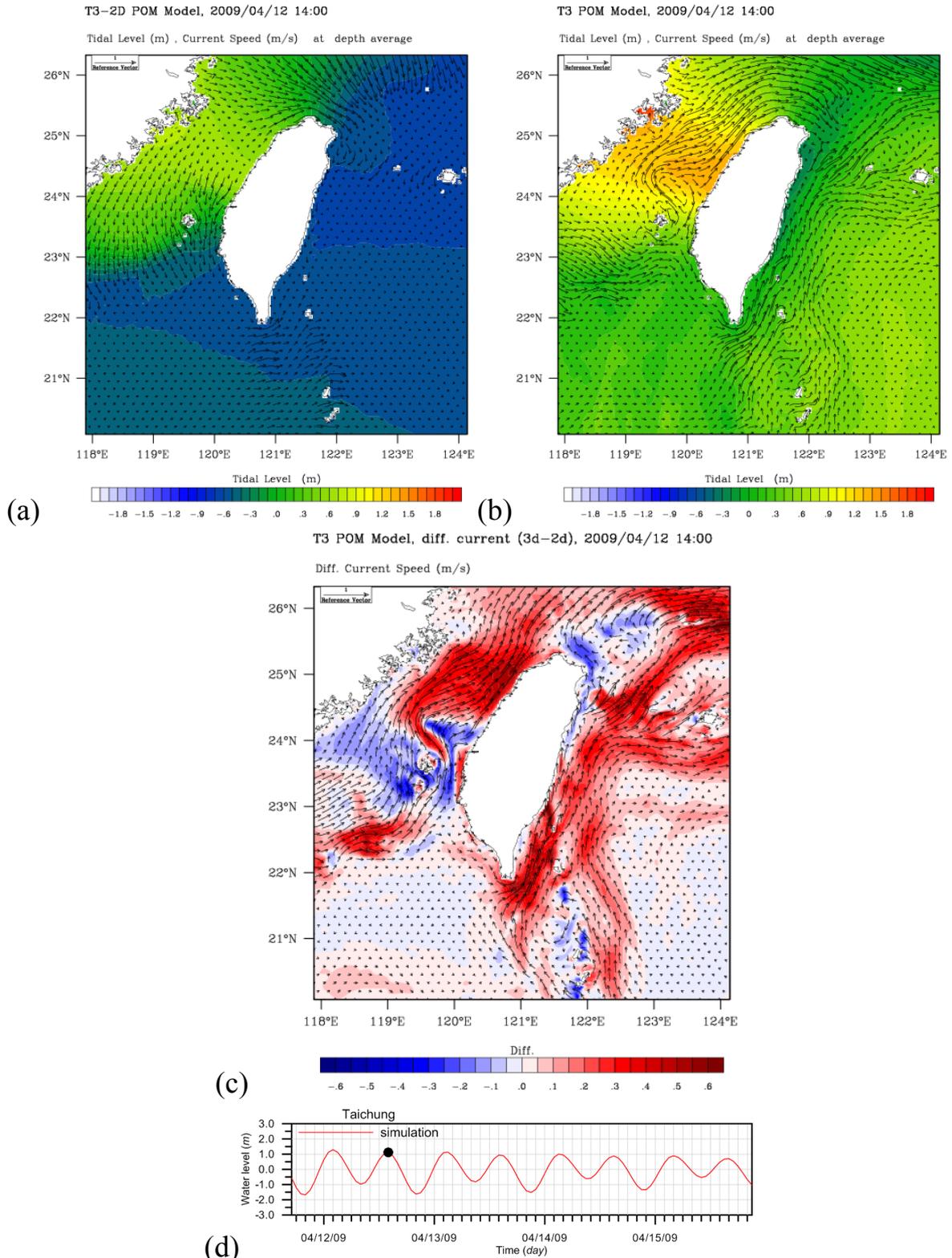


圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 14:00

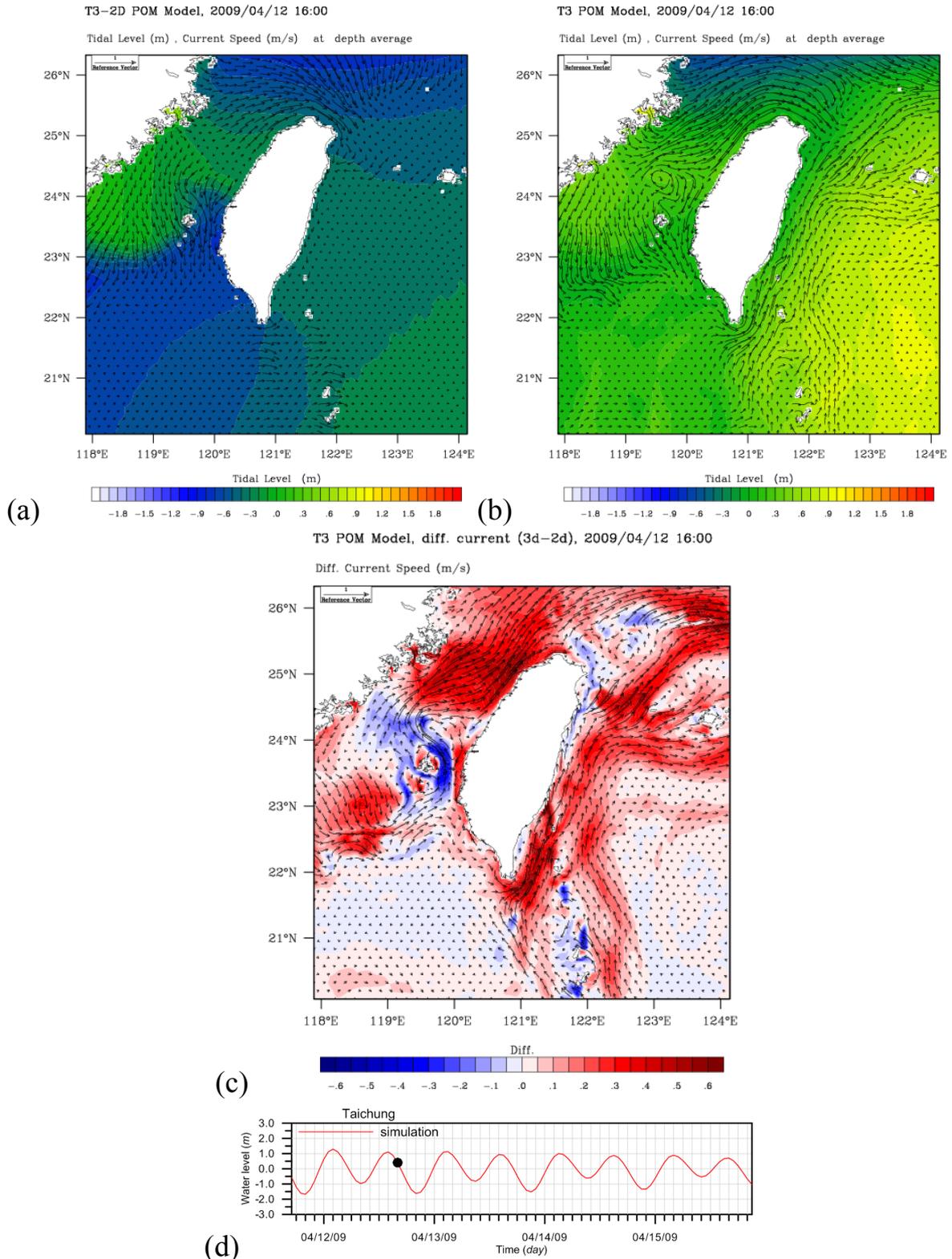


圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 16:00

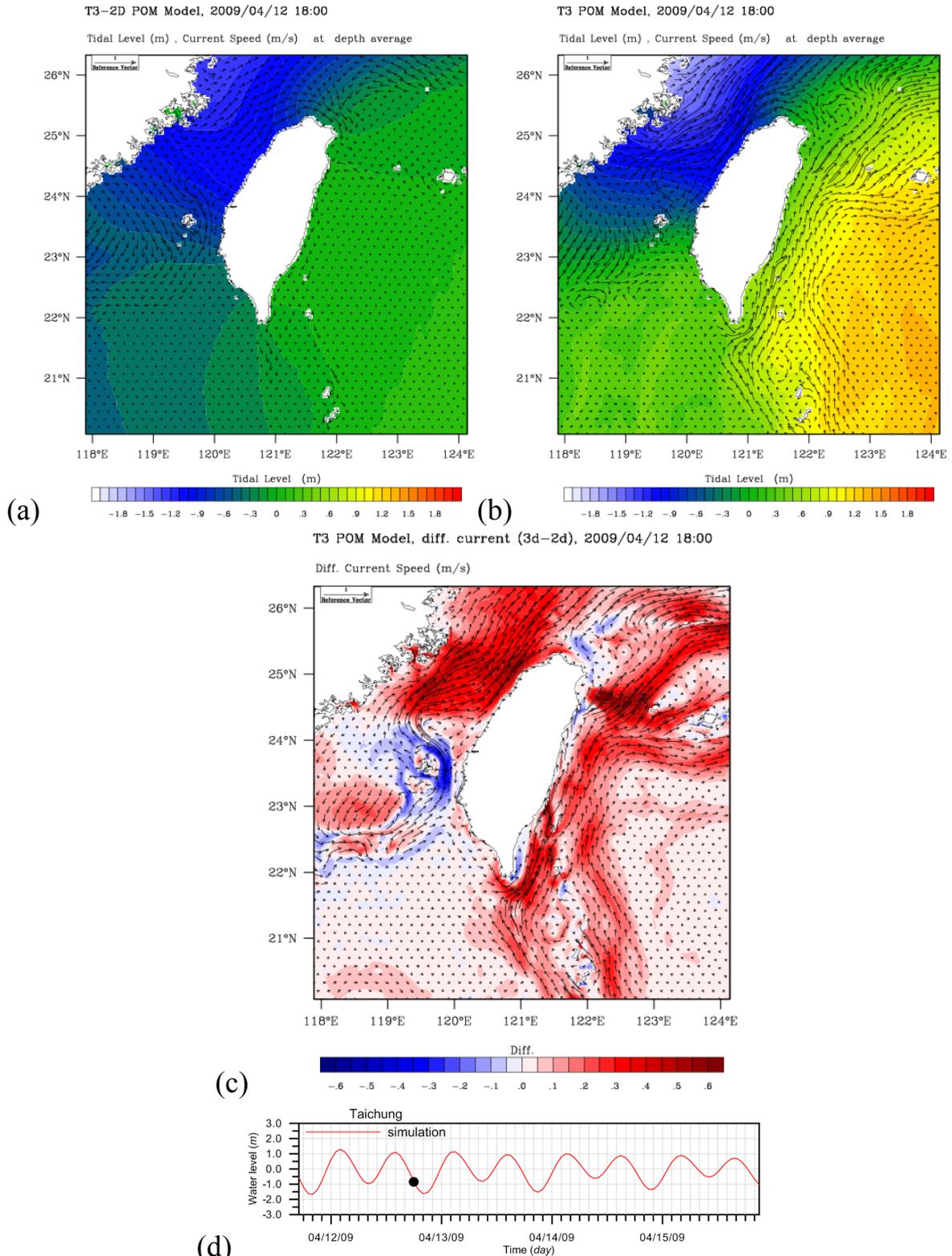


圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 18:00

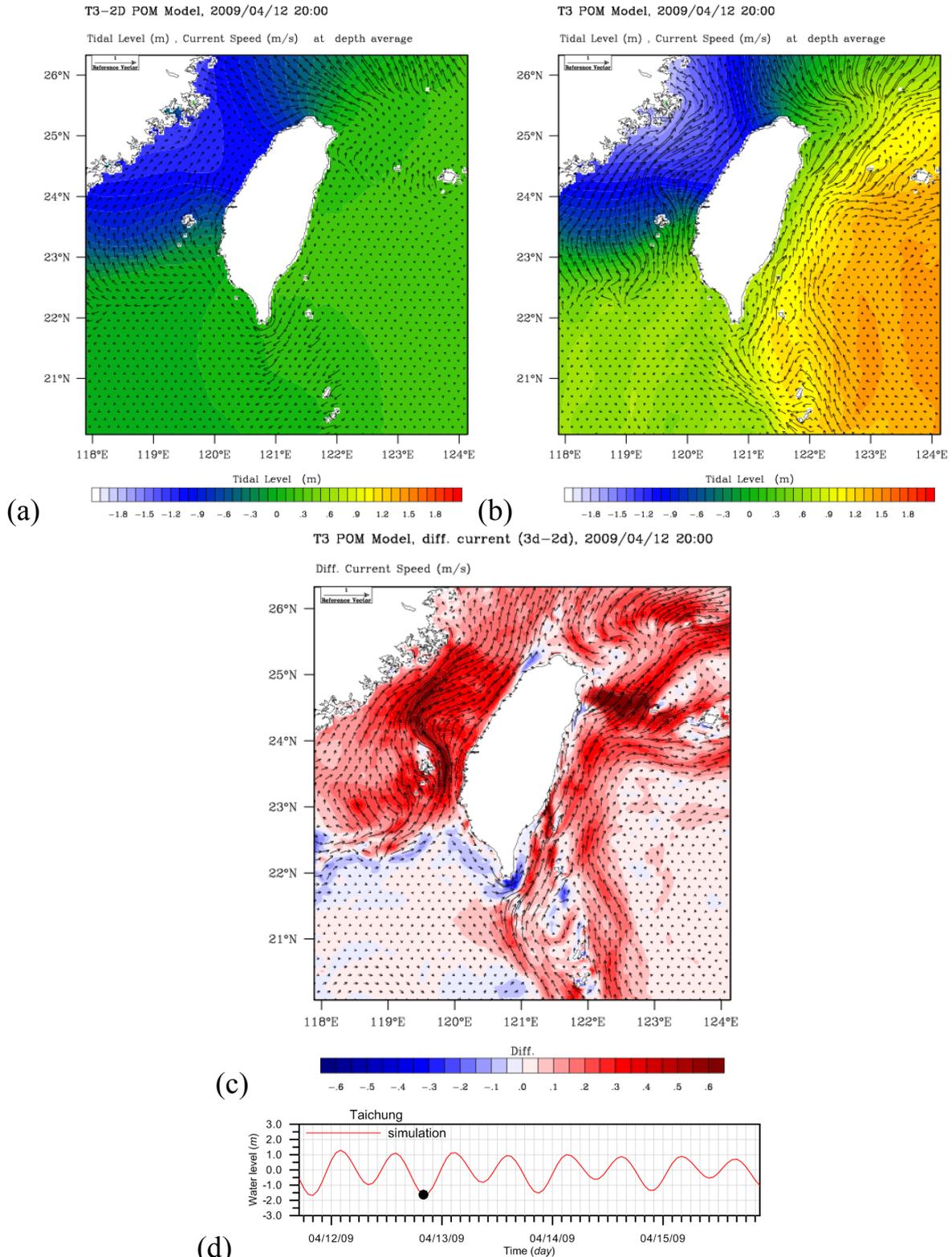


圖 4-67(續) 臺灣四周海域(T3)春季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/04/12 20:00

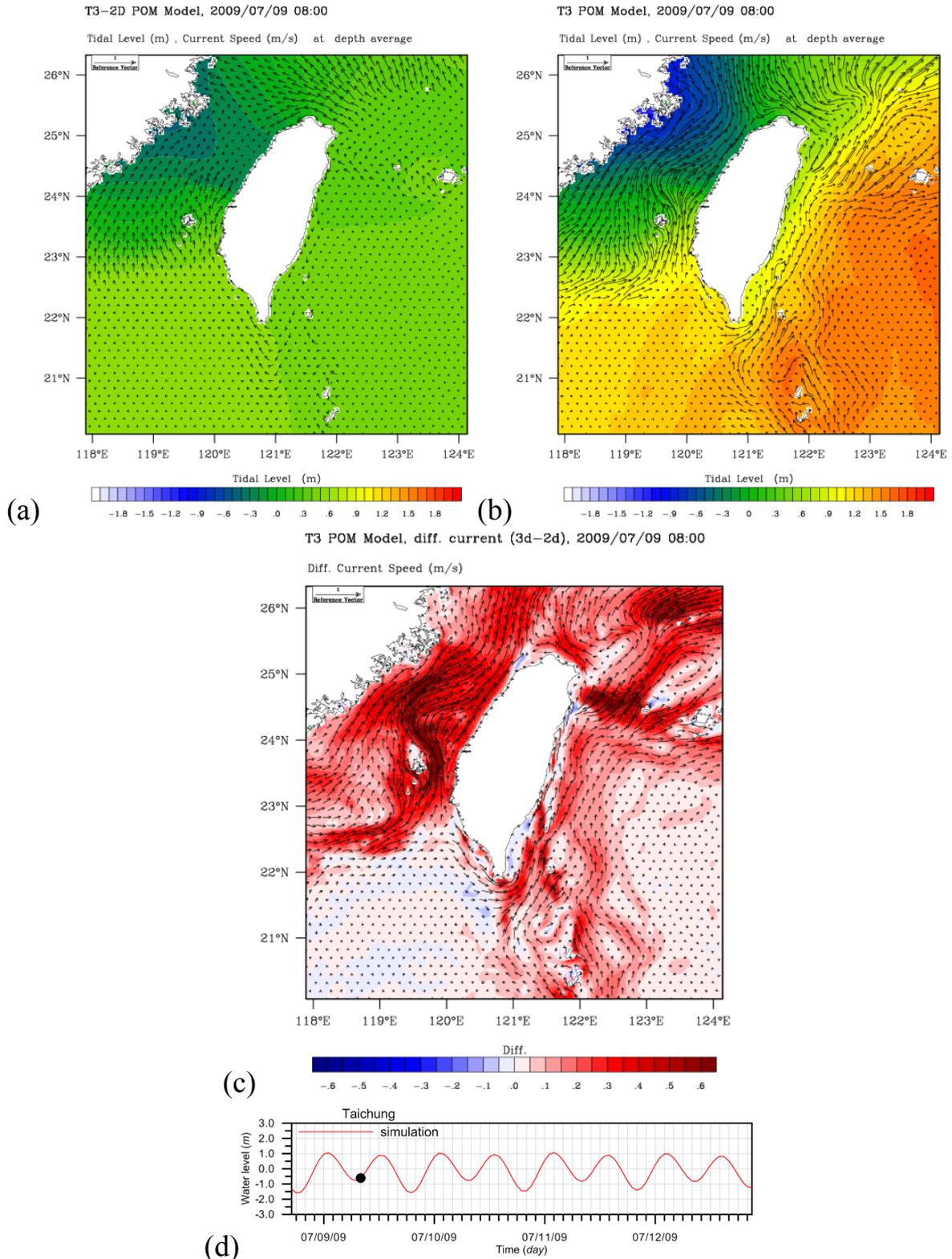


圖 4-68 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 08:00

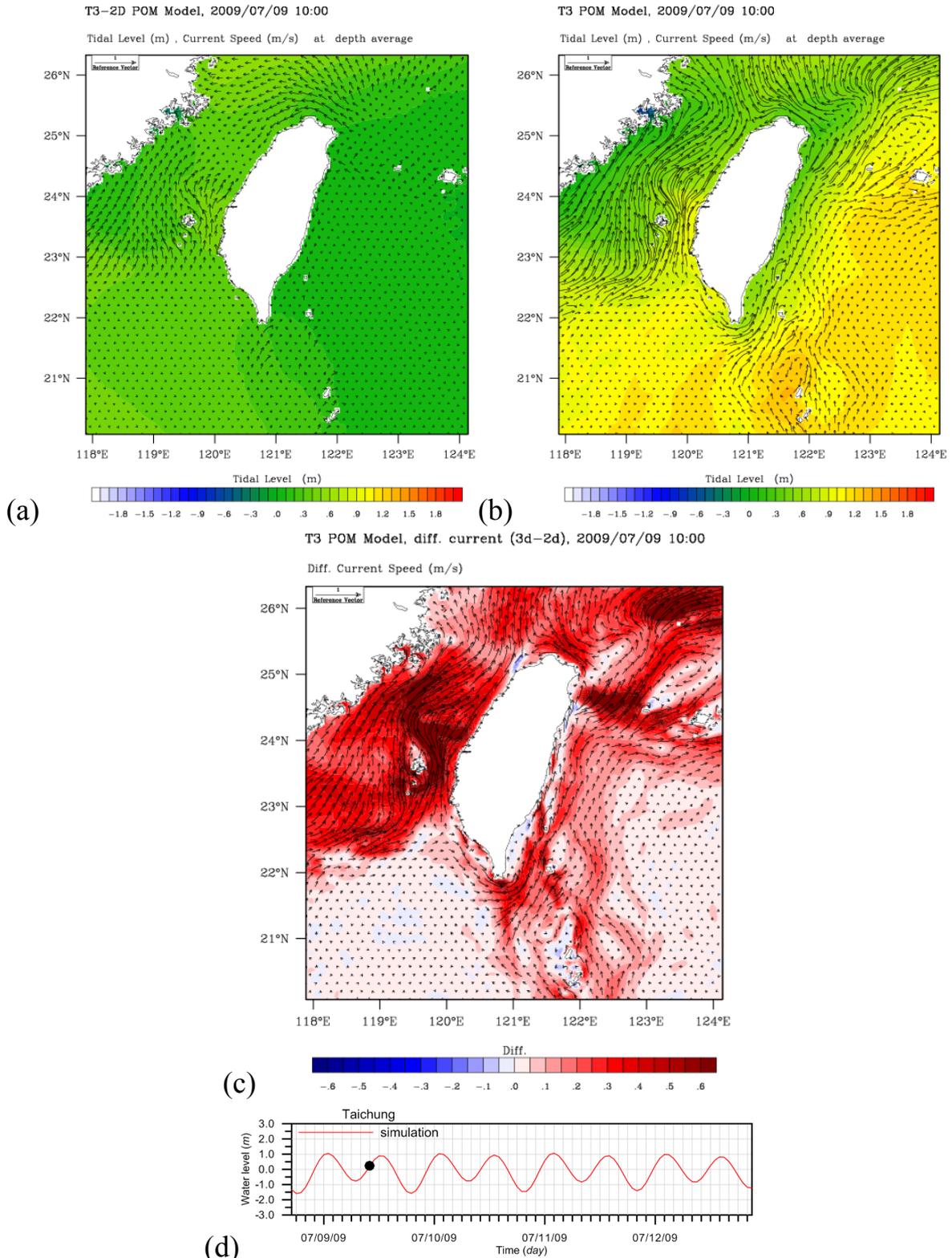


圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 10:00

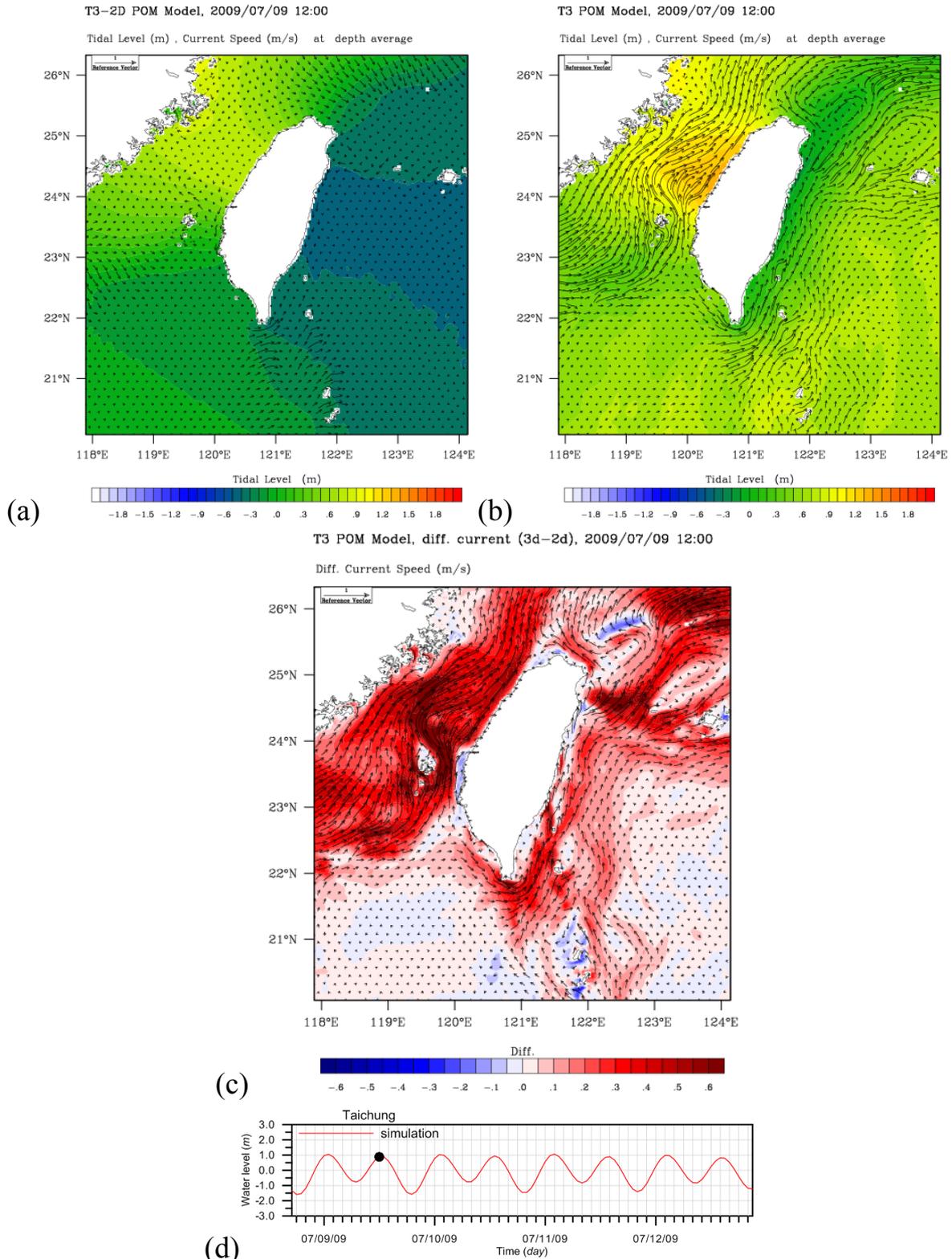


圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 12:00

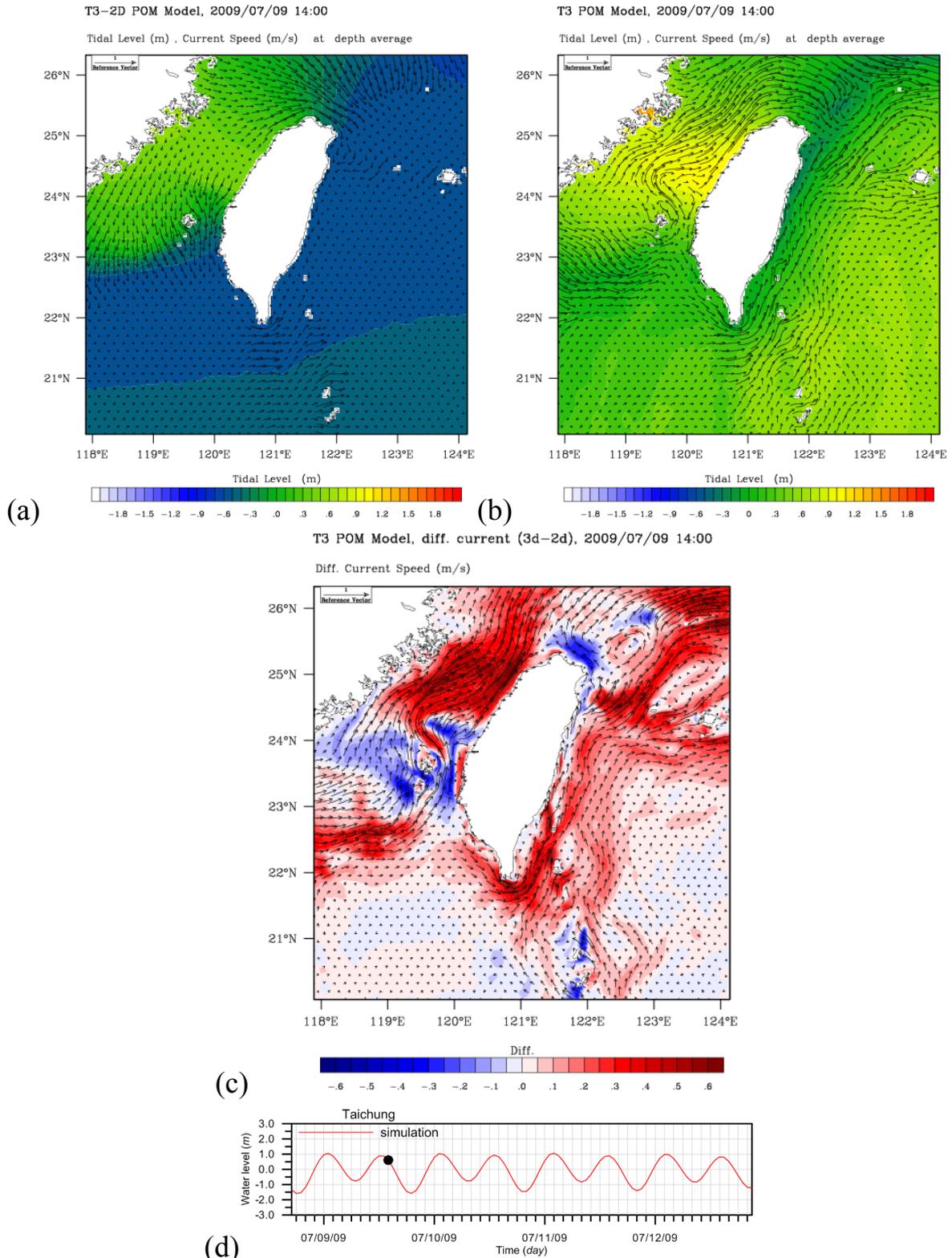


圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 14:00

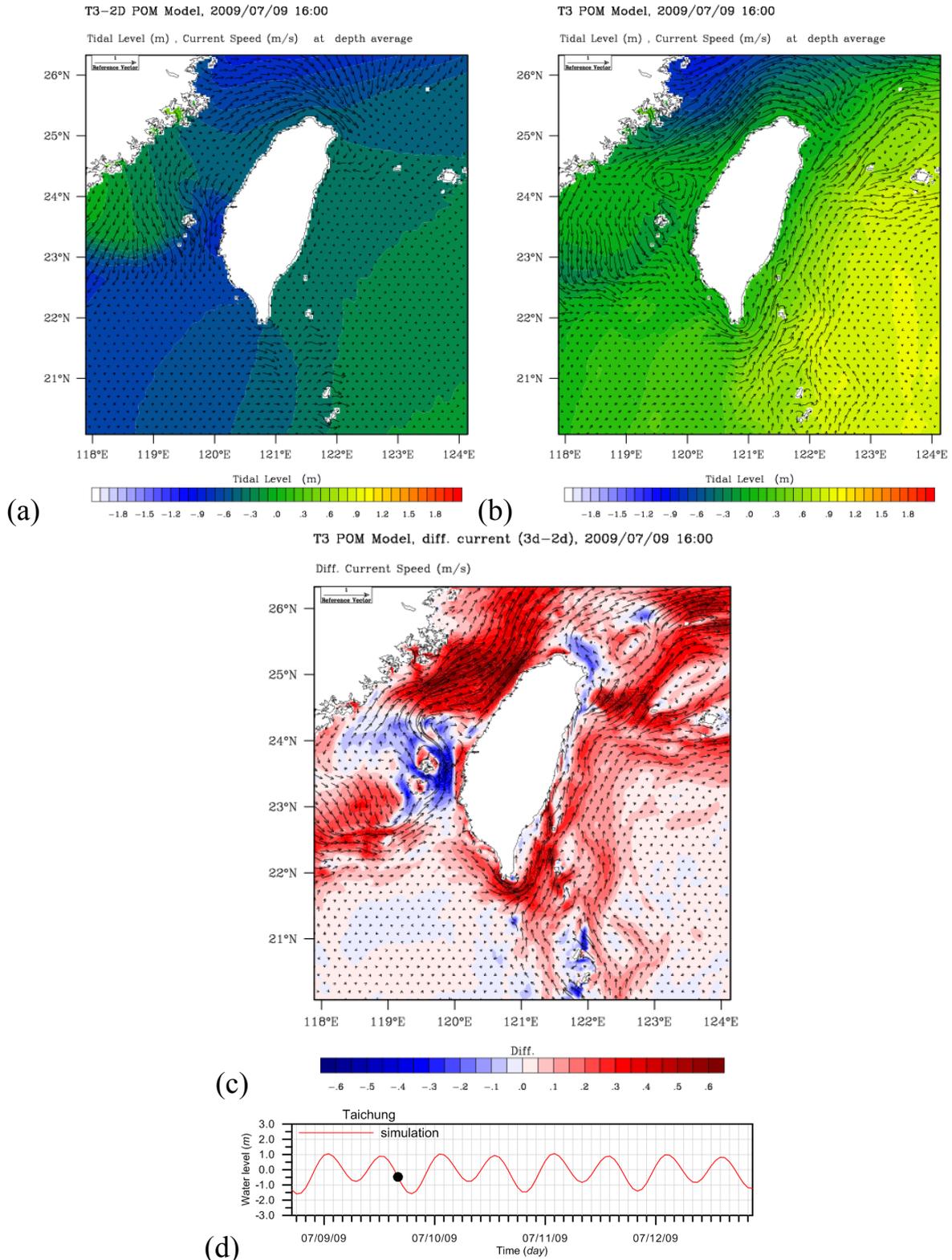


圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 16:00

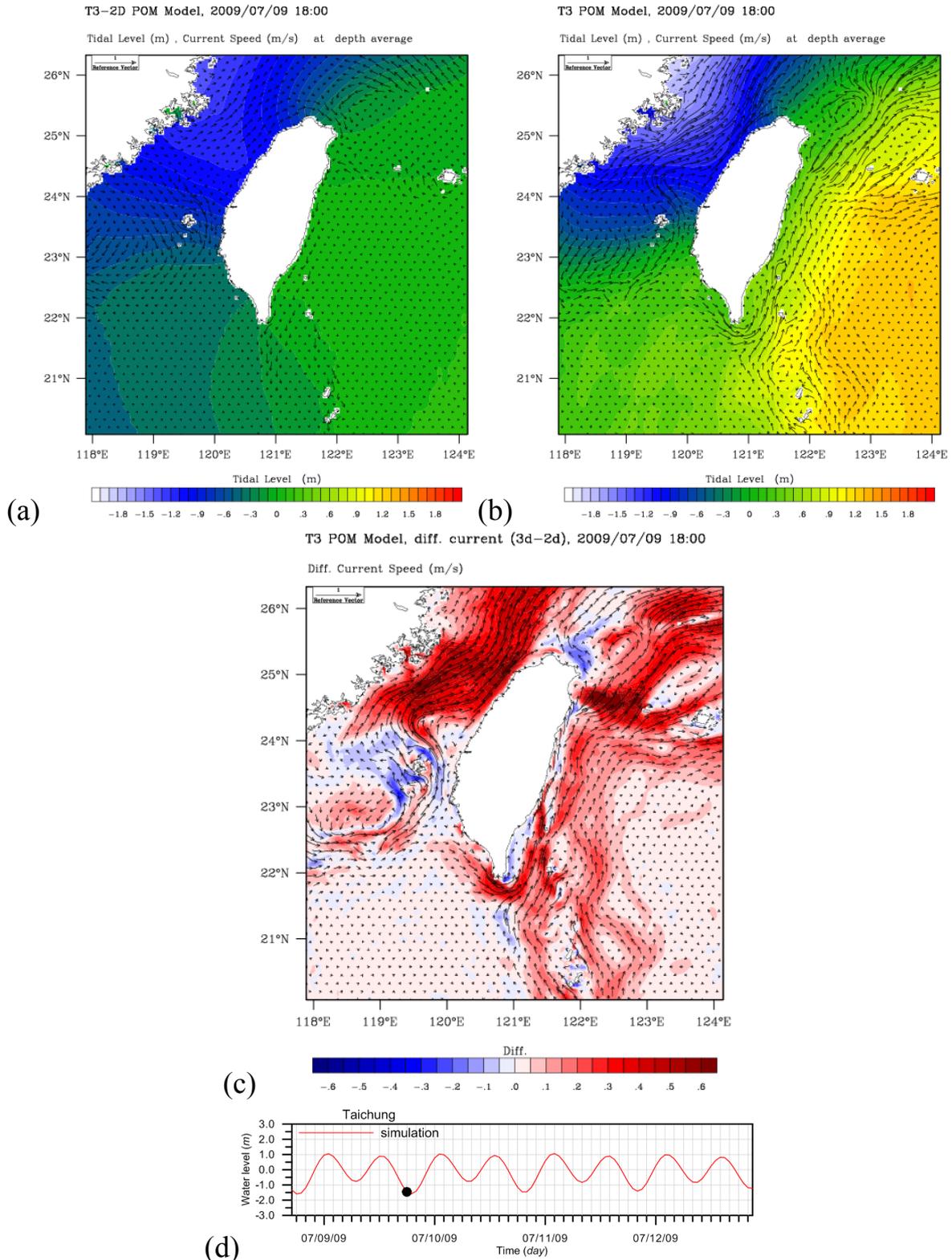


圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 18:00

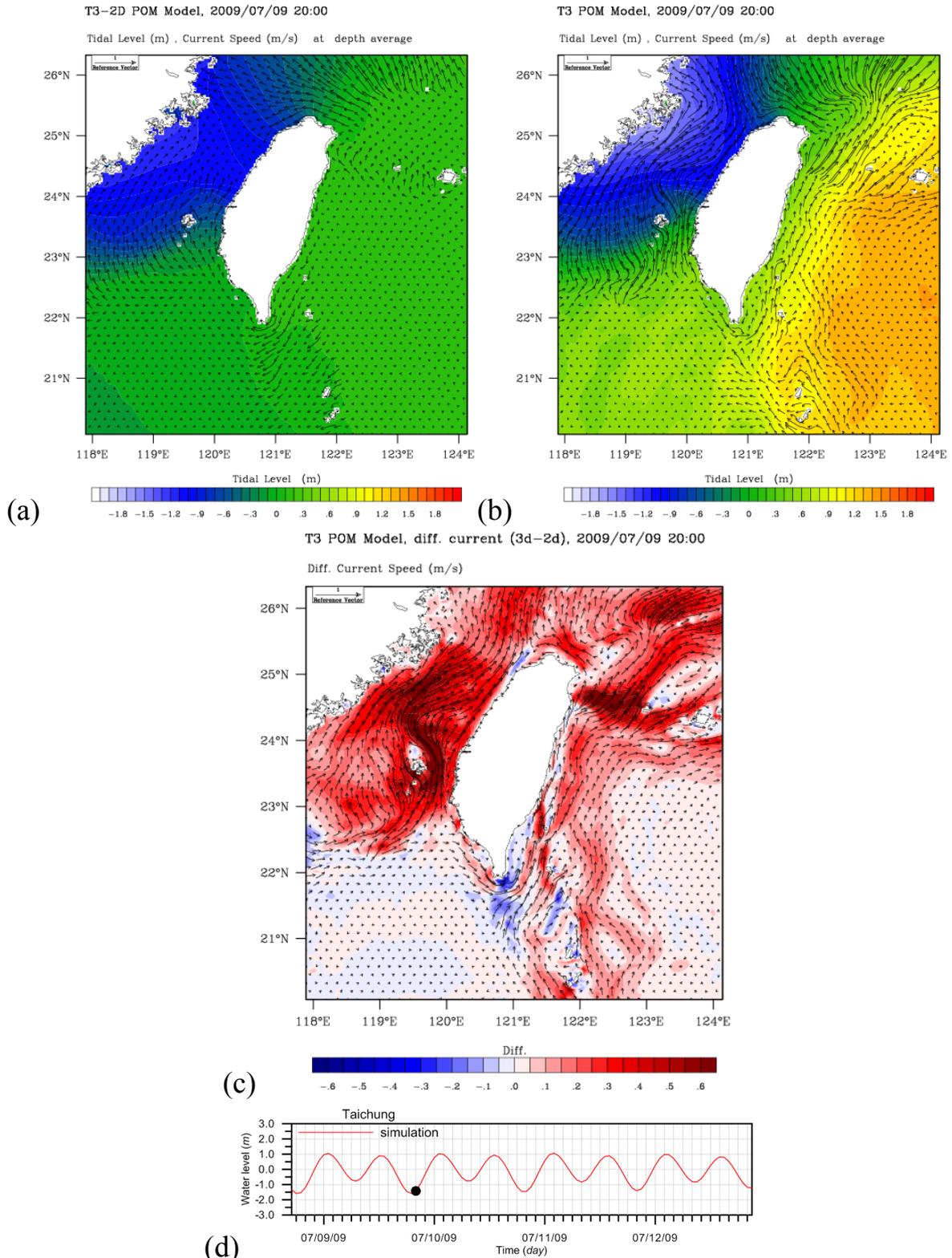


圖 4-68(續) 臺灣四周海域(T3)夏季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/07/09 20:00

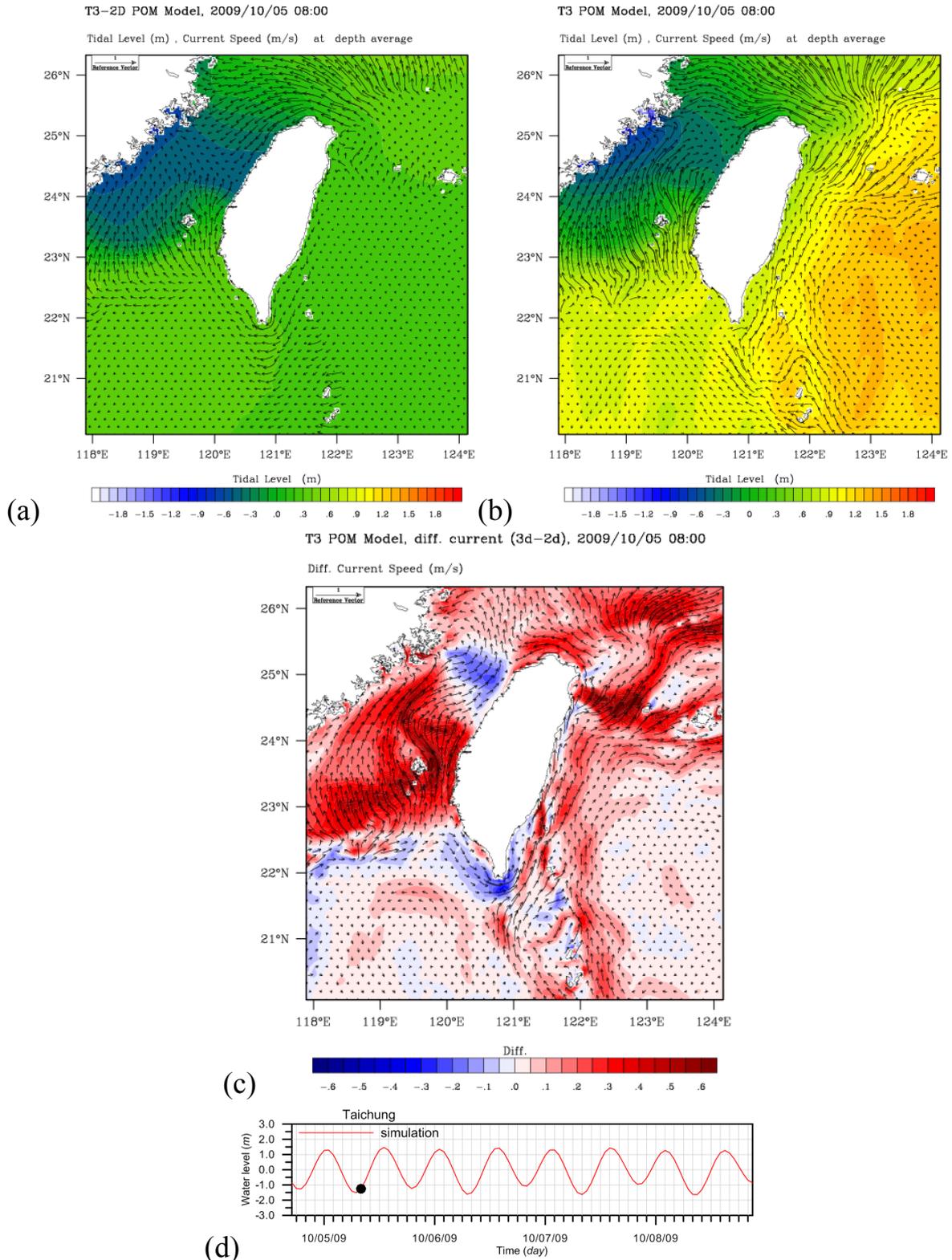


圖 4-69 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 08:00

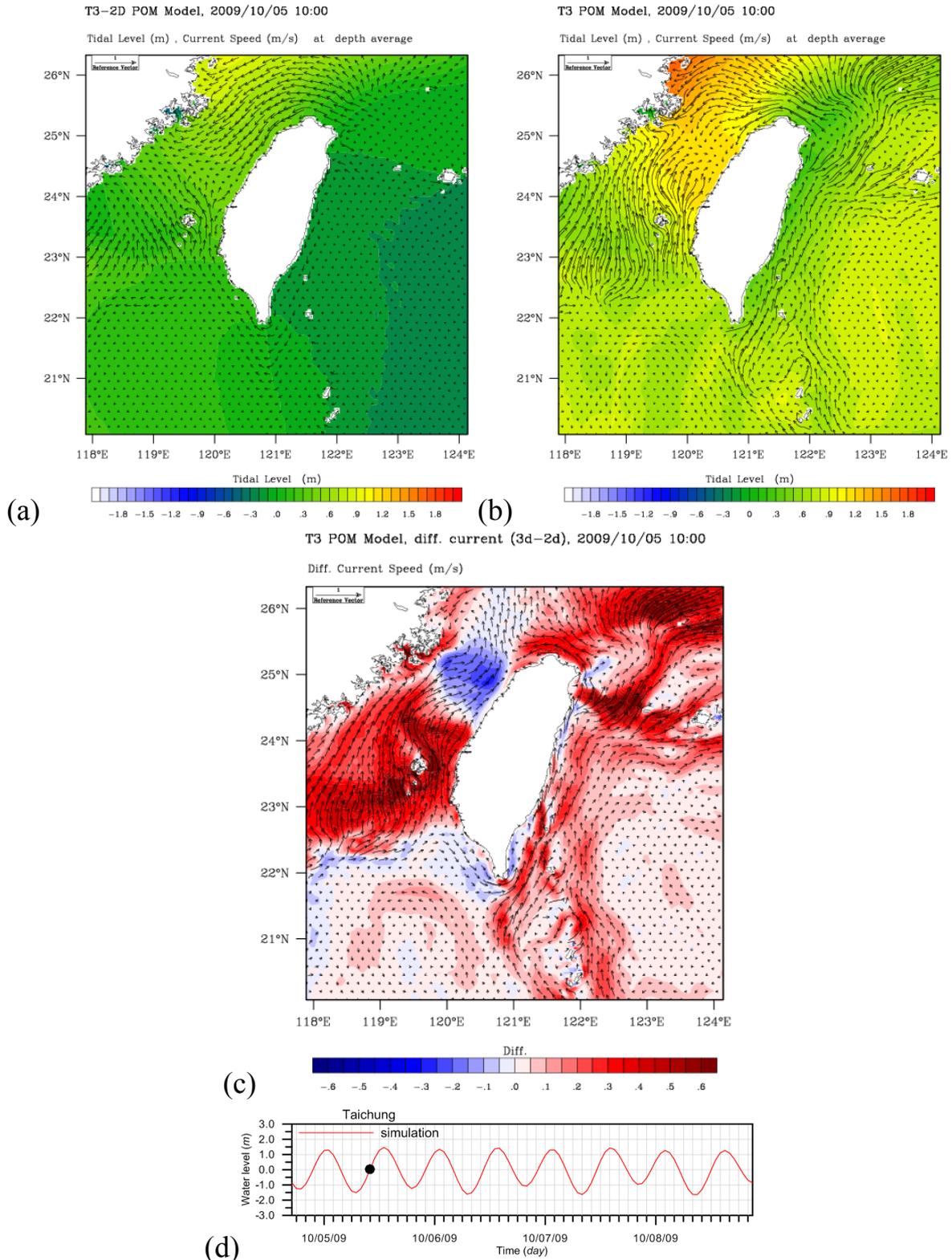


圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 10:00

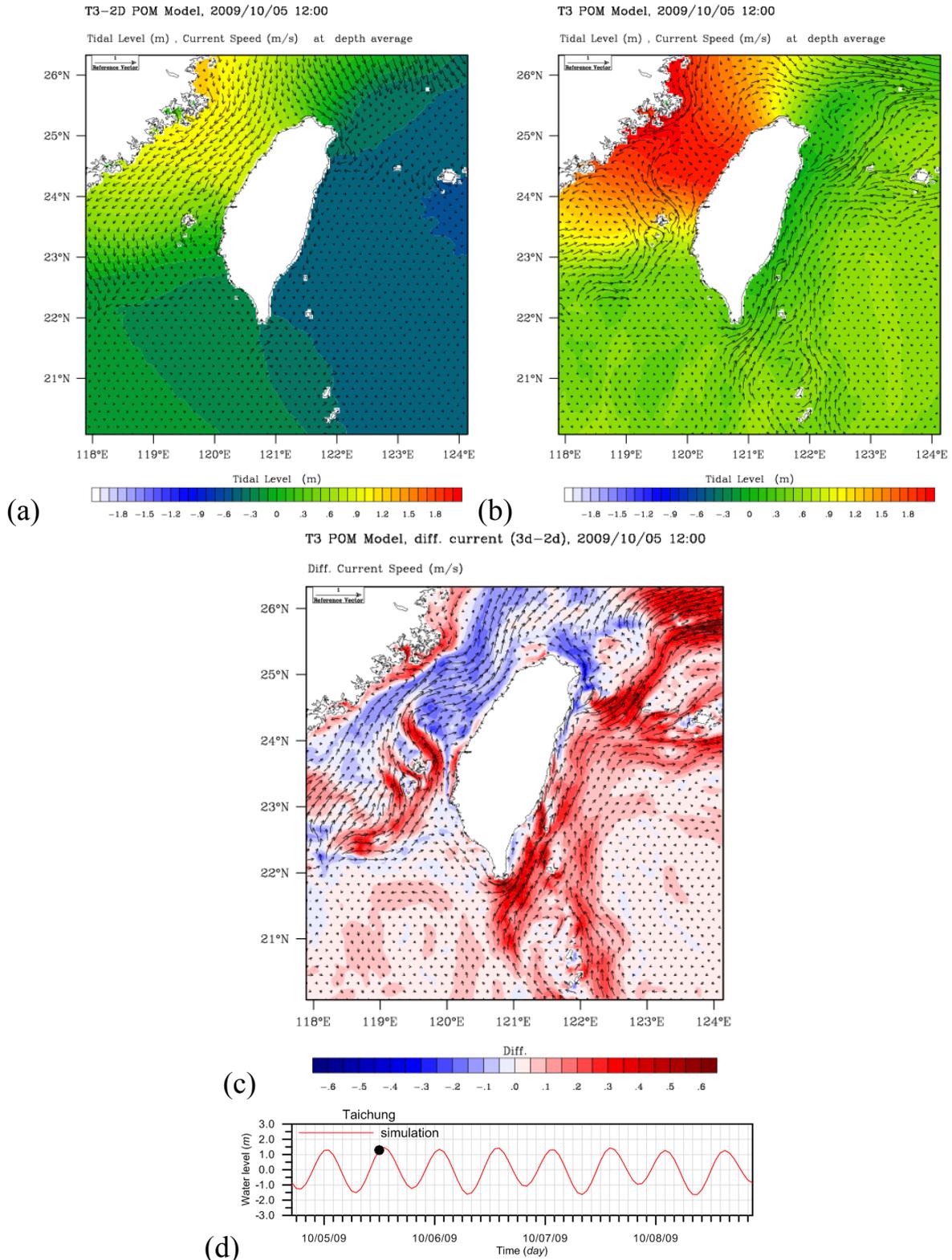


圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 12:00

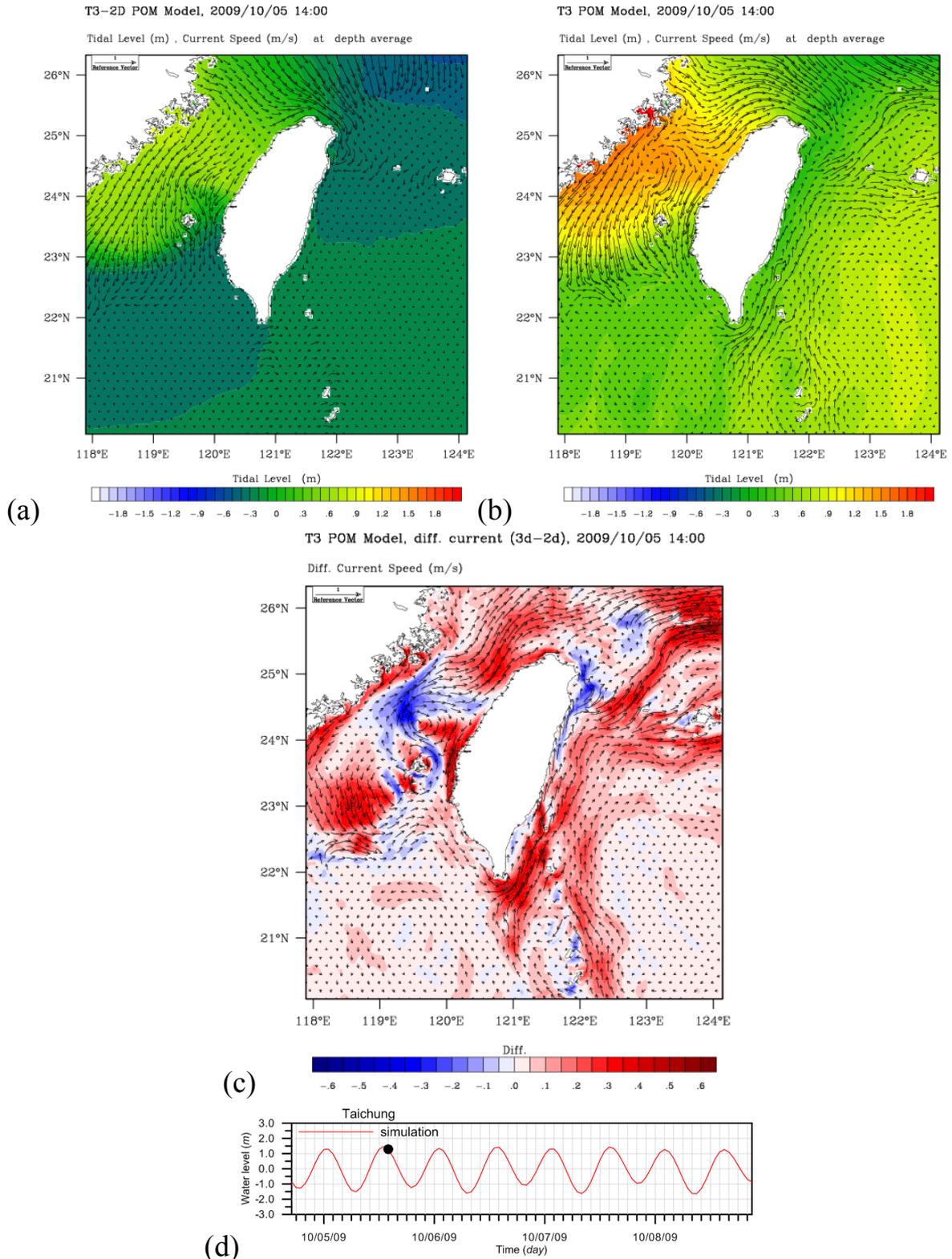


圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 14:00

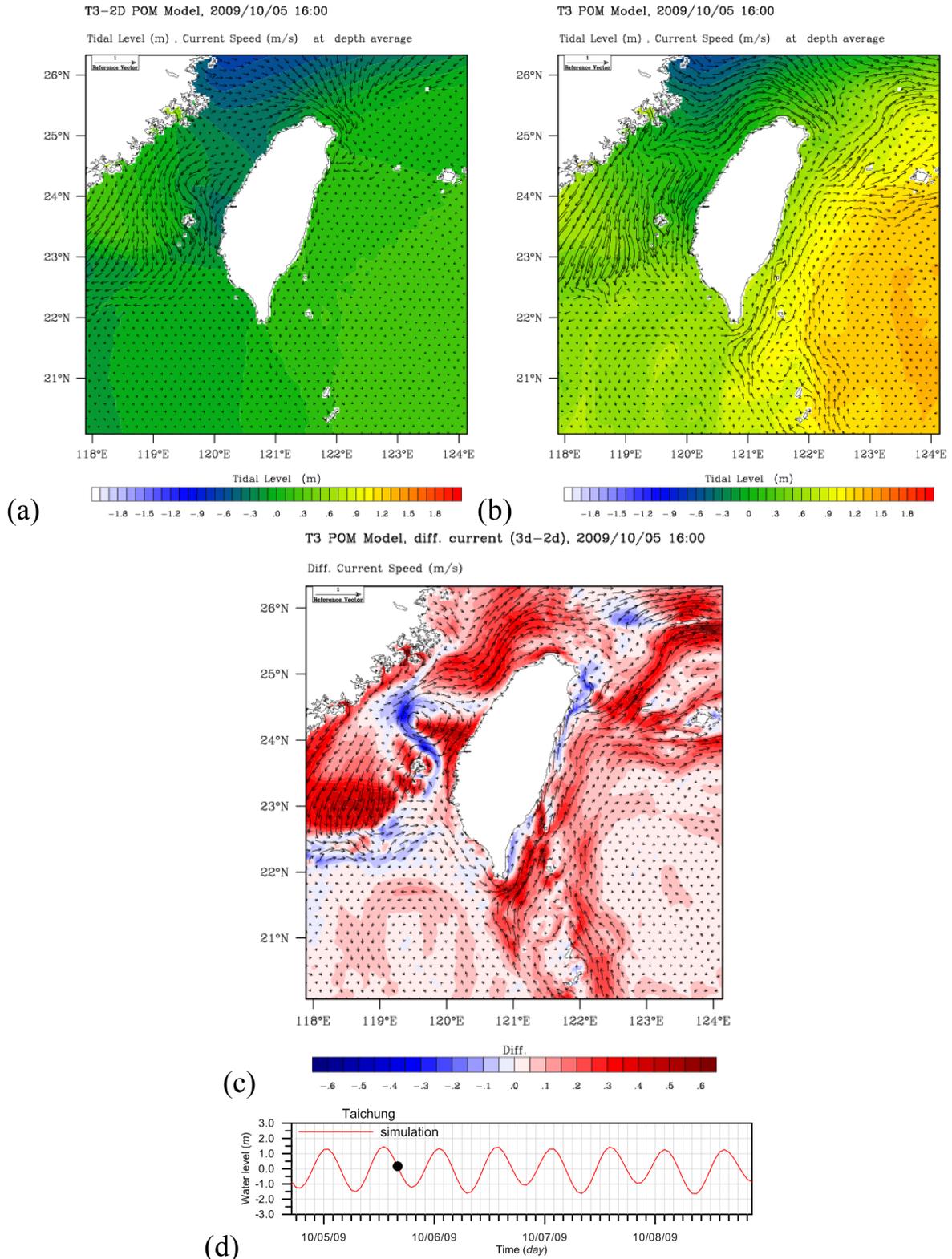


圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 16:00

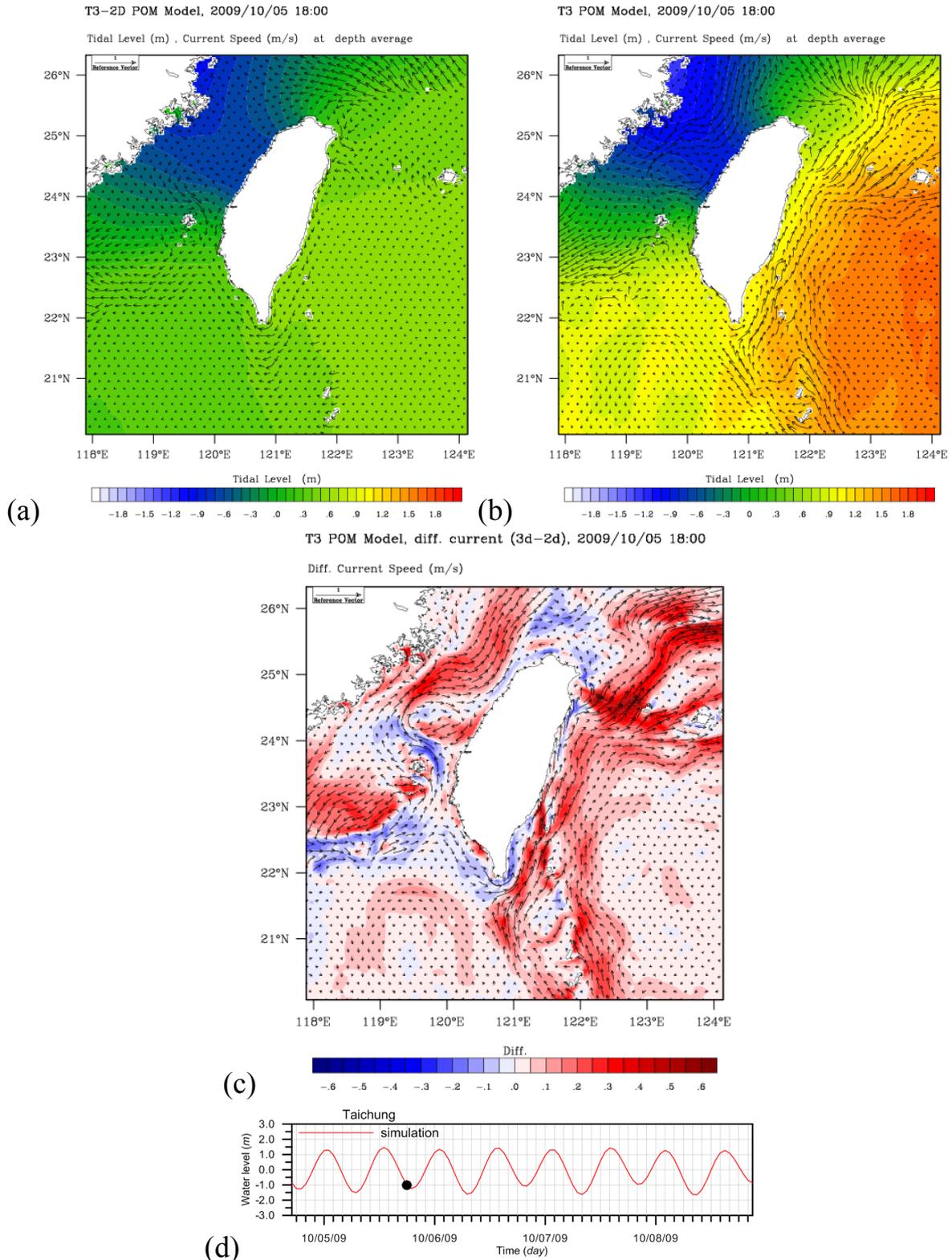


圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 18:00

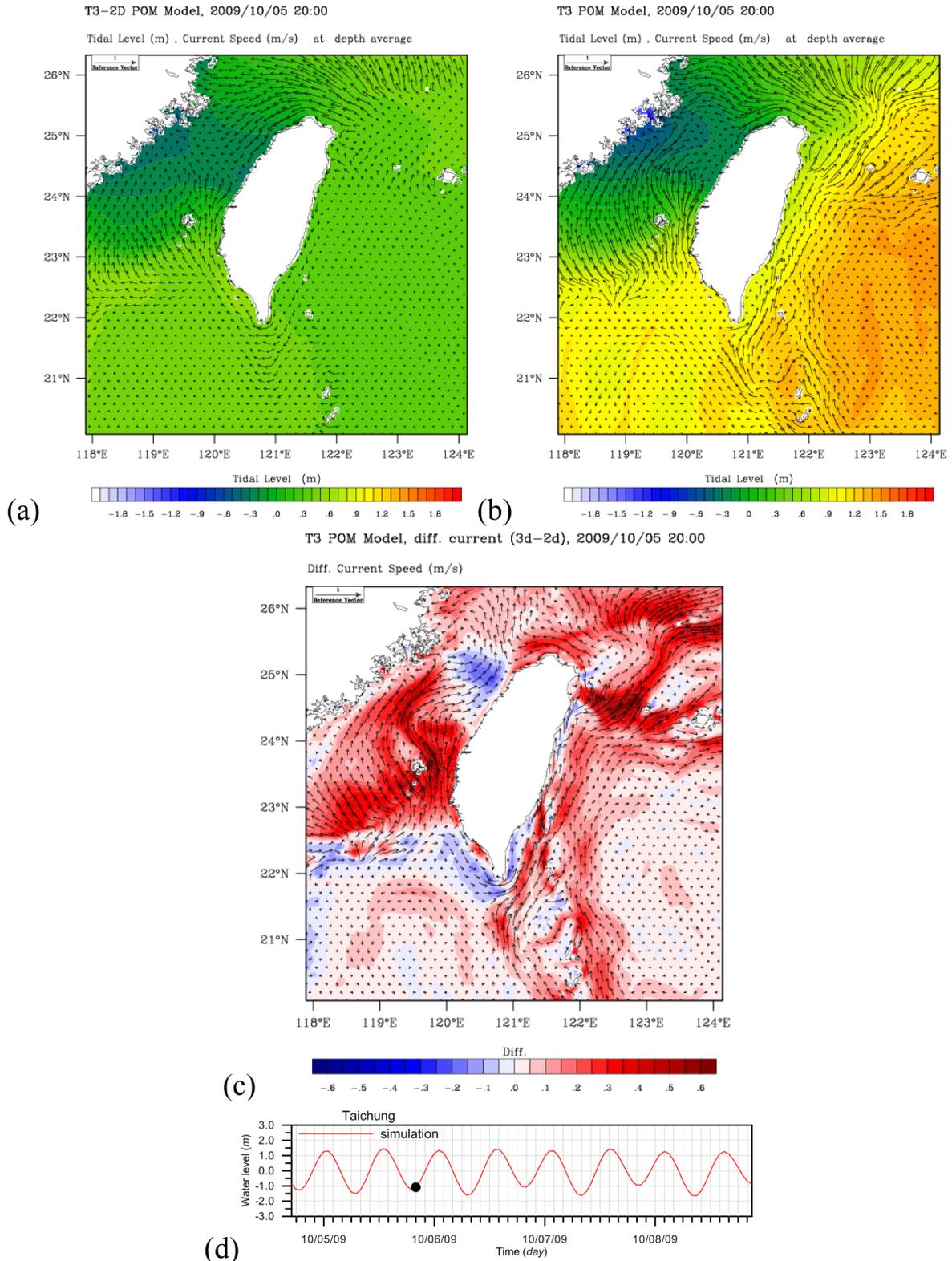


圖 4-69(續) 臺灣四周海域(T3)秋季潮流(上左)與綜合洋流及潮流效應(上右)之海流流場及其差異圖(中)，參考潮位(下)：臺中港，2009/10/05 20:00

第五章 結論與建議

5.1 研究目的與問題簡述

海洋是陸地河川的總匯聚所，具有豐富的生態，為生養哺育地球萬物的重要生產區。海流則是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)「永續經營及利用」的最根本課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮及其支流，全年皆由南而北分別流經臺灣東部及西部近岸海域，在冬季之強盛季風期更有中國沿岸流由北而南流經臺灣海峽海域；除此之外，基於臺灣海峽的水深地形所引致的半日型潮波共振效應，在臺灣海峽的南北兩端開口，常年有潮波的無潮點存在，因此，導致漲退期間之潮流流速普遍甚強勁，強盛洋流與強勁潮流的交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性陳現頗為特殊的變化，如在高雄港外海即可測得漲潮流向向南而退潮流向向北的特殊海流特性。

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。

本研究全程研究之總目標，主要在針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，透過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，透過數值模式的應用，完成臺灣近岸海域綜合洋流

與潮流效應之海流模擬，再藉實測資料，檢驗分析近岸海流特性，從而達成港灣及海岸水動力數值模擬之應用，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，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」。

5.2 結論

針對臺灣四周海域所具有的特殊海峽與東亞大陸棚架地形、特有的洋流(黑潮與黑潮支流)及潮流等大尺度海流之交會環境，本研究延續應用先期所建構之 POM 三維海洋環流模式，透過綜合洋流與潮流效應之計算海流對漲退潮期間計算潮流之逐時序差異流場，據以評估進而瞭解並掌握隨季節變化之洋流(黑潮與黑潮支流)，其對臺灣環島近岸潮流流場所可能造成之影響。主要之研究結論，綜述如后：

- (1) 應用 POM 三維海洋環流模式，在巢狀格網架構與近岸之正交曲線格網配置下，應用母子格網緩衝區之邊界推進(nudging)技術，結合具較高時空解析度之既有國際海洋海氣象資料庫資源作模式邊界及初始趨動力之設定，採用 MPI 平行計算方式提昇模擬計算效率，透過港口外廓近岸海域之實測海流驗證，確認本研究現階段已可就臺灣四周海域，順利推展並進行綜合考量洋流與潮汐共同效應之海流模擬。
- (2) 在巢狀格網架構之計算海域範圍中，僅管次層子格網海域之起始與邊界條件資料皆直接萃取並沿用自上層母格網海域，但原始用以趨動模式之風力、氣壓、及海水溫、鹽度等水動力海氣象資料庫，皆僅具特定的時空解析度(時間解析度最小為日平均；空間解析度最小為 1.0 分 \approx 1.85 km)，故計算海流，現況尚難以與實測海流作逐時序之驗證，而僅能就流場之日平均變動特性，作近似性之對照比較。

- (3) 本研究目前已可充分詳細地具體模擬計算潮流、黑潮、黑潮支流及套流等顯著存在於臺灣四周海域的大尺度海流特性。
- (4) 於考量風力、氣壓、溫度與鹽度效應之單純洋流模擬計算下，臺灣東部海域計算所得之黑潮特性，與相關研究或觀測結果均具近似性，其中，計算黑潮主流最大表面流速約 1.0~1.5 m/s；主流離岸距離約 80 公里；主流寬度約 100 公里；在水深 300 米處，流速尚約有 0.3 m/s；流量穩定，月平均流量約 23.2 ± 5 Sv，且冬季期間較小，而夏季期間較大。至於臺灣海峽內之海流流量，月平均流量約 3.1 ± 1.5 Sv，冬季期間，月平均流量甚至可小於 1.0 Sv。
- (5) 從臺灣東部蘇澳港與花蓮港夏季黑潮盛行期間之近岸海流流場計算結果可具體瞭解到，港口外廓海域，漲退潮期間之近岸海流，流速甚微弱，最大流速不及 0.3 m/s，流向順沿海岸作往復流動變化之潮流特性不甚明顯，足見在臺灣東部近岸，潮流受洋流之影響甚輕微，但值得特別注意的是，在分別距離蘇澳港與花蓮港海岸各約 14 公里與 6 公里的外海，即可發現主流偏向東部近岸且流速約可高達 1.8 m/s 之強勁黑潮。
- (6) 以綜合考量季節性洋流與潮流效應之計算海流流場與單純考量潮汐效應之計算潮流流場間隨潮位逐時序變化之相互差異流場作評估依據，則從評估結果可綜合確認，臺灣海峽內四季之洋流(含括季風影響下的黑潮支流及中國沿岸流與風趨流等)，明顯會對臺灣海峽海域及北自基隆港、南至安平港之臺灣西部近岸的潮流流場造成影響，影響之輕重程度，隨季節性與臺中港潮位之逐時序漲退變化而有所不同與差異。

5.3 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模擬計算結果。
- (3) 本研究利用四層巢狀格網架構，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，儘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，並充實既有水海資源資料庫之基本資訊，藉以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。

5.4 研究成果之效益

- (1) 在學術成就(科技基礎研究)方面，發表國內期刊學術論文 1 篇，研討會學術論文 5 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海流模擬計算。
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：預期可促進深層海水及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，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：本研究引進及應用國際培訓資源，培育海洋專業人才，建置科技人才訓練與實習之專業學習環境，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，強化海洋科技－藍色科技之科研能力，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鄰近海

域之洋流流場模擬計算，相關成果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。此外，本研究尚具體配合政府推展「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，敦節海岸保育之人力及物力投注，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，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。

5.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形

- (1) 完成臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬；建立大尺度長期性之近岸海流數值模擬作業系統；探討臺灣近岸海域海流之水動力特性，有效掌握海流水動力特性之季節性變化，俾利交通部、水利署、內政部、環保署、及縣市政府等從事海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)保育及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)開發利用之評估依據。
- (2) 建立並提供臺灣東部海域黑潮與潮流共同作用下之近岸海流，掌握臺灣東部近岸深層海水水溫水質季節性輸運動力之變化資訊，俾利交通部、經濟部、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣東部近岸海域深層海水開發之海洋物理特性評估。
- (3) 在臺灣四周海岸，建立綜合洋流與潮流效應之優勢海流作用力與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，藉以厚植維護海岸穩定及採行「近自然工法」策略之關鍵技術，提供臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之詳實影響評估資訊，俾利水利署、經建會、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣海岸長期沖淤潛勢之影響評估。
- (4) 全面性與總體性地評估臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響，配合行政院推動海洋國家的長期性、全面性、總體性的海

岸保育與防災策略，厚植臺灣維護海岸穩定之關鍵技術及採行「近自然工法」策略之依據。

- (5) 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. Barron, C. N., A. B. Kara, R. C. Rhodes, C. Rowley and L. F. Smedstad (2007) *Validation test report for the 1/8⁰ global navy coastal ocean model nowcast/forecast system*, NRL Report No. NRL/MR/7320--07--9019, 149pp.
4. 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.
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. 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.
8. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
9. Ezer, T. and G. L. Mellor (1997) "Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model," *J. Geophys. Res.*, 102, pp. 15647-15657.
10. Ezer, T. (1999), "Decadal variabilities of the upper layers of the subtropical North Atlantic: An ocean model study," *J. Phys. Oceanogr.*, 29(12), pp. 3111-3124.
11. Ezer, T. and G. L. Mellor (2000) "Sensitivity studies with the North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32, pp. 155-208.
12. Hsin, Y.-C., C.-R. Wu and P.-T. Shaw (2008) "Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan, 1982-2005: A numerical study," *J. Geophys. Res.*, 113, C04002.

13. Kalnay et al. (1996) "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, pp.437-470.
14. Lardner, W. and H. M. Cekirge (1988) "A new algorithm for three- dimensional tidal and storm surge computation," *Appl. Math. Modelling*, 12, pp. 471-481.
15. 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.
16. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation," RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
17. 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.
18. 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.
19. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans," *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.
20. Martin, P.J. (2000) *Description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0*, NRL Report No. NRL/FR/7322/00/9962, 45pp.
21. 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.
22. 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.
23. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
24. Mellor, G. L., S. Hakkinen, T. Ezer and R. Patchen (2002) "A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids," *Ocean Forecastings: Conceptual Basis and Applications*, Pinardl, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
25. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982) "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems," *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20₂ pp. 851-875.
26. 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>.

27. 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.
28. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985a) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part I: Description of the model and model simulations," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1676-1692.
29. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985b) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part II: Comparison with observation," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1693-1709.
30. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985c) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part III: Salt flux analyses," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1711-1720.
31. Oey, L. Y. (2005) "A wetting and drying scheme for POM," *Ocean Modelling*, 9, pp. 133-150.
32. Oey, L. Y. (2006) "An OGCM with movable land-sea boundaries," *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.
33. 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.
34. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
35. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. 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.

42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
49. 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.
50. 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。
51. 陳陽益、許弘莒、許志宏 (1998)，「海潮流軌跡之數理推測與實測」，第二十屆海洋工程研討會論文集，基隆，71-79。
52. 林政偉 (1999)，「感潮河段之計算研究」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
53. 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。
54. 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。
55. 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。
56. 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。

57. 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。
58. 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。
59. 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。
60. 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。
61. 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。
62. 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。
63. 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。
64. 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。
65. 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。
66. 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。
67. 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。
68. 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。
69. 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。
70. 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。
71. 徐泊樺、顏志偉 (2007), 「淺談我國海洋能源之開發前景」, 物理雙月刊, 第 29 卷, 第 3 期, pp.718-726。

72. 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。
73. 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。
74. 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。
75. 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。
76. 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。
77. 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。
78. 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。
79. 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。
80. 蔡政瀚、董東璟、柯永澤、郭南榮、黃世任、羅耀財、李宏仁、李賢文、林聖欽 (2010), 「我國沿海潮流發電評估與發電機組離形研發」, 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.779-784。
81. 柯永澤、蔡政翰、董東璟、郭南榮、黃世任、羅耀財、李宏仁、李賢文 (2010), 「潮流發電機組研發與測試」, 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, 第 831-836 頁。
82. 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。

83. 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。
84. 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)」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
85. 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。
86. 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。
87. 陳慶盈、蔡原祥、廖建明、許朝敏、陳思樺 (2011), 「海流發電技術研析」, 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.823-828。
88. 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。
89. 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。
90. 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。
91. 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。
92. 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。
93. 行政院國家科學委員會海洋學門資料庫, <http://www.odb.ntu.edu.tw/wordpress/>。

附錄 1 POM 模式操作手冊

POM 模式操作手冊

一、前言

依據政府採購法之相關規定與公開評選程序，本研究與財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心，透過合作研究方式，共同引進與建置美國普林斯頓大學海洋環流模式(POM：Princeton Ocean Model)，藉期利用其三維模式的特性，完成臺灣鄰近海域的海流模擬，蒐集實測海流紀錄及浮標追蹤資料，進行模擬計算海流之準確性驗證。其中的重要工作包括：建置模式計算所需的相關軟硬體環境；並以作業化的標準，完成模式運行應用的前置處理作業；及分析及展示成果之後置處理作業系統。本操作手冊即針對以上 POM 模式之前、後置處理作業流程作一概要的說明與介紹。

在本操作手冊中，將依序說明 POM 模式之架構；相關軟體之建置程序；主程式與相關前置、後置處理程式的輸入條件，最後再以範例說明方式，讓有興趣研究的使用者能快速瞭解模式的組成與操作。

二、模式架構

本研究之 POM 三維海洋環流模式系統，係建置在 Linux 作業系統的環境下，關於作業環境系統與相關應用軟體工具的設定及關聯的海氣象資料庫，請參見本研究報告第三章內文的說明，其中包括：Linux 作業系統、Fortran 編譯器、與 NetCDF 工具程式等等，有興趣研究的使用者可依據其說明將作業環境設定後，再進行隨後的運算環境設定。

本操作手冊係以字型來分別代表不同目錄、檔案、變數或指令等不同的操作意義，其中，以英文 *Times New Roman* 斜體字型表示檔案名稱；以英文 **Times New Roman** 粗體字型表示電腦檔案中之目錄名稱；以英文 Book Antiqua 字型則是命令腳本或設定檔案中的文字；以英文 *Book Antiqua* 斜體字型則是表示使用者必須在命令模式下所輸入的指令，使用者可藉此區別不同的用途。

2.1 模式檔案與目錄架構

在目錄架構方面，在使用者家目錄(\$HOME)下，首先建立一個模式運算目錄 **IHMTpom**，目錄中所應該包括：**bin**、**data**、**src**、**NCLsrcipts** 與模擬方案名稱如：**global**、**nwpo**、**taiwan** 等目錄。其中，**bin** 目錄中放置與運算方案無關的可執行程式檔與命令腳本；**data** 目錄中放置第三章中所收集應用的海氣象與水深地形資料庫；**src** 目錄中則是放置程式的原始檔案，俾供使用者編譯與修改，至於模擬方案的名稱，使用者可依照模擬方案簡要之代表特徵，自行命名建立。

本研究之 POM 三維海洋環流模式系統，副檔名命名方式皆有一定規則，茲將相關副檔名的命名規則說明如下：

f、for、f90：Fortran 程式語言檔。

sh：Linux 作業系統中 BASH 環境之命令腳本檔。

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

in：為程式執行所需的命令檔，其格式為文字檔。

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

prn：為 *pom2k.exe* 程式執行時所輸出的模式執行資訊，其格式為文字檔。

71：為 *pom2k.exe* 模式所需的初始資料，其由 *pom2k.exe* 程式所建立，目的在於 *pom2k.exe* 接續執行時所需的起始資料，其格式為二進位檔。

nc：為 NetCDF 資料格式檔案，包括海氣象資料庫與模式建立之中繼檔案。

至於各目錄之用途與包含的主要應用程式，則分別說明如下，

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

prepom.exe：為 POM 模式前置處理程式，目的為處理地形與海氣象資料將其內插至模式格網上，其需要附檔名 *in* 之文字檔控制需要內插資料類別，其執行後會產生 *pomin.nc* 中繼檔案供主程式 *pom2k.exe* 所使用。

ncread.exe：為後置處理程式，目的為轉換 *pom2k.exe* 程式所輸出之 NetCDF 資料格式成為文字檔格式。

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

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

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

NCEP_NCAR_Reanalysis：目錄中為 NCEP/NCAR 海氣象資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面風場與氣壓資料的處理。

NOAA_Extended_Reconstructed_SST_V3：目錄中為 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V3 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

NOAA_OI_SST_V2：目錄中為 NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

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

omap：目錄中為 NAO99b 模式運算時所須的潮位資料庫。

WOA_2005：目錄中為 NODC 的 WOA 海洋水文資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行 POM 模式的溫度與鹽度初始資料。

(3) **src** 目錄：包含各種程式的原始碼。

ihmt：其中檔案為 POM 模式主程式，包含許多 f、for、f90 副檔名 Fortran 程式，其經過編譯後會產生 *pom2k.exe* 或 *pom08.exe* 程式。

prepom：其中檔案為 POM 模式前置程式，其經過編譯後會產生 *prepom.exe* 程式。

nao99b：其中檔案為 NAO99b 模式，其經過編譯後會產生 *nao99b.exe* 程式。

ncmean：其中檔案經過編譯後會產生 *ncmean.exe* 程式。

ncread：其中檔案經過編譯後會產生 *ncread.exe* 程式。

(4) **project**：為計算方案主目錄，其名稱可由使用者隨計算方案而命名（如 *global*），其中包含 **bin**、**include**、與 **inp** 等目錄架構，而計算模擬後的 NetCDF、prn 與 71 等輸出檔皆放置其中，而此目錄中亦包含其他目錄結構，其內容分別說明如下：

bin：其目錄中放置與這個計算方案有關的可執行程式，在方案模擬進行前必須先進行相關可執行程式的編譯與安裝，主要是放置 *pom2k.exe* 程式。

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

2.2 編譯與安裝

2.2.1 POM 模式之安裝

本研究建立多個命令腳本方便使用者使用本研究所建置的模式，為了程式運作方便，使用者首先必須設定模式運作的環境變數，利用文字編輯程式在使用家目錄下編輯 *.bashrc*，增加 POM 與 PATH 等環境變數，如

```
export POM=/home/username/IHMTpom  
export PATH=$PATH:$POM/bin  
export DATAHOME=/home/data  
export OMP_NUM_THREADS=2
```

其中 */home/username/IHMTpom* 為安裝目錄的絕對路徑，請隨安裝的目錄名稱而更改；*OMP_NUM_THREADS=2* 為雙核心 CPU 在 Fortranh 程式編譯之設定。請於上述環境設定完成後，再次進行登入系統，使環境變數的設定產生作用後再進程式的安裝與編譯。

此外，編譯時，內定系統已安裝 Intel Fortran (ifort) 程式編譯器，如需用不同編譯器進行編譯時，使用者必須更改模式程式碼目錄中 Makefile 編譯腳本檔 (*linux.in*) 中 *F90*、*FLAGS_OPT*、與 *FLAG_MSC* 等變數之設定如下：

Intel Fortran 之設定為：

```
F90 = ifort  
FLAGS_OPT = -O2 -mp -openmp -I$(NETCDF)/include  
FLAGS_MSC = -fpp1 -DCOARDS
```

PGI Fortran 之設定為：

```
F90 = pgf90 或 pgfortran
```

```
FLAGS_OPT = -O2 -mp -I$(NETCDF)/include
```

```
FLAGS_MSC = -DCOARDS
```

GNU Fortran 之設定為：

```
F90 = gfortran
```

```
FLAGS_OPT = -O2 -fopenmp -I$(NETCDF)/include
```

```
FLAGS_MSC = -DCOARDS
```

其中 F90 變數中包含利用 OpenMP 進程式平行化之敘述，如 Intel (-openmp)、PGI (-mp)與 GNU (-fopenmp)，使用者執行環境如包含多顆核心之系統即可以 OpenMP 平行化方式進程式加速運算，如欲使用單顆核心進行運算時，可自行去除 OpenMP 選項。

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

```
> createproj.sh project
```

其中參數 *project* 為計算方案的目錄名稱，必須依照所建立的計算方案目錄名稱而更改，執行後會自動設定計算所需目錄架構。執行後會出現交談式使用者介面，使用者可依據計算方案之需求輸入計算方案的格網資訊、選擇所需的海氣象資料庫、與巢狀格網計算設定等。執行 *createproj.sh* 後會於 **IHMTpom** 目錄下建立該 **project** 目錄，目錄中會存在 **bin**、**inp** 目錄與 *namelist.pom* 或 *namelist.pom.tmp* 之 POM 模式參數檔，其中 **bin** 目錄會存放 *pom2k.exe*、*ppom.exe*、*spom.exe* 程式，其會由 *createproj.sh* 命令腳本自動編譯完成，而 **inp** 目錄會存放會存放所需的海氣象資料庫、*prepom.exe* 所需之控制檔 *project.in* 之或成批執行所需之 *project.copy* 樣本檔案與 *pom2k.exe* 程式編譯時控制陣列大小之 *grid.h* 檔案，而由命令腳本自動建立之 *namelist.pom*、*project.in* 與 *grid.h* 等檔案之意義則於下節中分別說明。而模式執行前必須將模式中可執

行程式進行編譯，編譯方式可由 *maketools.sh* 命令腳本完成，其作用在於編譯 *prepom.exe*、*ncmean.exe* 與 *ncread.exe*，編譯完成後命令腳本會自動將程式安裝於模式安裝目錄中的 **bin** 目錄。在命令模式下執行：

```
> maketools.sh
```

即可完成上述工具程式的編譯。

2.2.2 Intel Fortran 安裝說明

本研究所建立之模式與工具具有高度相容性，可使用多種 Fortran 程式編譯器，而系統內定之編譯器為 Intel Fortran，而 Intel Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點，最新版本為 11.0，而目前的安裝版本為 10.1 非商業用途版本，其安裝方式如下步驟：

- (1) 放入安裝光碟，以終端機視窗與管理者身分鍵入『`./media/Linux_CD1/CD/common/BITS/FCOMP/install.sh`』指令進入安裝程序。
- (2) 輸入授權密碼檔案路徑與檔案名稱，而授權密碼檔案可由網路上申請，已安裝至系統中請妥善保存。
- (3) 選擇安裝 EMT64 之 64 位元版本與 32 位元版本之編譯器 (compiler)。
- (4) 選擇安裝 Intel Debug 除錯器，即可完成安裝程序。
- (5) 安裝程序完成後必須以管理者身分在終端機視窗中鍵入『`echo 'source /opt/intel/fc/10.1.018/bin/ifortvars.sh' >> /etc/bash.bashrc.local`』，其中 `/opt/intel` 為安裝目錄，而 `fc` 為版本型態可分為 `fc` 之 32 位元版本與 `fce` 之 64 位元版本，`10.1.018` 為版本編號，應依其安裝版本進行變更，而 `/etc/bash.bashrc.local` 為系統環境變數設定檔。

完成上述步驟後，本機使用者可透過 `ifort` 指令進行 FORTRAN 程式的

編譯。

2.2.3 NetCDF 安裝說明

NetCDF 為開放源碼軟體，其官方網站網址為 <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>，使用者可自由下載，其最新版本為 3.6.3。在任何一个 NetCDF 的檔案均含有下列幾個部分：維度 (dimensions)，多維資料結構，例如 latitude、longitude、layers 與 time；變數 (variables)，各種變數，例如 temperature、salinity 與三維流速資料；屬性 (attributes)，輔助記憶的說明檔頭；資料 (data)，主要的資料部分。由於 NetCDF 是利用位元形式來儲存資料，故讀寫資料都必須透過 NetCDF 程式庫來完成，以下則簡述安裝步驟：

- (1) 下載後解壓縮檔案，使用者可自由選擇解壓縮位置。
- (2) 於終端機視窗中輸入『tar xvzf netcdf-3.6.3.tar.gz』，完成解壓縮程序。
- (3) 設定環境變數以適合系統設定(/etc/bash.bashrc.local)，於終端機視窗中輸入『export FC=ifort; export F77=ifort; export CC=gcc; export CXX=g++』。
- (4) 執行目錄下之組態設定，輸入『cd netcdf-3.6.3』，『./configure -prefix=/opt/netcdf』，其中安裝目錄/opt/netcdf 為本研究所內定位置，使用者亦可自行指定。

編譯程式輸入『make check』，如需安裝至共用位置中，則可利用系統管理者身分(root)安裝程式，輸入『make install』，即可將 NetCDF 程式庫安裝至使用者指定位置。

2.2.4 GMT 安裝說明

GMT (Generic Mapping Tools)為美國 NSF 所支援開發之開放源碼軟體，其官方網站網址為 <http://gmt.soest.hawaii.edu/>，最新版本為 4.5.1。GMT 為受科學界歡迎之資料處理與繪圖軟體，其中包含 60 餘種之資料處理與繪圖方式，亦支援 30 餘種地圖座標呈現，其具有高度彈性可

供使用者做為資料後置處理之軟體。使用者可至官方網站之程式下載區(DOWNLOAD)下載 `install_gmt` 程式，於命令列模式中執行

```
> ./install_gmt
```

依照螢幕指示選擇適合選項後，安裝程式會自動下載必要資料完成安裝。並於使用者家目錄中編輯 `.bashrc` 或於 `/etc/bash.bashrc.local` 加入執行路徑，如下所示：

```
export GMTHOME=/opt/GMT  
export PATH=$GMTHOME/bin:$PATH
```

2.2.5 NCL 安裝說明

NCL (NCAR Command Language)為命令解譯式之科學資料分析與視算軟體，支援多種資料格式，為開放源碼軟體，最新版本為 5.1.1，官方網站網址為 <http://www.ncl.ucar.edu/>，使用者必須自行註冊後下載預先編譯之執行檔或程式碼安裝於系統中。由於自行下載程式碼安裝方式過程複雜，且必須預先安裝眾多軟體，為了簡化安裝程序，依本研究所建置系統，於網站中下載預先編譯後之安裝檔案 `ncl_ncarg-5.1.1.Linux_x86_64_gcc432.tar.gz`，於 `/opt` 目錄中解壓縮後，於使用者家目錄編輯 `.bashrc` 或於 `/etc/bash.bashrc.local` 加入環境變數，如下所示：

```
export NCARG_ROOT=/opt/ncarg  
export NCARG_BIN=$NCARG_ROOT/bin  
export NCARG_LIB=$NCARG_ROOT/lib  
export NCARG_INCLUDE=$NCARG_ROOT/include  
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:  
$NCARG_ROOT/lib  
export PATH=$PATH:$NCARG_BIN
```

```
export MANPATH=$MANPATH:$NCARG_ROOT/man
```

其中目錄/opt/ncarg 為解壓縮後安裝位置之路徑。

三、程式說明

為簡化模式操作運算之準備，本年度研究大幅改善前置處理程式流程。在大部分情況下，透過上節所述之 *createproj.sh* 命令腳本可完成全部的前置處理，並開始模式模擬。若使用者需要自行調整各別程式或命令所需的參數或修改部分設定，請參照本節下列相關各參數與輸入檔之說明，藉以瞭解各程式或命令所需的檔案與設定方式。

3.1 前置處理程式

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

```
#
# 計算方案起始時間
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
19981201.000000
#
# 模擬時間，單位為天
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
31
#
# 計算領域設定。第一與第二參數(115.0, 15.0)為計算領域左下角經緯
# 度座標，單位為度。第三參數(0.05)為格網間距，單位為度。第四與第五參數
# 為 x 與 y 方向格網點數，第五參數為垂直方向格網點數，第六參數表示格網座標型式。
# MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB ICORD)
#
115.0 15.0 0.05 301 301 21 1
#
# 地形資料設定。第一參數為資料庫檔案名稱，如為 ETOPO2.nc 則
# 表示使用 Etopo2 地形資料庫。使用者可自行定義地形資料名稱，如輸入不
# 同的檔案名稱則會經由 topobyuser.f90 的 Fortran 程式輸入地形資料，
# 使用者可自行定義資料。第二參數為將地形資料內插至計算格網後存放的資料
```

```

# 檔案名稱，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於 1.0 表示不
# 進行地形水深之平滑化。
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME SLMAX)
#
ETOPO2.nc topo.inp 2.0
#
# POM 模式水位邊界資料。第一參數為潮位資料庫之選擇，現僅有 nao99b
# 與 none 兩種輸入選擇，若選擇 nao99b 則 prepom.exe 程式會呼叫 NAO99 模式進行
# 潮位邊界之計算，輸入 none 則表示不處理潮位邊界資料。第二參數
# 為水位邊界輸出檔名。第三參數為水位邊界資料檔之時間間距，單位為天。
# ETA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_INTERVAL)
#
nao99b eta.inp 0.04166
#
# POM 模式大氣壓力邊界資料。第一參數為大氣壓力資料庫的選擇，現
# 僅有 ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm、
# none 與 user 等六種輸入選擇，若選擇 ncep_reanalysis_mon 則會選擇 NCEP 月平均
# 海面氣象資料庫，輸入 none 則表示不處理大氣壓力邊界資料，輸入 user 使用者必須
# 自行更改 slpbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為
# 大氣壓力輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SLP (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_mon slp.inp 31
#
# POM 模式風場邊界資料。第一參數為風場資料庫的選擇，現僅有
# ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm 與 none
# 與 user 等六種輸入選擇，若選擇 ncep_reanalysis_mon 則會選擇 NCEP 月平均海面
# 氣象資料庫，輸入 none 則表示不處理風場邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更改
# windbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為風場輸
# 出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# WIND (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_mon wind.inp 31
#
# POM 模式海面溫度邊界資料。第一參數為海面溫度資料庫的選擇，現僅有
# noaa_ersst_ltm、noaa_ersst_mon、noaa_oisst_week、noaa_oisst_ltm 與 none 與 user
# 等五種輸入選擇，若選擇 noaa_ersst_mon 則會選擇 NOAA Extended Reconstructed
# 月平均海面溫度資料庫，輸入 none 則表示不處理海面溫度邊界資料，輸入 user 使用
# 者必須自行更改 sstbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二
# 參數為海面溫度輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SST DATA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
noaa_ersst_mon sst.inp 31
#
# POM 模式鹽溫度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的鹽度資料檔，
# s00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正
# salbyuser.f90 程式。第二參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的溫度資料檔，t00an1 為
# 全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正 tempbyuser.f90
# 程式。第三為輸出資料檔檔名。
# STATE

```

```

# (SALINITY_DATASET TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1 t00an1 state.inp
#
# POM 模式流場初始資料。現不可使用，請設定為 none。
# INIT (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
none init.inp
#
# POM 模式巢狀母格網之設定，如本計算方案為某一計算方案之巢狀子格網，請於此處
# 設定巢狀格網資訊。第一參數為巢狀母格網計算方案中 POM 模式計算所之 NetCDF
# 資料輸出檔，為了節省磁碟空間通常以 link 形式連結至本計算方案之 inp 目錄。第二
# 參數為外模式之流速與水位邊界條件處理，輸入 1 表示處理，輸入 0 表示不處理。
# 第三參數為內模式之鹽溫度與流速邊界 nudging 處理，輸入 1 表示處理，輸入 0 表示
# 不處理。
# NEST (INPUT_NC IUA I3D IHALO)
#
pom2k.nested.nc 1 1 10
#
# 海面邊界條件輸入，尚未測試完成，現不可使用。
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET OUTPUT TIME_DURATION)
#
none sflx.inp 0.0
#
# END OF CONFIG
#

```

當計算海域為正交曲線格網時，*project.in* 的內容應作如下之設定：

```

#
# 計算方案起始時間
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
19981201.000000
#
# 模擬時間，單位為天
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
31
#
# 計算領域設定。第一與第二參數(115.0, 15.0)為計算領域左下角經緯
# 度座標，單位為度。第三參數(0.05)為格網間距，單位為度。第四與第五參數
# 為 x 與 y 方向格網點數，第五參數為垂直方向格網點數，第六參數表示格網座標型式
# 第七參數為旋轉座標角度，以正東方為零，逆時針方向旋轉。
# MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB ICORD ANGLE)
#
115.0 15.0 0.05 301 301 21 1 0.0

```

```

#
# 若計算領域為正交曲線格網，則須採用下列輸入方式，
# 第一參數為 user，第二參數為地形格網檔案，必須由使用者自行製作，其中檔案
# 內容分別為格網之 X、Y、DEPTH 值，第三、四及五參數分別為 x、y 及垂直方向
# 格網點數，第六參數表示格網座標型式
#
# user topo_kao_c3.inp 297 110 21 1
#
# 地形資料設定。第一參數為資料庫檔案名稱，如為 ETOPO2.nc 則
# 表示使用 Etopo2 地形資料庫。使用者可自行定義地形資料名稱，如輸入不
# 同的檔案名稱則會經由 topobyuser.f90 的 Fortran 程式輸入地形資料，
# 使用者可自行定義資料。第二參數為將地形資料內插至計算格網後存放的資料
# 檔案名稱，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於 1.0 表示不
# 進行地形水深之平滑化，第四參數為最小水深，單位為公尺。
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME SLMAX HMIN)
#
ETOPO2.nc topo.inp 2.0 10.0
#
# 若計算領域為正交曲線格網，則地形資料設定須採用下列輸入方式，
# 第一參數為地形格網檔案，必須由使用者自行製作，且必須與計算領域設定一致，
# 第二參數為地形格網輸出檔，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於
# 1.0 表示不進行地形水深之平滑化，第四參數為最小水深，單位為公尺。
#
# topo_kao_c3.inp topo.inp 2.0 10.0
#
# IHMT-POM 模式水位邊界資料。第一參數為潮位資料庫之選擇，現有 nao99、otpsc
# 及 none 三種輸入選擇，若選擇 nao99 則 prepom.exe 程式會呼叫 NAO99 模式進行
# 潮位邊界之計算，若選擇 otpsc 則 prepom.exe 程式會呼叫 OTPS 模式進行計算
# 輸入 none 則表示不處理潮位邊界資料。第二參數為水位邊界輸出檔名。
# 第三參數為水位邊界資料檔之時間間距，單位為天。
# ETA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_INTERVAL)
#
# otpsc eta.inp 0.04166
# none eta.inp 0.0
#
nao99b eta.inp 0.04166
#
# IHMT-POM 模式大氣壓力邊界資料。第一參數為大氣壓力資料庫的選擇，現
# 僅有 ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm、
# none 與 user 等六種輸入選擇，若選擇
# ncep_reanalysis_4xday 會選擇 NCEP/NCAR 每六小時一筆之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_day 會選擇 NCEP/NCAR 每日平均之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_mon 會選擇 NCEP/NCAR 每月平均之海氣象資料庫
# 選擇 rvm 則會呼叫 Rankin Vortex 參數化颱風風場模式
# 輸入 none 則表示不處理大氣壓力邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更
# 改 slpbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為
# 大氣壓力輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SLP (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday slp.inp 0.25

```

```

#
# IHMT-POM 模式風場邊界資料。第一參數為風場資料庫的選擇，現僅有
# ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm 與 none
# 與 user 等六種輸入選擇，若選擇
# ncep_reanalysis_4xday 會選擇 NCEP/NCAR 每六小時一筆之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_day 會選擇 NCEP/NCAR 每日平均之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_mon 會選擇 NCEP/NCAR 每月平均之海氣象資料庫
# 選擇 rvm 則會呼叫 Rankin Vortex 參數化颱風風場模式
# 輸入 none 則表示不處理風場邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更改
# windbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為風場輸
# 出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# WIND (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday wind.inp 0.25
#
# IHMT-POM 模式海面溫度邊界資料。第一參數為海面溫度資料庫的選擇，現僅有
# noaa_ersst_ltm、noaa_ersst_mon、noaa_oisst_week、noaa_oisst_ltm 與 none 與 user
# 等五種輸入選擇，若選擇 noaa_ersst_mon 則會選擇 NOAA Extended Reconstructed
# 月平均海面溫度資料庫，輸入 none 則表示不處理海面溫度邊界資料，輸入 user 使用
# 者必須自行更改 sstbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二
# 參數為海面溫度輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SST DATA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
noaa_oisst_week sst.inp 7
#
# IHMT-POM 模式鹽溫度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的鹽度資
# 料檔，s00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行
# 修正 salbyuser.f90 程式。第二參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的溫度資料檔，
# t00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正
# tempbyuser.f90 程式。第三為輸出資料檔檔名。
# SEA STATE
# (SALINITY_DATASET TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1 t00an1 state.inp
#
# IHMT-POM 模式流場初始資料。現不可使用，請設定為 none。
# INIT (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
none init.inp
#
# IHMT-POM 模式巢狀母格網之設定，如本計算方案為某一計算方案之巢狀子格網，
# 請於此處設定巢狀格網資訊。第一參數為巢狀母格網計算方案中由 IHMT-POM 模式
# 計算所之 NetCDF 資料輸出檔，為了節省磁碟空間通常以 link 形式連結至本計算
# 方案之 inp 目錄。第二參數為外模式之流速與水位邊界條件處理，輸入 1 表示處理，
# 輸入 0 表示不處理。第三參數為內模式之鹽溫度與流速邊界 nudging 處理，輸入 1
# 表示處理，輸入 0 表示不處理。第四參數為巢狀格網連接邊界格網數
# NEST (INPUT_NC IUA I3D IHALO)
#
pom.nested.nc 1 1 10
#

```

```
# 海面邊界條件輸入，尚未測試完成，現不可使用。  
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET OUTPUT TIME_DURATION)  
#  
none sflx.inp 0.0  
#  
# END OF CONFIG  
#
```

prepom.exe 程式可單獨執行，若需執行時，請於命令模式中輸入：

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

程式執行後，將會依照 *project.in* 之設定進行相關資料的處理，完成後會產生 *pomin.nc* 檔案供 *pom2k.exe*、*pom2k.exe* 程式進行讀取，其為 NetCDF 格式之檔案，使用者可自行利用套裝軟體如 *ncview* 或 *ncBrowse* 進行確認。使用者必須注意在 Linux 作業系統下，英文字元大小寫是有所區別，而所有的資料庫與檔名設定皆由 *createproj.sh* 所設定，如需更動時請依照說明設定中的說明而設定，可避免不可預期的錯誤。而說明中之 *topobyuser.f90*、*slpbyuser.f90*、*windbyuser.f90*、*sstbyuser.f90*、*salbyuser.f90* 與 *tembyuser.f90* 檔案，皆放置於 **src/prepom** 目錄中，使用者必須自行更改後編譯 *prepom.exe* 程式。

3.2 主程式 pom2k.exe

POM 模式之主程式為 *pom2k.exe*，此程式與計算方案的格網設定與計算條件有關，由 *createproj.sh* 執行後會建立於 **bin** 目錄之 *pom2k.exe*、**inp** 目錄之 *grid.h* 與 **project** 目錄之 *namelist.pom.tmp* 或 *namelist.pom* 等檔案，使用者也可根據需要進行修改。而 *grid.h* 內容為程式陣列大小的設定，其內容說明如下：

```
!im 為計算領域 x 方向格點數  
!jm 為計算領域 y 方向格點數  
!kb 為計算領域 z 方向格點數  
!C -- myproblem (iproblem=5)  
parameter(im= 301, jm= 301, kb= 21)  
parameter(ihalo = 10)
```

而 *namelist.pom* 的內容在於設定 POM 模式的計算條件與參數等，其內容說明如下：

```

&params
C Input of filenames and constants:
C
C-----
C 計算方案名稱，可自由設定
C
C      title='Run 1' ! run's title
C
C-----
C 是否以 NetCDF 格式輸出資料檔，預設值為 pomk2k.nc，請勿更動
C
C      netcdf_file='pom2k.nc' ! netCDF output file
C      netcdf_file='nonetcdf' ! disable netCDF output
C
C-----
C
C      Problem number:
C
C      iproblem      problem      initialisation
C                   type          subroutine
C          1         seamount      seamount
C          2         conservation  box
C                   box
C          3         IC from file  file2ic
C 計算方案編號，預設值為 5，請勿更改
C
C      iproblem=5
C
C-----
C
C      mode          description
C      2      2-D calculation (bottom stress calculated in advave)
C      3      3-D calculation (bottom stress calculated in profu,v)
C      4      3-D calculation with t and s held fixed
C 計算模式，設定為 2 表示二維模式，3 為三維模式，4 為三維模式溫度鹽度為定值
C      mode=3
C
C-----
C
C      Advection scheme:
C
C      nadv      Advection scheme
C      1      Centred scheme, as originally provide in POM
C      2      Smolarkiewicz iterative upstream scheme, based on

```

```

C          subroutines provided by Gianmaria Sannino and Vincenzo
C          Artale
C 水平對流項的數值技巧，預設值為 1
C
C          nadv=1
C
C-----
C
C          Constants for Smolarkiewicz iterative upstream scheme.
C
C          Number of iterations. This should be in the range 1 - 4. 1 is
C          standard upstream differencing; 3 adds 50% CPU time to POM:
C 改善水平對流項數值技巧穩定度的選項，預設值為 2
C
C          nitera=2
C
C          Smoothing parameter. This should preferably be 1, but  $0 < sw < 1$ 
C          gives smoother solutions with less overshoot when nitera > 1:
C 改善數值結果之平滑參數，預設值為 0.5
C
C          sw=0.5e0
C
C-----
C
C          Index to indicate whether run to start from restart file
C          (nread=0: no restart input file; nread=1: restart input file):
C 是否進行重新執行的選項，預設值為 1，請勿更改
C
C          nread=1
C
C-----
C
C          External (2-D) time step (secs.) according to CFL:
C 二維模式的計算時間間距，單位為秒。請依照數值穩定條件進行更改，其值會過大會
C 使程式發散。請注意，由 pom.prn 輸出的資訊中可判斷最適當的最大值
C
C          dte=5.0e0
C
C-----
C
C          <Internal (3-D) time step>/<External (2-D) time step>
C          (dti/dte; dimensionless):
C 三維模式的計算時距，單位為次數。如設定 60，表示 dti=dte*isplit=300 秒，
C 建議值為 30 至 80
C
C          isplit=60
C
C-----
C
C          Date and time of start of initial run of model in format (i.e.

```

```

C   UDUNITS convention)
C
C   YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C   where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C   Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time
C   axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C   real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C   and time as required:
C   計算起始時間，請依照計算方案設定
C
C   time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----
C   計算時間延時
C
C   days=31.e0      ! run duration in days
C
C-----
C   起始輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd1=12.0 / 24.0  ! Initial print interval (days)
C
C-----
C   最後輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd2=12.0/24.0      ! Final print interval (days)
C
C-----
C   由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
C   swtch=1000.e0      ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C
C   iskp=5              ! Printout skip interval in i
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
C   jskp=5              ! Printout skip interval in j
C
C-----
C
C   Logical for inertial ramp (.true. if inertial ramp to be applied
C   to wind stress and baroclinic forcing, otherwise .false.)
C   是否使邊界條件漸進式啟動，可避免數值不穩定，預設值為.false.
C
C   lramp=.false.

```

```

C
C-----
C
C   Reference density (recommended values: 1025 for seawater,
C   1000 for freshwater; S.I. units):
C 水體密度參考值，預設值海水預設為 1025，淡水為 1000
C
C   rhoref=1025.e0
C
C-----
C 水體溫度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C   tbias=10.e0           ! Temperature bias (deg. C)
C
C-----
C 水體鹽度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C   sbias=35.e0           ! Salinity bias
C
C-----
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
C   grav=9.806e0         ! gravity constant (S.I. units)
C
C-----
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
C   kappa=0.4e0          ! von Karman's constant
C
C-----
C 底床粗糙度，其值會影響底床磨擦力大小，預設值為 0.01
C
C   z0b=.01e0            ! Bottom roughness (metres)
C
C-----
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
C   cbcmin=.0025e0       ! Minimum bottom friction coeff.
C
C-----
C 最大底床摩擦係數，預設值為 1.0
C
C   cbcmax=1.e0          ! Maximum bottom friction coeff.
C
C-----
C 水平擴散係數，預設值為 0.2，合理範圍為 0.1 至 0.2
C
C   horcon=0.2e0         ! Smagorinsky diffusivity coeff.
C
C-----

```

```

C
C   Inverse horizontal turbulent Prandtl number
C   (ah/am; dimensionless):
C
C   NOTE that tprni=0.e0 yields zero horizontal diffusivity!
C Pradtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
C
C   tprni=.2e0
C
C-----
C
C   Background viscosity used in subroutines profq, profv, profu and
C   profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C   umol=2.e-5
C
C-----
C
C   Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C   bcond (metres):
C 計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C 分佈設定一恰當之值
C
C   hmax=4500.e0
C
C-----
C
C   Minimum depth
C 計算領域中最小水深，單位為公尺。小於此值則會將該格網點視為陸地
C
C   hmin=10.0
C
C-----
C
C   Maximum magnitude of vaf (used in check that essentially tests
C   for CFL violation):
C 最大可能的流速，單位為每秒公尺。大於此值則會終止程式運算
C
C   vmaxl=100.e0
C
C-----
C
C   Maximum allowable value of:
C
C   <difference of depths>/<sum of depths>
C
C   for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C   slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:

```

```

C 地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
    slmax=2.e0
C
C-----
C
C   Integers defining the number of logarithmic layers at the
C   surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C   logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
C   at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C 垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C 數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定。
C 預設 K11=0.3*kb; kl2=kb-2
C
    kl1=6
    kl2=kb-2
C
C-----
C
C   Water type, used in subroutine prof.
C
C   ntp      Jerlov water type
C   1         i
C   2         ia
C   3         ib
C   4         ii
C   5         iii
C 水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
    ntp=2
C
C-----
C
C   Surface temperature boundary condition, used in subroutine prof:
C
C   nbct      prescribed      prescribed      short wave
C             temperature      flux            penetration
C   1         no               yes            no
C   2         no               yes            yes
C   3         yes              no             no
C   4         yes              no             yes
C 海面溫度邊界條件，在 POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
    nbct=3
C
C-----
C
C   Surface salinity boundary condition, used in subroutine prof:
C
C   nbcs      prescribed      prescribed

```

```

C          salinity      flux
C          1          no          yes
C          3          yes          no
C
C          NOTE that only 1 and 3 are allowed for salinity.
C 海面鹽度邊界條件，在 POM 模式中預設為 1，請勿更動
C
C          nbcs=1
C
C-----
C
C          Step interval during which external (2-D) mode advective terms are
C          not updated (dimensionless):
C 對流項更新時間間距，單位為次數。其值可改善數值穩定性，預設值為 5
C
C          ispadv=5
C
C-----
C
C          Constant in temporal filter used to prevent solution splitting
C          (dimensionless):
C 平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性，預設值為 0.1
C
C          smoth=0.10e0
C
C-----
C
C          Weight used for surface slope term in external (2-D) dynamic
C          equation (a value of alpha = 0.e0 is perfectly acceptable, but the
C          value, alpha=.225e0 permits a longer time step):
C 權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性，預設值為 0.225
C
C          alpha=0.225e0
C
C-----
C
C          Initial value of aam:
C 起始水平擴散項之值，預設值 500
C
C          aam_init=500.e0
C
C          End of input of constants
&end

```

3.3 主程式 pom.exe

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

條件有關，由 *createproj.sh* 執行後會建立於 **bin** 目錄之 *pom.exe*、**inp** 目錄之 *grid.h* 與 **project** 目錄之 *namelist.pom.tmp* 或 *namelist.pom* 等檔案，使用者也可根據需要進行修改。而 *grid.h* 內容為程式陣列大小的設定。相關 *namelist.pom* 與 *grid.h* 之內容說明如下：

```

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

```

```

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

```

```

C   UDUNITS convention)
C
C   YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C   where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C   Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time
C   axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C   real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C   and time as required:
C   計算起始時間，請依照計算方案設定
C
C   time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----
C   計算時間延時
C
C   days=31.e0      ! run duration in days
C
C-----
C   起始輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd1=1.0      ! Initial print interval (days)
C
C-----
C   最後輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd2=1.e0      ! Final print interval (days)
C
C-----
C   由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
C   swtch=1000.e0    ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C
C   iskp=5          ! Printout skip interval in i
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
C   jskp=5          ! Printout skip interval in j
C
C-----
C
C   Logical for inertial ramp (.true. if inertial ramp to be applied
C   to wind stress and baroclinic forcing, otherwise .false.)
C   是否使邊界條件漸進式啟動，可避免數值不穩定，預設值為.false.
C
C   lramp=.false.

```

```

C
C-----
C
C   Reference density (recommended values: 1025 for seawater,
C   1000 for freshwater; S.I. units):
C 水體密度參考值，預設值海水預設為 1025，淡水為 1000
C
C   rhoref=1025.e0
C
C-----
C 水體溫度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C   tbias=10.e0           ! Temperature bias (deg. C)
C
C-----
C 水體鹽度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C   sbias=35.e0           ! Salinity bias
C
C-----
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
C   grav=9.806e0          ! gravity constant (S.I. units)
C
C-----
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
C   kappa=0.4e0           ! von Karman's constant
C
C-----
C 底床粗糙度，其值會影響底床磨擦力大小，預設值為 0.01
C
C   z0b=.01e0             ! Bottom roughness (metres)
C
C-----
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
C   cbcmin=.0025e0        ! Minimum bottom friction coeff.
C
C-----
C 最大底床摩擦係數，預設值為 1.0
C
C   cbcmax=1.e0           ! Maximum bottom friction coeff.
C
C-----
C 水平擴散係數，預設值為 0.2，合理範圍為 0.1 至 0.2
C
C   horcon=0.2e0          ! Smagorinsky diffusivity coeff.
C
C-----

```

```

C
C   Inverse horizontal turbulent Prandtl number
C   (ah/am; dimensionless):
C
C   NOTE that tprni=0.e0 yields zero horizontal diffusivity!
C Pradtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
C
C   tprni=.2e0
C
C-----
C
C   Background viscosity used in subroutines profq, profv, profu and
C   profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C   umol=2.e-5
C
C-----
C
C   Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C   bcond (metres):
C 計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C 分佈設定一恰當之值
C
C   hmax=4500.e0
C
C-----
C
C   Minimum depth
C 計算領域中最小水深，單位為公尺。小於此值則會將該格網點視為陸地
C
C   hmin=10.0
C
C-----
C
C   Maximum magnitude of vaf (used in check that essentially tests
C   for CFL violation):
C 最大可能的流速，單位為每秒公尺。大於此值則會終止程式運算
C
C   vmaxl=100.e0
C
C-----
C
C   Maximum allowable value of:
C
C   <difference of depths>/<sum of depths>
C
C   for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C   slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:

```

```

C 地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
    slmax=2.e0
C
C-----
C
C    Integers defining the number of logarithmic layers at the
C    surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C    logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
C    at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C 垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C 數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定
C
    kl1=6
    kl2=kb-2
C
C-----
C
C    Water type, used in subroutine profit.
C
C    ntp    Jerlov water type
C    1      i
C    2      ia
C    3      ib
C    4      ii
C    5      iii
C 水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
    ntp=2
C
C-----
C
C    Surface temperature boundary condition, used in subroutine profit:
C
C    nbct    prescribed    prescribed    short wave
C            temperature    flux          penetration
C    1      no             yes           no
C    2      no             yes           yes
C    3      yes            no            no
C    4      yes            no            yes
C 海面溫度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
    nbct=3
C
C-----
C
C    Surface salinity boundary condition, used in subroutine profit:
C
C    nbcs    prescribed    prescribed
C            salinity      flux

```

```

C      1      no      yes
C      3      yes     no
C
C      NOTE that only 1 and 3 are allowed for salinity.
C      海面鹽度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 1，請勿更動
C
C      nbcs=1
C
C-----
C
C      Step interval during which external (2-D) mode advective terms are
C      not updated (dimensionless):
C      對流項更新時間間距，單位為次數。其值可改善數值穩定性，預設值為 5
C
C      ispadv=5
C
C-----
C
C      Constant in temporal filter used to prevent solution splitting
C      (dimensionless):
C      平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性，預設值為 0.1
C
C      smoth=0.10e0
C
C-----
C
C      Weight used for surface slope term in external (2-D) dynamic
C      equation (a value of alpha = 0.e0 is perfectly acceptable, but the
C      value, alpha=.225e0 permits a longer time step):
C      權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性，預設值為 0.225
C
C      alpha=0.225e0
C
C-----
C
C      Initial value of aam:
C      起始水平擴散項之值，預設值 500
C
C      aam_init=500.e0
C
C      End of input of constants
&end

```

值得注意的是，在 *namelist.pom* 設定中，除了 *dte* 與 *isplit* 兩個參數必須隨著計算方案的不同進行更改之外，其他並不需作修改。

而執行 *pom.exe* 或 *pom2k.exe* 程式時，程式需 *pomin.nc* 與

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

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

則會將 **inp** 目錄中之 *pomin.nc* 利用捷徑(連結)的方式連接到計算方案主目錄。而 *pom.exe* 或 *pom2k.exe* 放置於計算方案中 **bin** 目錄中，如欲單獨執行 *pom.exe* 或 *pom2k.exe* 程式，則在計算方案主目錄中輸入下列指令：

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

或

```
> ./bin/pom2k.exe > pom.prn
```

其將會依照相關設定進行 *pom.exe* 或 *pom2k.exe* 的執行。在模式執行後會輸出 *pom.prn*、*hotfile.nc* 與 *pom.nc* 及 *fort.71* 與 *pom2k.nc* 等檔案。*pom.prn* 為程式輸出於螢幕的資訊，*hotfile.nc* 檔案為程式執行完成後所留存的重啟資料檔，若程式啟動時若有 *restart.nc*(由 *hotfile.nc* 更名)存放於計算目錄中，則 *pom.exe* 程式會自動讀入，使用者不須設定；*fort.71* 檔案為程式執行完成後所留存的重啟資料檔，若程式啟動時若有 *restart.71*(由 *fort.71* 更名)存放於計算目錄中則 *pom2k.exe* 程式會自動讀入，使用者不須設定；而 *pom.nc* 或 *pom2k.nc* 檔案為模式輸出的 NetCDF 資料檔案，其中包含各種變量資料，可供使用者進行分析所需。

3.4 後置處理程式

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

語言之 namelist 格式撰寫，其說明如下：

```
# ncread.nml 檔案說明
#
# CGRID 段落為描述之 POM 模式之 NetCDF 格式輸出檔案資訊
# NCFILE 為檔案名稱
# TSKIP 為讀取時間間距
# IDATE 為起始時間，格式為 YYYYMMDDHH
# TOFST 為平移時間，可用於 UTC 時間與臺灣時間之轉換
# OUT3D 為 3D 變量輸出選擇，其值為.TRUE.表示輸出三維變量
#
&CGRID
  NCFILE = 'pom2k.nc',
  TSKIP = 1,
  IDATE = '1995120100',
  TOFST = 0,
  OUT3D = .FALSE.,
&END
#
# SITE 段落為單點測站輸出，程式會自動找尋最靠近測站座標的格網點輸出資訊
# SITENO 測站點數，如設定為 0 表示不輸出
# SITEX 為測站 x 方向座標，請依序測站排列
# SITEY 為測站 y 方向座標，請依序測站排列
# SITEN 為測站名稱，請依序測站排列，可自由輸入字串表示該測站，程式會依該測站
#名稱作為檔名輸出
#
&SITE
  SITENO = 4
  SITEX = 121.40 120.85 120.25 120.07
  SITEY = 25.40 24.75 23.90 23.21
  SITEN = 11 12 13 14
&END
#
# S2LEVEL 為垂直方向座標變換選項，會將 sigma 座標變量內插輸出於 z 座標上
# NLEV 為 z 座標層數，如設定為零表示不使用
# LEVELS 為水深值，單位為公尺
#
&S2LEVEL
  NLEV = 25
  LEVELS = 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0,
           70.0, 80.0, 90.0, 100.0, 110.0,
           120.0, 130.0, 140.0, 150.0, 160.0,
           170.0, 180.0, 190.0, 200.0, 210.0,
           220.0, 230.0, 240.0, 250.0, 260.0,
&END
#
# NESTOUT 為巢狀格網輸出選項，可利用該選項輸出子格網的流速與水位邊界條件
# NGRID 為子格網地形格網，與母格網使用相同格式
```

```

# IM 為子格網 x 方向格網點數
# JM 為子格網 y 方向格網點數
# KB 為子格網 z 方向格網點數
# IUA 表示是否輸出流速邊界，1 表示輸出，0 表示不輸出
# DELT 表示輸出時間間距，單位為天
# NGFILE 為輸出之邊界檔名
#
&NESTOUT
  NGRID = 'topo.inp'
  IM = 201,
  JM = 201,
  KB = 16,
  IUA = 1,
  DELT = 31,
  NGFILE = 'nested.inp',
&END

```

則執行時請於命令模式下輸入，

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

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

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

其中，-I 參數後為輸入之資料檔名，-O 參數後為輸出檔名。

3.5 命令腳本

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

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

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

```
#
# 計算起始時間，請設定為 SSSSSSSS.SSSSSS
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
SSSSSSSS.SSSSSS
#
# 計算模擬時間，請設定為 DD.D
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
DD.D
#
# MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB ICORD ANGLE)
#
115.0 15.0 0.05 301 301 21 1 0.0
#
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME SLMAX)
#
ETOPO2.nc topo.inp 2.0
#
# ETA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_INTERVAL)
#
nao99b eta.inp 0.041666
#
# SLP (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday slp.inp 0.25
#
# WIND (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday wind.inp 0.25
#
# SST DATA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
```

```

noaa_oisst_mon sst.inp 7.0
#
# STATE
# (SALINITY_DATASET TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1 t00an1 state.inp
#
# INIT (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
none init.inp
#
# NEST (INPUT_NC IUA I3D IHALO)
#
pom.nested.nc 1 1 10
#
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET OUTPUT TIME_DURATION)
#
none sflx.inp 0.0
#
# END OF CONFIG
#

```

該檔案內容與執行 *prepom.exe* 程式所需之檔案設定相同，但起始時間與計算模擬時間需以 SSSSSSSS.SSSSSS 與 DD.D 字串代替，成批執行命令腳本會自動找尋該字串進行代換。如輸入以上指令模式會自動進行檔案的處理，模擬完成後，在計算方案主目錄下可發現，如 *pom.20010101.nc* 或 *pom2k.20010101.nc* 等分別以日或月為最小時間單位之模擬結果。

四、繪圖與分析程式

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

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

> ncl ncl_script.ncl

如此可以繪製出相對應的圖形。而 **NCLscripts** 目錄中之 NCL 繪圖命令腳本與可繪製的圖形如下表所述：

附表 1 NCL 命令腳本與圖形對照表

NCL 命令腳本名稱	可產生之圖型或圖號
<i>pom_pltHeight_global_sst_Orthographic.ncl</i>	全球海表面溫度圖
<i>pom_pltHeight_global_elb_Orthographic.ncl</i>	全球海表面水位圖
<i>pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_0m_nwpo.ncl</i>	全球及北太平洋海域表面流場圖
<i>pom_pltHeight_600m_global_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_600m_nwpo.ncl</i>	全球及北太平洋海域 600 米深層之流場圖
<i>pom_pltHeight_0m_nwpo_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl</i>	北太平洋及臺灣鄰近海域表面流場圖
<i>pom_pltHeight_600m_nwpo_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_600m_taiwan.ncl</i>	北太平洋及臺灣鄰近海域 600 米深層之流場圖
<i>pom_pltSection_taiwan.ncl</i> <i>pom_pltSection_600m_taiwan.ncl</i>	垂直臺灣東岸特定斷面之流場圖
<i>pom_pltHeight_diff.ncl</i>	全球流場差值圖
<i>pom_pltHeight_0m_tide.ncl</i>	臺灣海域含潮流場圖
<i>pom_pltHeight_600m_tide.ncl</i>	臺灣海域含潮流場圖
<i>pom_pltHeight_0m_tide_current.ncl</i>	含潮流場比較圖
<i>pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn2N2.ncl</i> <i>pom_pltHeight_300m_global_ZoomIn2N2.ncl</i>	自全球海域萃取臺灣四周海域範圍之流場圖
<i>pom_pltHeight_0m_nwpo_ZoomIn2N1.ncl</i>	自西北太平洋海域萃取臺灣四周海域範圍之流

<i>pom_pltHeight_300m_nwpo_ZoomIn2N1.ncl</i>	場圖
<i>pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl</i> <i>pom_pltHeight_300m_taiwan.ncl</i>	臺灣四周海域表層與300米等深層之流場圖
<i>pom_pltSection_taiwan_current_N.ncl</i>	臺灣海域特定斷面之剖面流場圖
<i>pom_pltHeight_taiwan_ctd.ncl</i>	臺灣海域之溫鹽圖
<i>pom_pltSection_taiwan_ctd.ncl</i>	臺灣海域特定斷面之剖面溫鹽圖
<i>pom_pltHeight_t3_sw_vel_serial.ncl</i>	臺灣西南海域高雄中洲近海實測與計算海流流速與潮位之時序變化比較圖
<i>pom_pltHeight_t3_2d_vel_serial.ncl</i> <i>pom_pltHeight_t3_3d_vel_serial.ncl</i> <i>pom_pltHeight_t3_tide_diff_ad.ncl</i>	臺灣四周海域潮流與綜合海流及其相互之差異流場
<i>pom_pltHeight_T-SW_KH_at0m.ncl</i> <i>pom_pltHeight_T-SW_KH_at100m.ncl</i>	臺灣西南部港口外廓近岸海域海流流場
<i>pom_pltHeight_T-N_KL.ncl</i> <i>pom_pltHeight_T-N_TP.ncl</i>	臺灣北部港口外廓近岸海域海流流場
<i>pom_pltHeight_T-E_at0m.ncl</i> <i>pom_pltHeight_T-E_at200m.ncl</i>	臺灣東部港口外廓近岸海域海流流場
<i>pom_pltHeight_T-W_summer.ncl</i> <i>pom_pltHeight_T-W_winter.ncl</i>	臺灣西部港口外廓近岸海域冬夏季海流流場

使用者可以選擇相對應的命令腳本來進行圖形的繪製，而 NCL 命令腳本中的內容亦可以參考命令腳本中的說明自行調整。

五、操作範例說明

以本研究第四章臺灣鄰近海域之洋流模擬為例，說明模式由 G1、N2 至 T2 模式之執行流程，而計算方案依序命名為 `global_g1`、`nwpo_n2` 與 `taiwan_t2`。為便於了解所有流程，利用條列式說明讓使用者可按步驟逐一操作。以下為各步驟之說明：

1. 依據本操作手冊之模式安裝說明，設定 POM 模式環境變數。
2. 於終端機視窗中執行 `createproj.sh` 命令腳本，建立 `global_g1` 計算方案之設定與目錄環境。於提示符號後輸入：

```
> createproj.sh global_g1
```

出現交談式選單，輸入 `global_g1` 之計算條件，如附表 2 中所示。

3. 完成交談式輸入之後，在安裝目錄中即會出現 `global_g1` 目錄，而該目錄中會出現 `inp` 與 `bin` 目錄與 `namelist.pom.tmp`、`grid.h` 等檔案，`inp` 目錄中會出現 `global_g1.copy` 之 `prepom.exe` 之輸入檔，`bin` 目錄中則會出現 `pom2k.exe` 與 `prepom.exe` 等執行檔，`sst` 與 `wind` 目錄則是連接 `data` 目錄中之海氣象資料庫，`s00an1` 與 `t00an1` 則為 WOA 之年平均溫鹽資料。
4. 交談式輸入最後會可選擇自動執行模擬，若選擇自行執行模擬，其指令如下所示：

```
> runpom_batch.sh global_g1 1948 1950
```

其中 1948 與 1950 表示從 1948 年 1 月 1 日模擬至 1950 年 12 月 31 日。

5. 模擬結束之後進行 N2 巢狀模式之模擬，執行 `createproj.sh` 命令腳本，建立 `nwpo_n2` 計算方案之設定與目錄環境。於提示符號後輸入：

```
> createproj.sh nwpo_n2
```

出現交談式選單，輸入 `nwpo_n2` 之計算條件，如附表 2 中所示。輸入後如 `global_g1` 模式，程式會自動建立 **nwpo_n2** 目錄與其中的檔案與目錄。

6. 交談式輸入最後會可選擇自動執行模擬，若選擇自行執行模擬，其指令如下所示：

```
>runpom_batch.sh nwpo_n2 1948 1950 global_g1
```

其中 1948 與 1950 表示從 1948 年 1 月 1 日模擬至 1950 年 12 月 31 日，而 `global_g1` 表示巢狀母格網之方案名稱，程式會自動於 **global_g1** 目錄中抓取相對應時間之計算結果，內插邊界條件至 `nwpo_n2` 模式。

7. `nwpo_n2` 模擬結束之後進行下一層 `taiwan_t2` 之巢狀格網模擬，如同上述兩個方案之執行方式，利用 `createproj.sh` 建立模擬所需之相關設定，輸入下列指令進行模擬，而相關參數如附表 2 中所示。

```
>runpom_batch.sh taiwan_t2 1948 1950 nwpo_n2
```

8. 依上述 1~7 步驟執行後即會得到本研究所建置之 G1、N2 與 T2 模式結果，如需繪出附表 1 中之模擬計算結果圖形，則分別於 `global_g1`、`nwpo_n2` 與 `taiwan_t2` 目錄中，輸入下列指令：

```
>ncl $POM/NCLscrpints/pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn.ncl
```

或

```
>ncl $POM/NCLscrpints/pom_pltHeight_0m_nwpo.ncl
```

或

```
>ncl $POM/NCLscrpints/pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl
```

即會得到 Postscript 格式之圖形檔。

附表 2 createproj.sh 命令腳本中所需參數表

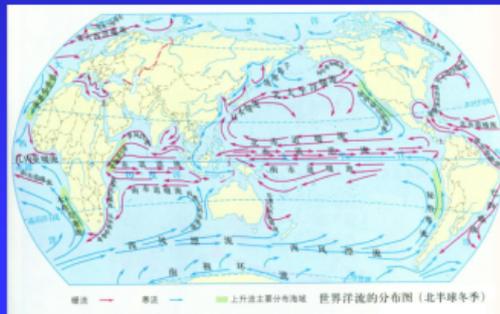
參數	G1 模式	N2 模式	T2 模式
X0	29.0	104.9	115.0
Y0	-76.0	-15.1	15.0
grid spacing	0.5	0.2	0.05
IM	723	351	301
JM	292	301	301
KB	21	21	21
topography dataset	topo_global_g1.dat	topo_nwpo_n2.dat	topo_taiwan_t2.dat
Tidal boundary	none	none	none
SLP dataset	none	none	none
surface wind dataset	ncep monthly mean	ncep monthly mean	ncep monthly mean
SST dataset	noaa ersst monthly mean	noaa ersst monthly mean	noaa ersst monthly mean
sea state	WOA 2005	WOA 2005	WOA 2005
batch run	Y	Y	Y
model type	global	nested	nested
mother domain	none	global_g1	nwpo_n2
dte	30.0	20.0	5.0

註：上表中未列出參數均可直接鍵入 enter，即為命令腳本中之預設值

附錄 2 期末報告審查簡報資料

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(3/4) — 臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估 —

- 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

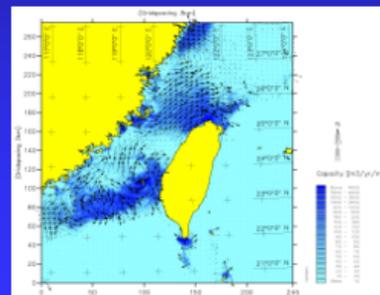
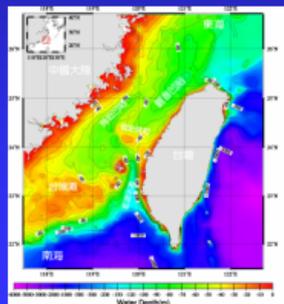


01/18/2012

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



01/18/2012

2

研究緣起與研究目的

研究緣起：

- ◆ 重要性：海流(洋流)是海洋的動脈，近岸輸沙與污染質及近海營養鹽等主要藉其輸運配送。與近岸大尺度(大規模、長期性)的自然營造力密切關聯；惟國內海岸經理及海岸保育，偏重局部性、短期性之探討，是以此一有關時空大尺度課題的研究，迄今仍甚有限。
- ◆ 海域環境：臺灣環島近岸或近海，皆是海流盛行之海域，國內海岸工程之學者專家常關切洋流的影響。
- ◆ 海岸保育的關鍵課題：海岸到處皆侵蝕，未陳現沖淤平衡；近岸沖蝕之漂沙輸運到那裏去了？堆積在那裏？近岸的漂沙與輸沙動力只有波浪及潮流嗎？
- ◆ 研究成果應用：近自然工法；「永續經營及利用」；海岸穩定與海灘沖淤；



研究目的：

- 掌握近岸之長期優勢海流水動力(流速及流向)特性；
- 提供臺灣東部深層海水產業_水溫及鹽度月季變動資訊；
- 評估海流能源之相關開發利用；
- 厚植大尺度、長期性近岸救災與海岸保育之關鍵技術。



01/18/2012

3

研究方法

引進建置海流數值模式

- 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；

進行數值模擬：

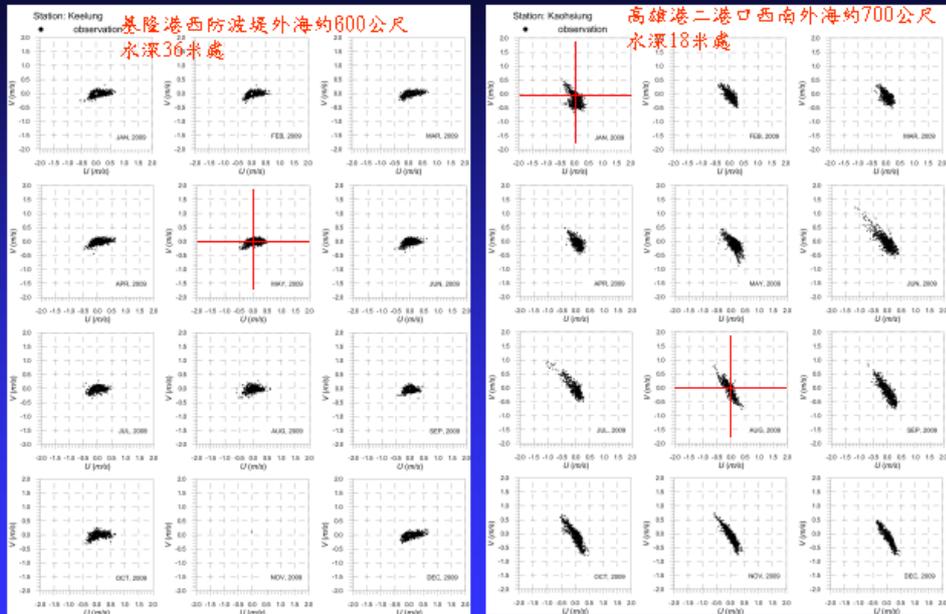
- 針對臺灣近岸海域，建構巢狀格網架構，採用正交曲線格網，綜合洋流與潮流效應，考量局部近岸地形、河口與港口外廓防波堤之影響。
- 巢狀母子格網之聯結銜接，應用邊界緩衝區之流速推遷(mudging)技術
- 模式驅動動力：利用美國NGDC之ETOPO1環球水深地形資料庫，再結合美國NCEP/NCAR之風場與氣壓場資料庫、NOAA之OI SST海面溫度資料庫、及NODC之WOA05水深分層溫鹽資料庫；NAO99b及OTPS全球潮位模式。
- 模式調校驗證：利用國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文_溫鹽、海流、水深等實測紀錄及涵蓋基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、台中港、臺北港等7大商港港口外廓海域之實測紀錄。

01/18/2012

4

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

臺灣7大商港港口近岸之實測流場特性 基隆-高雄(1/2)



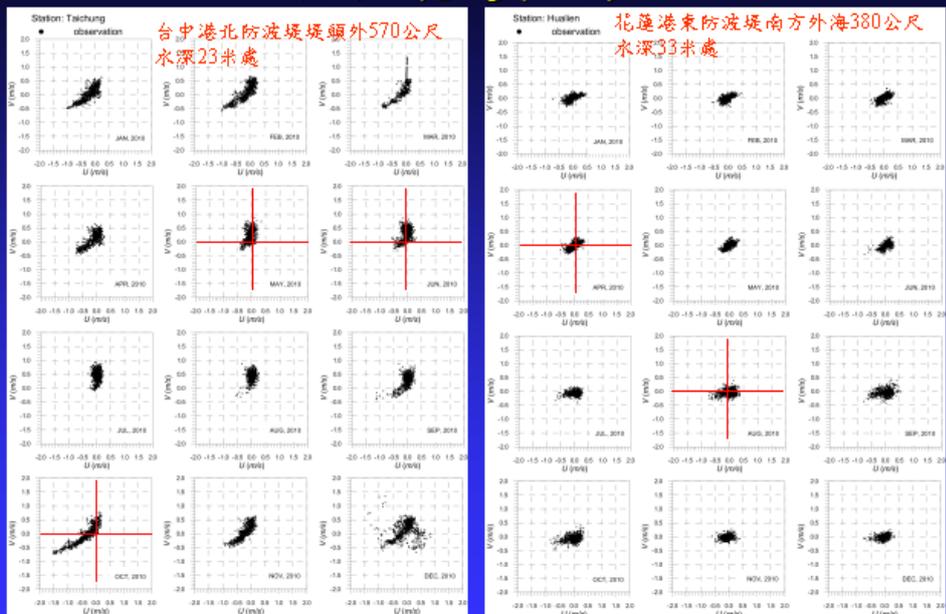
► 潮流+洋流+風力之效應 與 近岸地形+港口外廓結構物之影響

01/18/2012

5

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

臺灣7大商港港口近岸之實測流場特性 台中-花蓮(2/2)

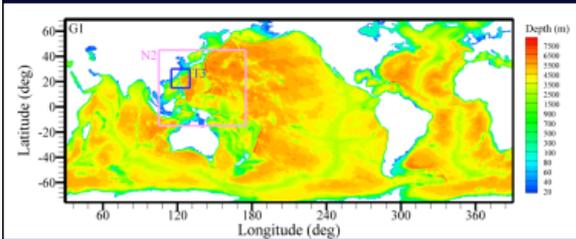


► 潮流+洋流+風力之效應 與 近岸地形+港口外廓結構物之影響

01/18/2012

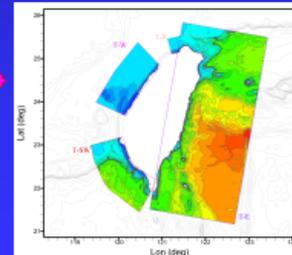
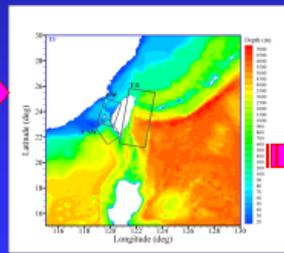
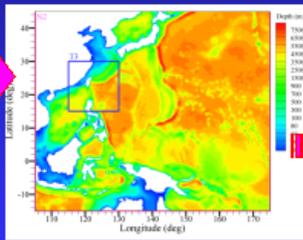
6

臺灣近岸海流模擬計算之巢狀格網架構



模式	海域範圍	解析度 (deg)	計算時距 (sec)
G1	全球海域	1/4	30
N2	西北太平洋海域	1/10	20
T3	臺灣四周海域	1/32	6
T-NS	臺灣局部近岸海域 7大商港港口外廓	90m ~ 1000m	0.5

國科會海洋學門地形水深資料庫：
500m*500m；(117~125E, 18~27N)。



海流模式邊界及初始趨動力設定

— 粗細時空解析度之海氣象資料庫應用

模式	地形水深	海面風場	海面溫度	計算起迄時間	計算機時間 (分)	巢狀邊界更新時間
G1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis I, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01 ~ 2010/12/31	210 min	無
N2	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis I, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01 ~ 2010/12/31	66 min	日
T3	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis I, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01 ~ 2010/12/31	65 min	日
T-NS	國科會海洋學門資料庫	NCEP/NCAR Reanalysis I, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	2008/12/01 ~ 2010/12/31		1小時

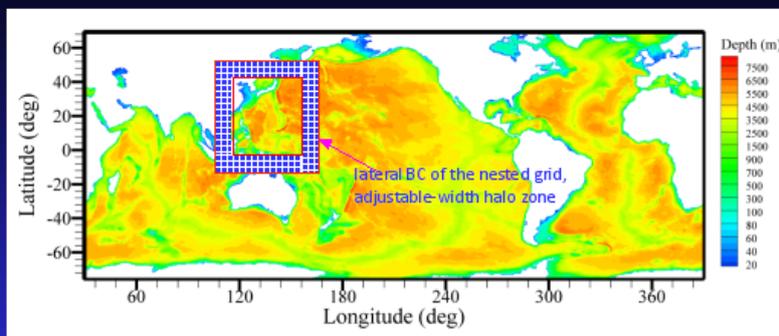
海洋鹽度：NODC WOA 年長期平均。

國科會海洋學門地形水深資料庫：500m*500m；(117~125E, 18~27N)。

註：以雙六核心 Intel Xeon 3.3GHz 電腦於 SUSE Enterprise 11 Server 上執行，利用 MPI 進行 POM 模式平行化計算，模擬一個月所需之計算機時間。

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估 (3~4)

巢狀母子格網之緩衝邊界及推進技術



lateral B.C. of nested grids

at the boundary

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

in the halo zone

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

$$\text{線性淺水波流速} = \frac{\eta}{h} c$$

$$= \sqrt{\frac{g}{h}} \eta$$

上標0表示上層模式於下層邊界處之內插值

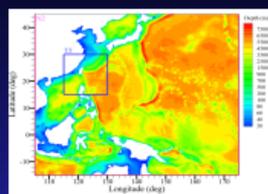
\bar{U}_n 為邊界之法線方向流速 η 為水位

下標i表示據邊界格網第i點處之值；

緩衝邊界取10層。 ϕ 可分別代表溫度(T)、鹽度(S)及流速(·)

綜合洋流與潮汐效應之海流模擬計算架構

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)



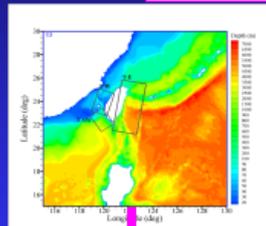
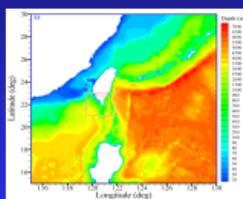
海流流速與
水位邊界

風力、氣壓及
溫度

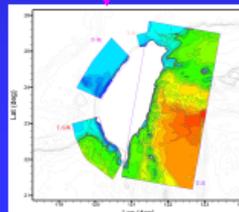
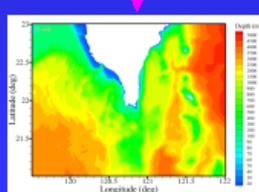
海氣象與地形水深
資料庫
NCEP; NOAA; NODC
國科會

潮位邊界

巢狀格網計算



巢狀格網計算

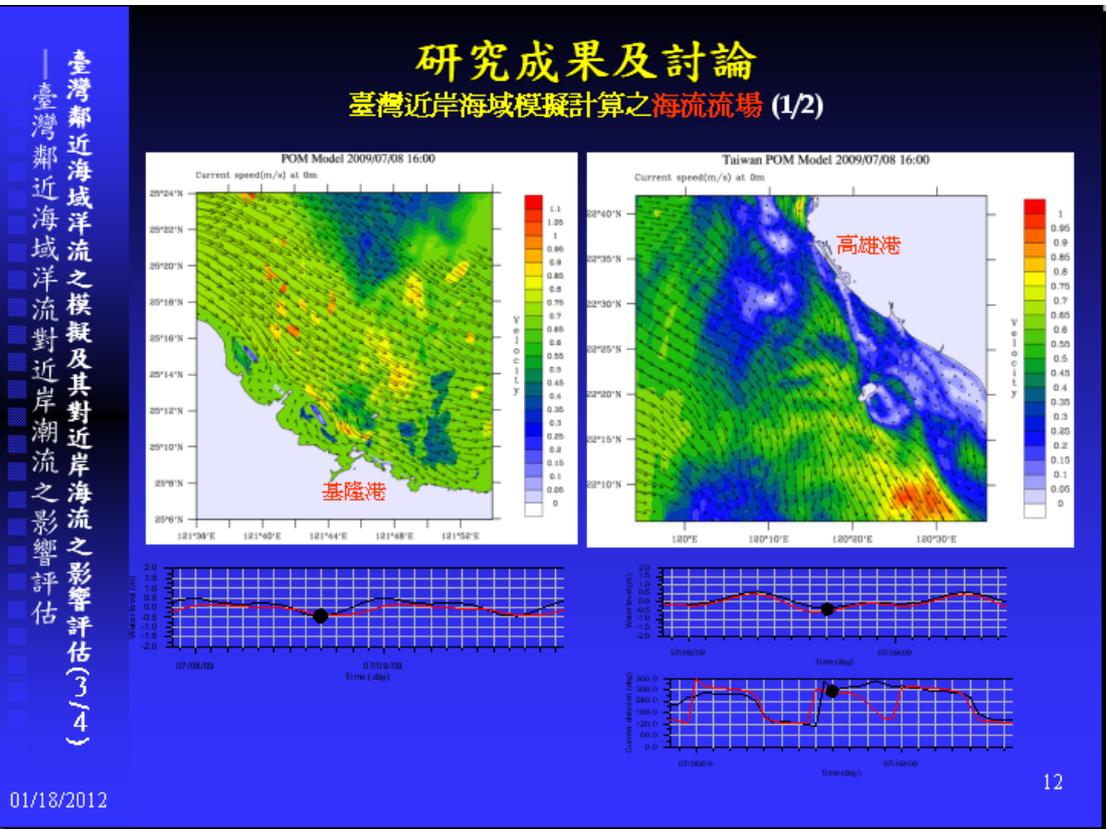
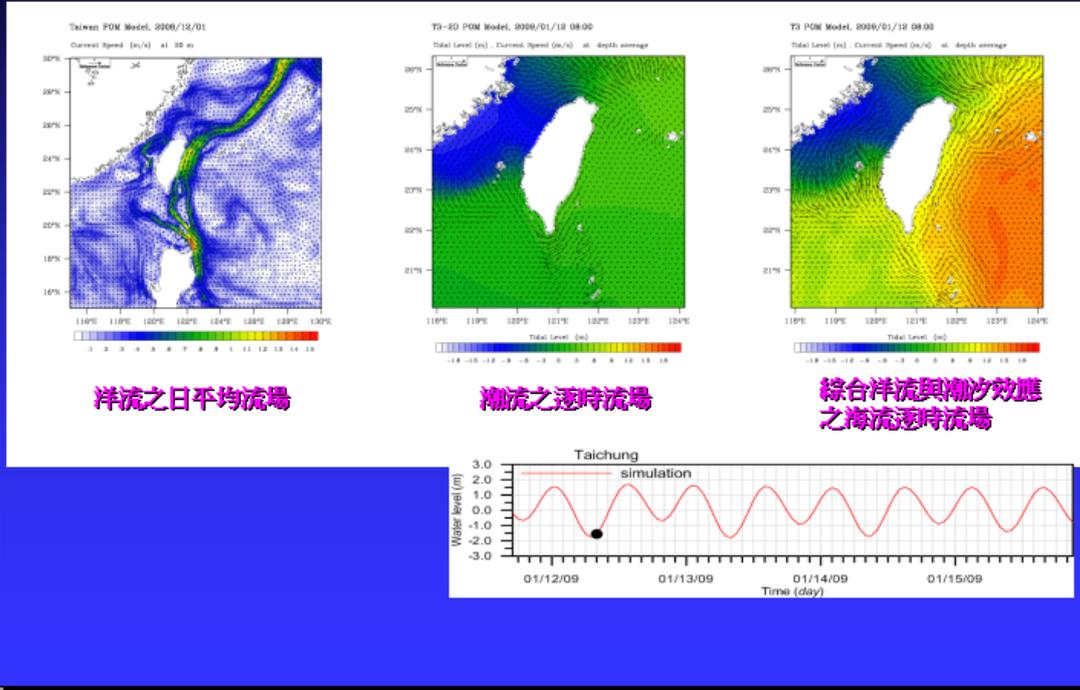


01/18/2012

10

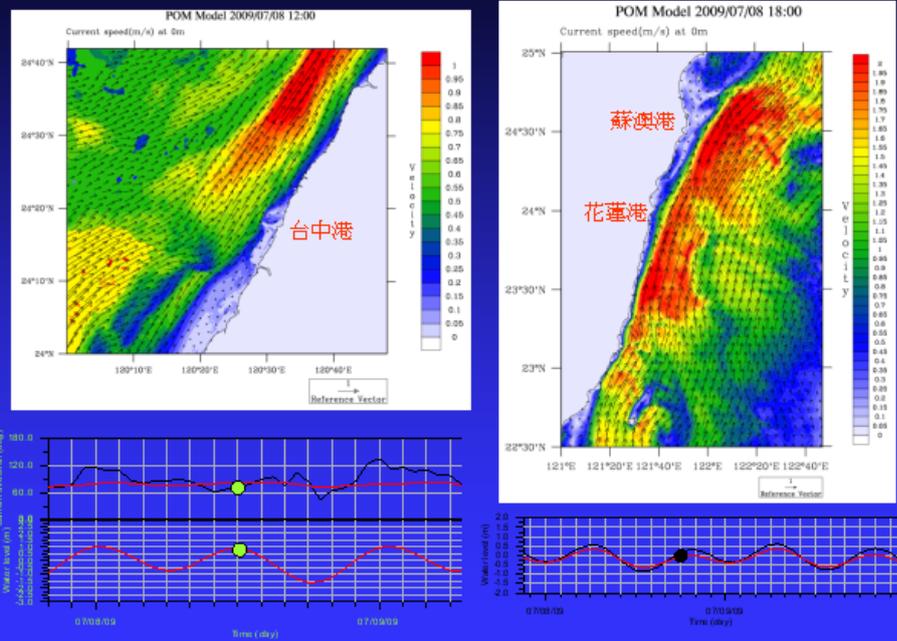
研究成果及討論

臺灣四周海域 模擬計算之海流流場



臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估(3)(4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

研究成果及討論 臺灣近岸海域模擬計算之海流流場 (2/2)

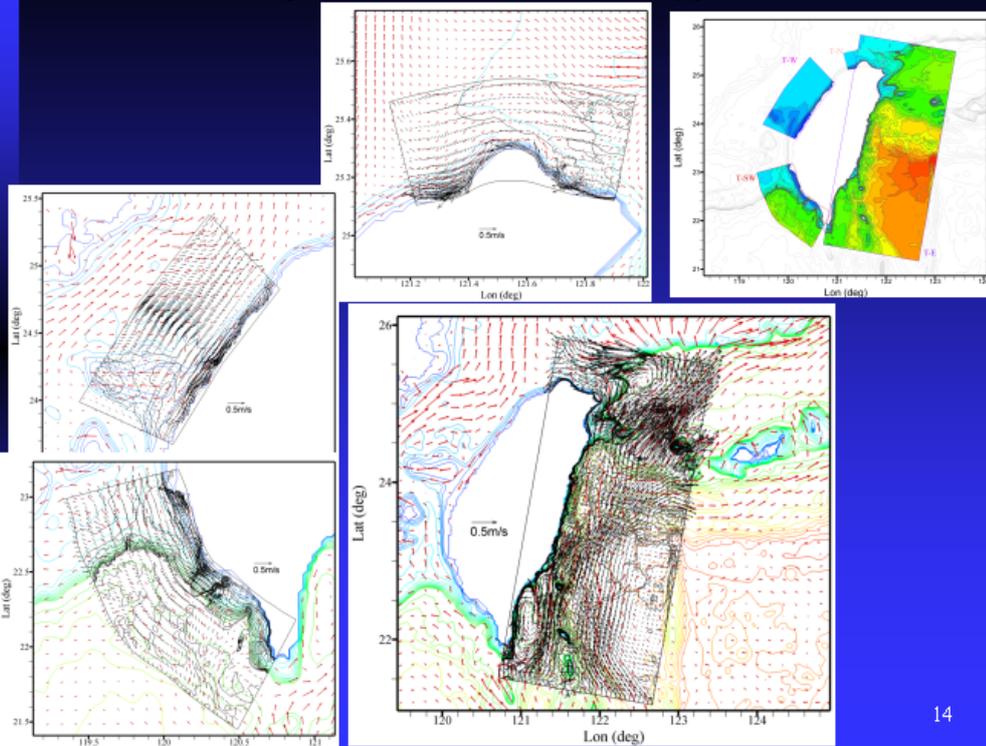


01/18/2012

13

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估(3)(4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

母子巢狀格網之流場延續檢核

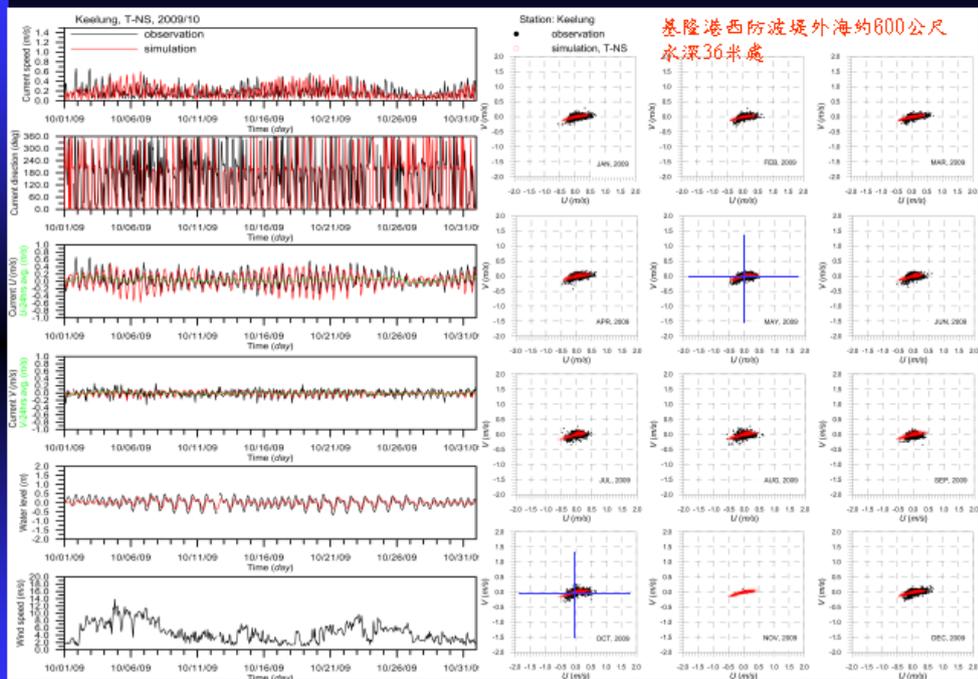


01/18/2012

14

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估(3)(4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

基隆港_近岸實測海流驗證 (1/4)

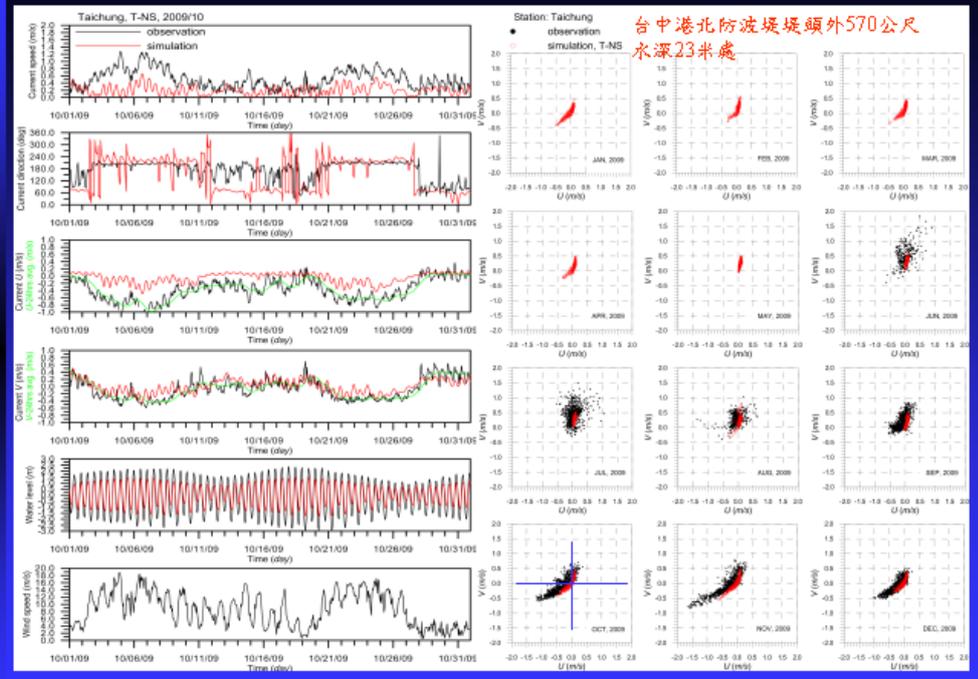


01/18/2012

15

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估(3)(4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

台中港_近岸實測海流驗證 (2/4)

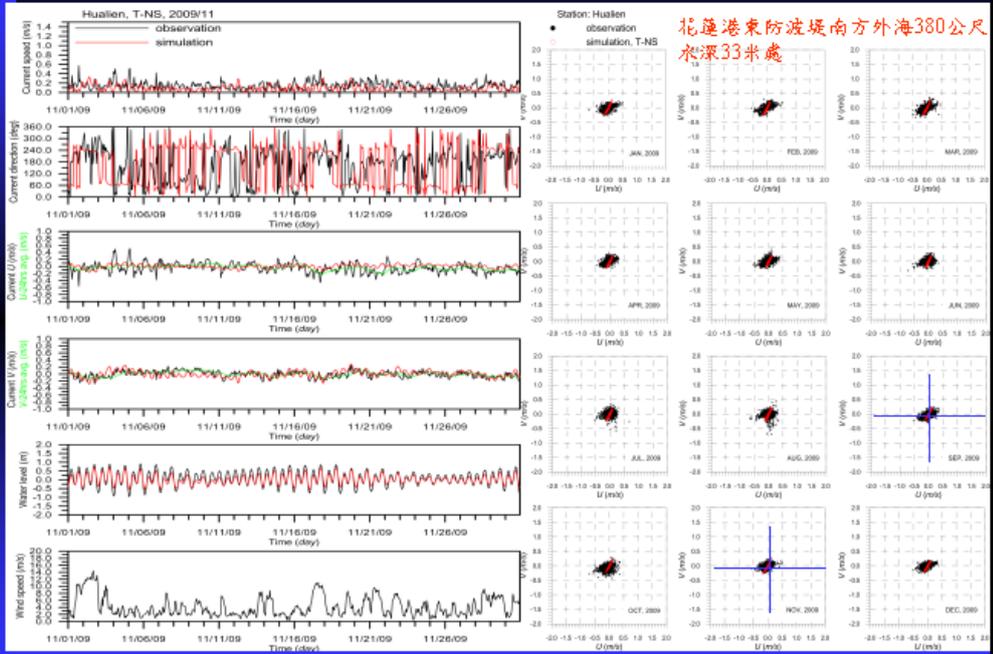


01/18/2012

16

花蓮港_近岸實測海流驗證 (3/4)

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估 (3/4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

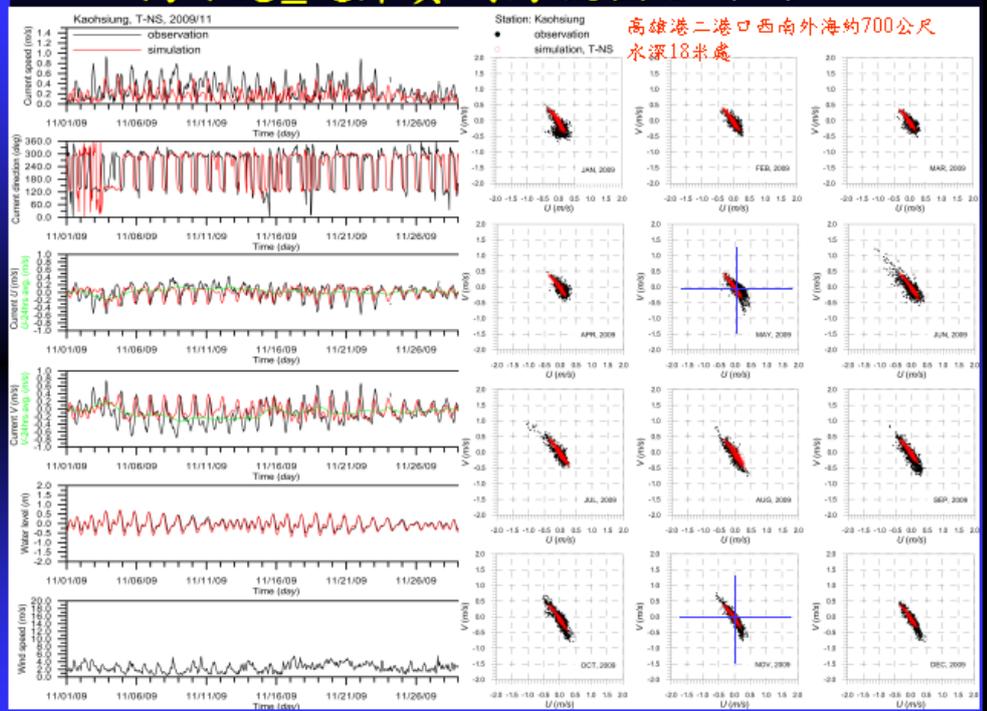


01/18/2012

17

高雄港_近岸實測海流驗證 (4/4)

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估 (3/4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

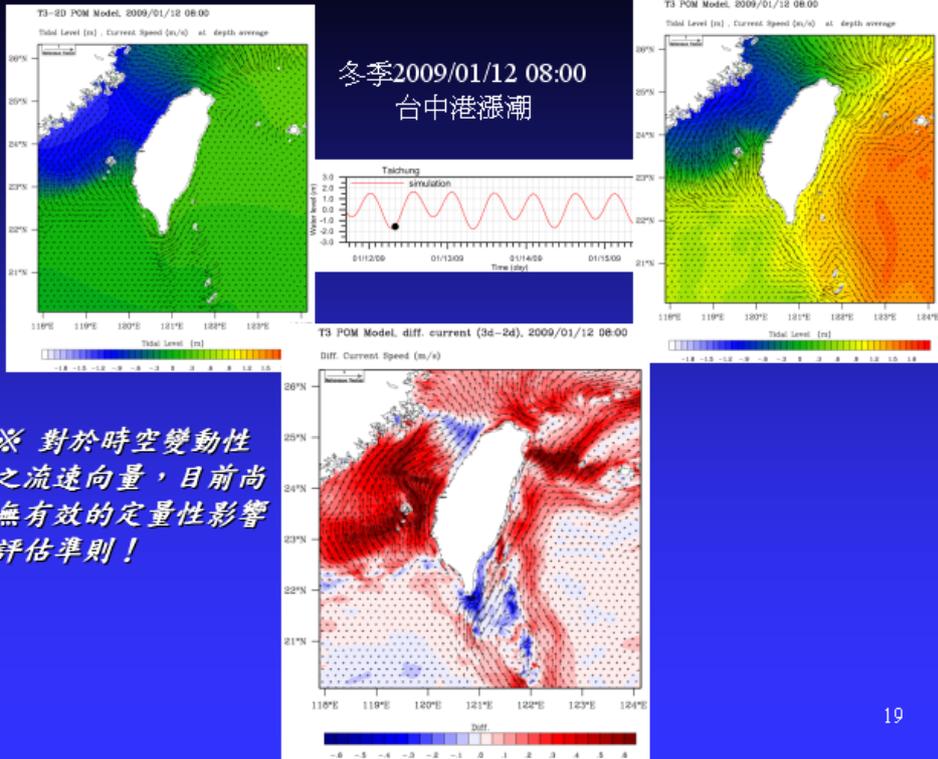


01/18/2012

18

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估(3~4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

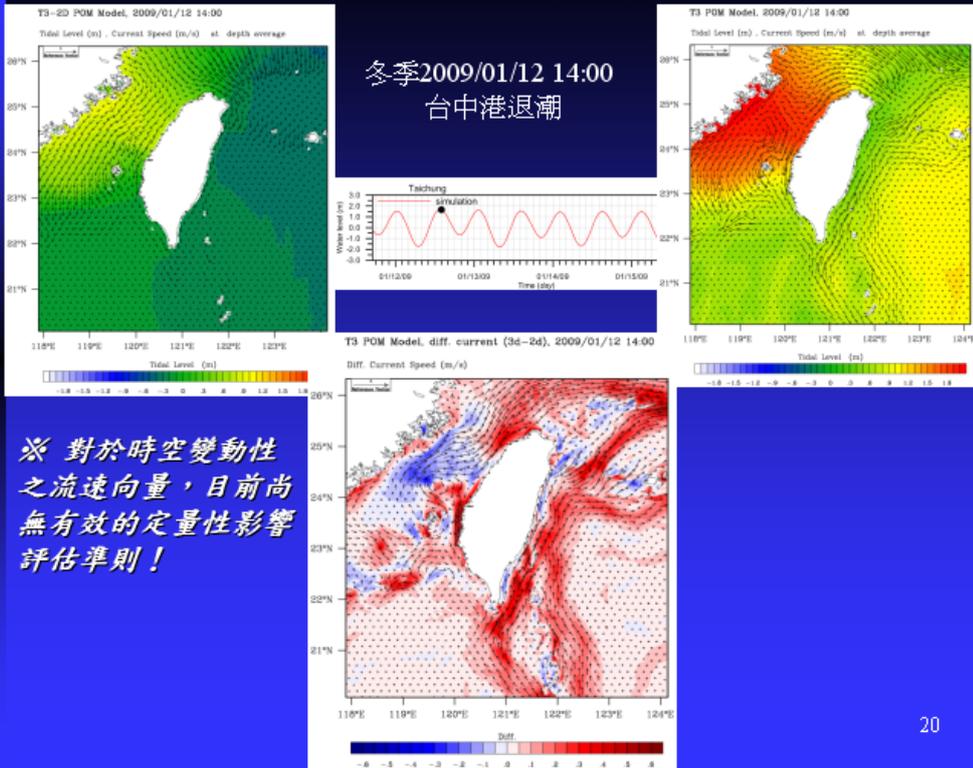
近岸海流對潮流之差異流場及影響評估(1/3)



01/18/2012

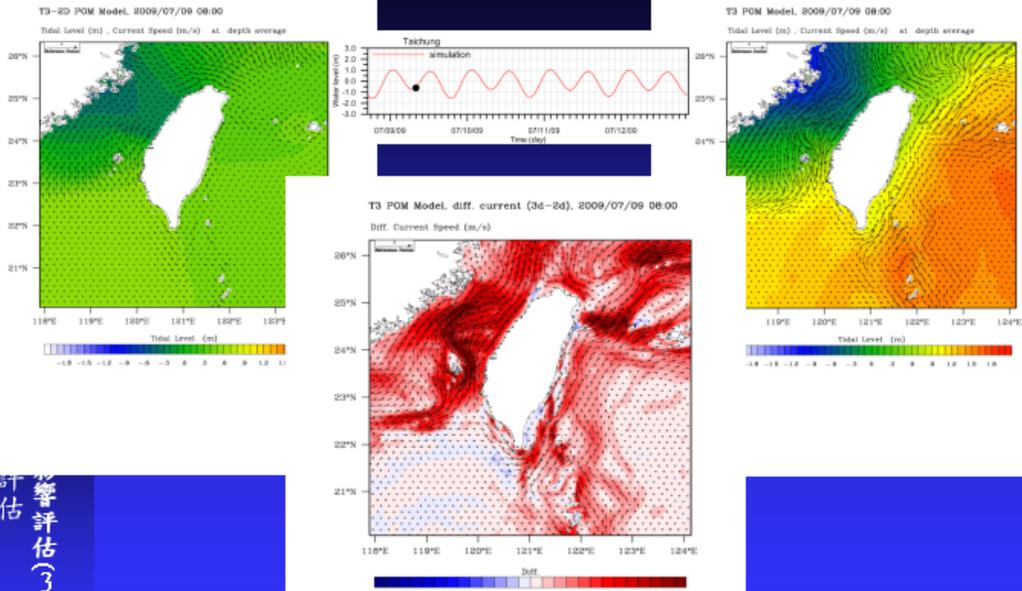
臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸潮流之影響評估(3~4)
臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估

近岸海流對潮流之差異流場及影響評估(2/3)



01/18/2012

近岸海流對潮流之差異流場及影響評估(3/3)



潮流(左)與綜合洋流及潮流效應(右)之
逐時海流及其差異流場(中)
參考潮位：台中港

影響評估(3/4)

01/18/2012

21

結論

- 應用POM三維海洋環流模式，本研究現階段已可就臺灣四周海域充分詳細地具體模擬計算潮流、黑潮、黑潮支流及套流等顯著存在於臺灣四周海域的大尺度海流特性，並可順利推展並進行綜合考量洋流與潮汐共同效應之近岸海流模擬。
- 於考量風力、氣壓、溫度與鹽度效應所計算之黑潮特性，其主流最大表面流速約1.0~1.5 m/s；主流離岸距離約80公里；主流寬度約100公里；在水深300米處，流速尚約有0.3 m/s。
- 在臺灣東部近岸，潮流受洋流之影響甚輕微，但值得特別注意的是，在分別距離蘇澳港與花蓮港海岸各約14公里與6公里的外海，即可發現主流偏向東部近岸且流速約可高達1.8 m/s之強勁黑潮。
- 在臺灣西部近岸，臺灣海峽內四季之洋流(含括季風影響下的黑潮支流及中國沿岸流與風趨流等)，明顯會對臺灣海峽海域及北自基隆港、南至安平港之潮流流場造成影響，影響之輕重程度，隨季節性與台中港潮位之逐時序漲退變化而有所不同與差異。

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)

01/18/2012

22

建議

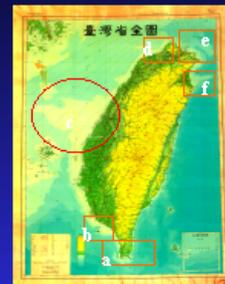
- 目前學研領域對於具空間全平面性與時變性之實測與計算流場(流速向量)，尚無有效的定量性影響評估準則，也無準確性評估依據，相關課題，值得列入未來深入研究並作詳細探討。
- 在臺灣近岸海域，當數值模式之格網範圍減小、空間解析度提高時，儘管其模擬計算所得之特徵海流特性相對地也較詳細，但因現階段所應用地形水深與海氣象(風力、氣壓、溫度與鹽度)資料庫之既有時空解析度限制，故而初步之成果，當與近岸實測紀錄資料作驗證時，準確度均尚待提昇，因此，一般縮小計算海域範圍、提高其格網空間解析度之慣例性迷思，應有所調整。

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
100 年度政府科技計畫期末報告審查

敬請 指教 賜正！

感恩！

勞力！



- 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

附錄 3 期末報告審查會議及審查委員意見處理表

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

第三科 100 年度自辦研究計畫

「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(3/4)—臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估」期末審查會議紀錄

壹、時間：民國 101 年 1 月 18 日（星期三）上午 9 時 00 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、出席單位及人員：

<u>審查委員：</u>	
交通大學土木工程系 郭一羽教授	郭一羽
臺灣海洋大學河海工程 蕭松山教授	蕭松山
嘉義大學土木與水資源系工程陳文俊教授	陳文俊
成功大學水工試驗所 劉景毅組長	劉景毅
建國科技大學 莊甲子教授	莊甲子
<u>本所港研中心：</u>	
簡仲璟科長	簡仲璟

審查委員及評審意見與建議	處理情形
<p>一、莊甲子 委員 (評分：89)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究能以相對顯得不足的經費完成相當完整的研究成果先此予以肯定。 2. 本研究引用國外 POM 模式，在近岸模擬時，有關地域性參數之應用宜加檢核確認。 3. 圖 4-47 至圖 4-48 中部份流向模擬結果與實測結果其趨勢性差異甚大，建議加以檢核。 4. 第五章結果與建議中有關研究目的與問題簡述部分(5.1 節)建議精簡融入結論(5.2 節)中。 5. 報告內容完整，成果顯著。 6. 部分模擬結果存在趨勢性差異宜加強檢核。 	<p>感謝莊委員甲子教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定與期勉。 2. 近岸海流模擬計算結果，已引用國內 7 大商港港口外廓實測紀錄資料進行檢核確認，參見第 4.5.4 節內文。 3. 圖 4-47 至圖 4-48 分別為臺中港港口外廓計算海流流場之陳現，部份模擬與實測海流流向之徧大差異檢核，參見第 4.5.4 節內文。 4. 第五章結果與建議中有關第 5.1 節研究目的與問題簡述部分，其為本所研究報告之規定項目與要求格式，感謝建議。 5. 感謝肯定。 6. 本研究現階段對於臺灣近岸海流之模擬，僅著重考量大尺度之洋流及潮流效應，故而在應用既有地形水深與海氣象資料庫之時空解析度限制下，模擬結果確實尚無法充分準確陳現實測海流特性，相關之差異檢核，參見第 4.5 及 4.6 節內文之說明。
<p>二、蕭松山 委員 (評分：88)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 所建立之臺灣海域海流數值模擬作業系統應可提供海岸保育策略及海洋能源永續利用參用，研究計畫成效值得肯定。 2. 建議圖 4-2~圖 4-8 海象測站佈置標示說明改善清晰。 3. 建議下一年度舉辦 POM 模式操作示範研習會，增進人材培育功能。 	<p>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：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定與期勉。 2. 圖 4-2~圖 4-8 所示國內 7 大商港海象測站佈置圖係直接摘錄自曾 等(2011)及蘇 等(2011)之研究報告。相關之詳細佈置說明，請參閱原報告或第 4.3 節內文。 3. 感謝建議。本研究現為 4 年期程之第 3 年，待全程計畫執行完竣後，再作舉辦研習會之考量。另本研究報告第 2 章及第 3 章內文，陳現有相關 POM 模式建置及操作之詳細說明，有興趣之研究者，請先逕行參閱應用。

<p>4. 本研究引用 POM 三維海洋環流數值模式，模擬計算臺灣近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流流場，並與實測資料驗證，進而建立臺灣鄰近海域海流數值模擬作業系統，將可提供海岸防護策略，海洋資源永續利用參用，研究成效值得肯定。</p> <p>5. 內政部國土測繪中心，近年來針對近岸海域已建置海域基本圖。下年度研究建議引用於近岸加密區水深資料應可較符實際。</p>	<p>4. 感謝肯定與期勉。</p> <p>5. 感謝提示及建議。經瞭解，內政部國土測繪中心自民國 93 年起即分區陸續推展臺灣近岸海域基本圖之測繪建置，全程計畫預定於民國 104 年完成。是已臺灣環島近岸海域，除了國科會海洋資料庫外，現況尚無高解度地形水深資料庫可資應用。另外，臺灣環島近岸海域之海流，複合有大、小尺度及長、短期性之海氣象影響因子與地形水深影響效應(參見第 4.3 節內文)，欲實際準確地進行臺灣環島近岸海域之大尺度海流模擬，除了需要應用高解度之地形水深資料庫外，尚需有長期性、大範圍、高時空解析度之海氣象資料庫配合支援。因此，所提示之建議，待未來另行作專題考量。</p>
<p>三、郭一羽 委員 (評分：86)</p> <p>1. 洋流之模擬對海流發電以及漁業資源的應用方面研究可加強，貢獻會更具體。</p> <p>2. 以實測海流來驗證意義較低，可用其他較確定的資料來驗證即可。</p> <p>3. 對實測海流資料做頻譜分析，求出的恆流即接近海流。</p>	<p>感謝郭委員一羽教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 感謝建議與期勉。</p> <p>2. 本研究對於臺灣四周及環島近岸(港口外廓)海域之海流，為確認模擬計算結果之準確性及應用性，均已分別應用相關研究與實測紀錄進行驗證，各項驗證之意義，參見第 4.4.5 節、第 4.4.6 節及第 4.5.4 節內文之說明。</p> <p>3. 感謝提示及建議。惟實測海流紀錄係向量性資料，應用既有具純量性之頻譜分析進行實測海流內涵分析，應尚有諸多分析理論與技術之障礙待克服及突破。本研究現階段對於具向量性之海流紀錄，係應用第 4.3 節內文所述之流速集散圖(scatter diagram)進行資料整理與分析，海流之恆流分量，透</p>

<p>4. 成果在應用方面不急於一時，但方向要正確。</p> <p>5. 本計畫內容詳實，有研究價值。</p>	<p>過集散圖之形心與圖示座標原點之偏移向量，即可據以分析判定。</p> <p>4. 感謝提示、指導及建議。</p> <p>5. 感謝肯定與期勉。</p>
<p>四、陳文俊 委員 (評分：88)</p> <p>1. 本案模擬結果之驗證中，實測資料受到洋流之影響是否僅受黑潮影響？另外風驅動力影響成份是否亦會造成？</p> <p>2. P2-12 eq(2-48) 流速邊界中 BC2 是否有誤？</p> <p>3. P4-89~4-93 中，臺中港波向模擬與實測有一區段有明顯之差異原因為何？另外水位模擬欲偏小之原因為何？</p> <p>4. 建議總成果能對洋流對臺灣各海岸潮流之影響範圍及影響大小，以提供未來延伸性研究或應用之參考。</p> <p>5. 整體研究成果給予肯定。</p> <p>6. 計畫陳述完整，模擬理論與驗證亦清晰描述，已達預期之成果，故給予肯定，未來執行成果可再具體整理出洋流對臺灣四周近岸潮流影響之具體評估(即具體之影響範圍、影響大小)及研提可能之應用影響，提升未來延伸之實用價值。</p>	<p>感謝陳委員文俊教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 本研究針對國內 7 大商港港口外廓海域之實測海流紀錄，透過流速集散圖(scatter diagram)進行資料整理與分析(參見第 4.3 節內文)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，尚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。惟本研究基於既有計算能量與海氣象資料庫之時空解析度限制，目前僅能概要綜合考量洋流及潮流效應，並粗略掌握近岸風力、地形水深及港口外廓結構物之影響。</p> <p>2. 已作勘誤修訂。感謝提示及指正。</p> <p>3. 在臺中港港口外廓海域，模擬計算波向與實測具有區段性明顯差異之原因，除可能係局部近岸地形與港口外廓防波堤及風趨流之綜合影響外，潮流效應未準確陳現，應是計算與實測波向具有差異之主因，也因此而導致模擬計算潮位較實測偏小。詳細原因，待下年度研究計畫作詳細之探討及確認。</p> <p>4. 感謝建議。相關期許亦為本研究之研究目標，參見第 1.1 節內文所述。</p> <p>5. 感謝肯定。</p> <p>6. 感謝肯定與期勉。</p>

<p>7. 建議結論與建議此章可再精簡，比如 5.1 可濃縮為章節之引導敘述即可，不必太多而自成一小節。</p>	<p>7. 第五章結果與建議中有關第 5.1 節研究目的與問題簡述部分，其為本所研究報告之規定項目與要求格式。感謝建議。待循本所行政程序反映。</p>
<p>五、劉景毅 委員 (評分：86)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 海流現象複雜，研究成本高，本計畫以有限資源進行 POM 模式之模擬分析，且已有初步成果，值得肯定。 2. 海流因外力因素複雜，不同區位各種成份的強度比例不一，在大洋中密度流的成份強，在近岸處，潮流或沿岸流的比重高。因此在各類海洋模式的發展上常不相同，而因時間與空間尺度大小的差異大，因此很難使用同一模式進行模擬，本計畫擬結果潮流與洋流於一模式，困難度高，需有更嚴謹的驗證來檢校其成果。 3. 海岸區域的模擬分成純洋流與洋流+潮流兩部分，主要只在於邊界條件的選擇不同，本計畫直接將潮位條件加上洋流水位條件是否能代表洋流+潮流之特性。 4. 建議需要把研究目標定義清楚，最好能縮小目標範圍，亦建議可定義清楚近岸區域，以進行較有意義的數值試驗。而海流資料可以加強分析，分離出潮流與洋流成份，以做為比較資料。 	<p>感謝劉委員景毅組長的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝諒解與肯定。 2. 感謝提示與期勉。所提建議將於後續研究中參酌辦理。 3. 本研究對於臺灣四周及環島近岸(港口外廓)海域海流之模擬計算，均已分別應用相關研究與實測紀錄，進行計算模式邊界條件設定合理性之確認，並核驗模擬計算結果之準確性及應用性，參見第 4.4.5 節、第 4.4.6 節及第 4.5.4 節內文之說明。 4. 感謝提示及指導。所提建議將於後續研究中參酌辦理。