

100-16-7508

MOTC-IOT-99-H3DB007

# 臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月



100-16-7508  
MOTC-IOT-99-H3DB007

# 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

著者：廖建明、許泰文、何興亞、石棟鑫  
杜佳穎、陳俊文、王毓麒、莊文傑

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討

交通部運輸研究所

GPN : 1010000292

定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討

/廖建明等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.04

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7136-2 (平裝)

1. 海流 2. 潮流 3. 數值分析 4.生態模擬

351.96

100002460

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

著 者：廖建明、許泰文、何興亞、石棟鑫、杜佳穎、陳俊文、王毓麒、莊文傑

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

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

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 100 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 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：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010000292

ISBN：978-986-02-7136-2 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣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			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7136-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1010000292	運輸研究所出版品編號 100-16-7508	計畫編號 99-H3DB007
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：莊文傑 研究人員： 聯絡電話：04-26587185 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：國家實驗研究院 計畫主持人：廖建明 研究人員：許泰文、何興亞、石棟鑫、杜佳穎 、陳俊文、王毓麒 地址：407 台中市中部科學園區科園路 22 號 聯絡電話：04-24608822 轉 903		研究期間 自 99 年 3 月 至 99 年 12 月
關鍵詞：海洋數值模式；普林斯頓海洋數值模式；洋流			
<p>摘要：</p> <p>本計畫針對台灣東部海域之洋流特性進行探討，探討洋流與深層海水之年季月之變化特性，其結果可為海洋資源的開發及永續發展利用之依據。本計畫為四年期總研究計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第二分年研究，針對台灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性模擬海域的海流變動，利用其結果分析其洋流變動特性。主要工作項目為延續第一年計畫成果，持續改善POM海洋數值計算模式、資料輸出入處理系統與模擬成果展示系統、作業化模擬系統、進行模式參數調校與驗證、分析台灣東部海域洋流與深層海水水溫與水質之年季月變動特性。</p> <p>由模擬結果顯示，於花蓮外海之表面流速皆介於每秒1公尺至1.5公尺之間，流速與流向與國科會海洋學門之海流資料庫具有合理的一致性。由黑潮流量分析，台灣東部海域黑潮流量穩定，平均流量為 <math>23.2 \pm 5 \text{ Sv}</math>，冬季時最小夏季最大。利用國科會海洋資料庫之水文資料的驗證下，模式於溫鹽度之年、季分布與特性均具有合理之一致性。台灣東部花蓮外海溫鹽度與黑潮特性關係密切，20米深度之溫度於夏秋之間出現最高值約為 <math>25 \sim 26^{\circ}\text{C}</math>，隨著深度增加，月平均最高溫度則略晚出現於秋季，至500米深度以下溫度月季變化則趨於不明顯。而鹽度變化方面，表面鹽度變化於黑潮流量最低之秋冬時節為最高，至水深50米深以下鹽度變化則不明顯。而透過不同位置所施放浮標之軌跡模擬亦顯示，本計畫所建置的洋流模式具有定性定量上的可信度。由近岸海潮流混合模擬中，利用高雄海域單點實測資料驗證發現，欲模擬台灣西南近岸海域之海潮流現象，高解析度格網與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 4 月	186	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

<b>TITLE:</b> Appling POM Ocean Circulation Model to Simulating Ocean Current around Taiwan			
<b>ISBN (OR ISSN)</b> ISBN978-986-02-7136-2 (pbk)	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b> 1010000292	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 100-16-7508	<b>PROJECT NUMBER</b> 99-H3DB007
<b>DIVISION:</b> Harbor & Marine Technology Center <b>DIVISION DIRECTOR:</b> Yung-Fang Chiu <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Wen-Jye Juang <b>PROJECT STAFF:</b> <b>PHONE:</b> (04) 26587185 <b>FAX:</b> (04) 26564415			<b>PROJECT PERIOD</b>  FROM March 2010 TO December 2010
<b>RESEARCH AGENCY:</b> National Applied Research Laboratories <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Jian-Ming Liao <b>PROJECT STAFF:</b> Tai-Wen Hsu, Shin-Ya Ho, Dong-Sin Shih, Chia-Ying Tu, Yu-Chi Wang, Chun-Wen Chen <b>ADDRESS:</b> No. 22, Keyuan Rd., Central Taiwan Science Park, Taichung City 40763, Taiwan <b>PHONE:</b> 04-24608822 ext 903			
<b>KEY WORDS:</b> OCEAN CIRCULATION MODEL, PRINCETON OCEAN MODEL, OCEAN CIRCULATION			
<b>ABSTRACT:</b> <p>This project aims to investigate characteristics of ocean current and variations of water temperature and salinity in the deep ocean of eastern Taiwan sea. Its achievement could be the basis of ocean resources exploitation and sustainable usage. This second sub-year study is for a total period of four years research project "A study on simulating ocean current and evaluating the relationship between ocean and tidal current in the coastal waters of Taiwan". The Princeton Ocean Model (POM) of Princeton University is introduced in this study. The three-dimensional numerical model can simulate ocean current changes in the complex topography of Taiwan coastal waters. Major items of this project are expected to continue to improve the operational procedure of the computational environment of the POM model. The field observations are applied to adjust model parameters and verification. The annual, seasonal and monthly characteristics of ocean current and water temperature and salinity in the eastern waters of Taiwan are also analyzed by simulation results.</p> <p>The simulated results show that the surface current off the coast of Hualien were between 1 to 1.5 m/s and in a good agreement with the ocean current database of Ocean Data Bank of National Science Council. From the volume transport analysis, the annual transport of Kuroshio off the east coast of Taiwan is <math>23.2 \pm 5</math> Sv. The temperature and salinity validations by using the CTD data of Ocean Data Bank show that the annual and seasonal characteristics are reasonable consistent. The temperature and salinity characteristics of the Hualien waters are closely related with Kuroshio. The highest value of monthly temperature is about <math>25 \sim 26^{\circ}C</math> at 20m high in summer, and slightly later appeared with the depth increase in the autumn. Below about 500m in depth, the change of temperature becomes unobvious. The maximum value of the surface salinity occurs during the lowest volume transport of Kuroshio in the autumn and winter season. The variation of salinity is not significant below about 50m in depth. Through various locations of the drift trajectory simulations also show that the ocean current model developed in this project has credibility on the qualitative and quantitative ocean current. As the tide and ocean current coupled simulation, using field data in Kaohsiung offshore area to verify the result of tidal phenomenon is found that the high-resolution grid with well-defined ocean current and tidal boundaries are reasonable and necessary conditions in the simulation.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b>  April 2011	<b>NUMBER OF PAGES</b>  186	<b>PRICE</b>  300	<b>CLASSIFICATION</b> <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

圖目錄.....	IV
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究動機.....	1-1
1.2 計畫背景.....	1-1
1.3 工作項目與預期成果.....	1-5
1.4 本文組織.....	1-9
第二章 POM 模式之理論介紹.....	2-1
2.1 模式特性.....	2-1
2.2 控制方程式.....	2-2
2.3 數值方法.....	2-11
2.4 乾溼格網.....	2-17
2.5 質點追蹤.....	2-19
2.6 巢狀格網邊界.....	2-21
第三章 POM 模式執行環境建置.....	3-1
3.1 軟硬體設備建置.....	3-1
3.2 POM 模式操作說明.....	3-3
3.3 資料蒐集.....	3-4
第四章 模式測試與驗證.....	4-1
4.1 台灣海域洋流特性.....	4-1
4.2 台灣海域洋流模擬系統之建置.....	4-4
4.3 應用高解析度海氣象資料庫於模式測試.....	4-8
4.4 台灣海域洋流模式驗證與特性探討.....	4-15
4.5 東部海域深層海水物理溫鹽特性探討分析.....	4-28
4.6 台灣海域質點追蹤系統之建立與驗證.....	4-37
4.7 以現場錨碇海流時序列資料驗證.....	4-42
4.8 以 CODAR 海面流速資料驗證.....	4-50
4.9 綜合洋流與潮流效應進行台灣海域之海流模擬.....	4-52
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊.....	附-1
附錄二 期中報告審查意見處理情形表.....	附-22
附錄三 期末報告審查意見處理情形表.....	附-26
附錄四 期末報告簡報資料.....	附-31

## 圖目錄

圖 2-1 $\sigma$ 座標系統 (MELLOR, 2003) .....	2-8
圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (MELLOR, 2003).....	2-12
圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003).....	2-12
圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003).....	2-13
圖 2-5 模式計算流程圖.....	2-16
圖 2-6 乾溼格網定義示意圖.....	2-19
圖 2-7 質點位置流速內插方法示意圖.....	2-21
圖 2-8 巢狀格網邊界示意圖.....	2-22
圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程.....	3-3
圖 4-1 全球主要洋流分佈圖 (資料來源: <a href="http://en.wikipedia.org">HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG</a> )	4-2
圖 4-2 全球洋流模式計算領域地形水深圖.....	4-5
圖 4-3 西北太平洋模式格網範圍與地形水深圖.....	4-6
圖 4-4 台灣海域模式格網範圍與地形水深圖.....	4-6
圖 4-5 台灣南部海域模式格網範圍與地形水深圖.....	4-6
圖 4-6 全球模式於西北太平洋海域年平均之表面與 300 公尺深流速與流向 分佈 (左側 G1 模式; 右側 G1-1 模式; 1991-1996 年).....	4-10
圖 4-7 西北太平洋海域模式年平均之表面與 300 公尺深流速與流向分佈 (左側 N2 模式; 右側 N2-1 模式; 1991-1996 年).....	4-11
圖 4-8 台灣海域模式年平均之表面與 300 公尺深流速與流向分佈 (左側 T3 模式; 右側 T3-1 模式; 1991-1996 年).....	4-12
圖 4-9 台灣海域模式春季(M-A-M)與夏季(J-J-A)之表面流速與流向分佈 (左側 T3 模式; 右側 T3-1 模式; 1991-1996 年).....	4-13
圖 4-10 台灣海域模式秋季(S-O-N)與冬季(D-J-F)之表面流速與流向分佈 (左側 T3 模式; 右側 T3-1 模式; 1991-1996 年).....	4-14
圖 4-11 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之年平均流速流 向比較圖 (上側: 水深 20 公尺; 下側: 水深 50 公尺).....	4-16
圖 4-12 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏季平均流 速流向比較圖 (水深 20 公尺).....	4-20
圖 4-13 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之秋、冬季平均流 速流向比較圖 (水深 20 公尺).....	4-21
圖 4-14 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏季平均流 速流向比較圖 (水深 200 公尺).....	4-22
圖 4-15 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之秋、冬季平均流 速流向比較圖 (水深 200 公尺).....	4-23
圖 4-16 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果通過 21.0N 斷面之 年平均流速分布比較圖.....	4-24
圖 4-17 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果通過 23.0N 斷面之	

年平均流速分布比較圖 .....	4-25
圖 4-18 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果通過 25.0N 断面之 年平均流速分布比較圖 .....	4-26
圖 4-19 台灣東部海域断面之月平均流量變化圖 .....	4-27
圖 4-20 台灣海峽断面之月平均流量變化圖 .....	4-27
圖 4-21 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果之年平均溫 度鹽度比較圖(上側：溫度；下側：鹽度；水深 20 公尺).....	4-30
圖 4-22 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果通過 21.0N、 23N 及 25N 断面之年平均鹽度分布比較圖 .....	4-33
圖 4-23 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果通過 21.0N、 23N 及 25N 断面之年平均溫度分布比較圖 .....	4-34
圖 4-24 台灣東部海域(121.75E,24N)處之月平均溫度時序列圖(點位於花蓮 市外海 10 公里處).....	4-35
圖 4-25 台灣東部海域(121.75E,24N)處之月平均鹽度時序列圖(點位於花蓮 市外海 10 公里處).....	4-36
圖 4-26 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(NO. 2118798).....	4-39
圖 4-27 浮標經度位置比較圖(NO. 2118798).....	4-39
圖 4-28 浮標緯度位置比較圖(NO. 2118798).....	4-39
圖 4-29 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2006 年).....	4-40
圖 4-30 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2007 年).....	4-41
圖 4-31 台灣附近海域錨碇海流測點位置圖(圖片來源：國科會海洋學門海 洋資料庫網頁).....	4-43
圖 4-32 錨碇海流 K2-1 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖 (2001/10~2002/05).....	4-44
圖 4-33 錨碇海流 K2-2 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖 (2002/04~2002/10).....	4-45
圖 4-34 錨碇海流 K3-1 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖 (2001/10~2002/04).....	4-46
圖 4-35 錨碇海流 K3-2 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖 (2002/04~2002/09).....	4-47
圖 4-36 錨碇海流 T4-1 測點與 T3-1 模式於 20 米、50 米處之海流比較圖 (2000/11~2001/03).....	4-48
圖 4-37 錨碇海流 T4-2 測點與 T3-1 模式於 20 米、50 米處之海流比較圖 (2001/08~2001/11).....	4-49
圖 4-38 國研院海洋中心岸基測流雷達之海表面月平均流速與 T3-1 模式結 果比較圖(2010/02).....	4-51
圖 4-39 海潮流模式模擬流程示意圖 .....	4-52
圖 4-40 高雄中州海域海流監測站位置圖(李等人，2010).....	4-53
圖 4-41 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2006 年於高雄海域之比較圖 (T3；含海流邊界；流向、流速、流失及水位高圖).....	4-56
圖 4-42 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2006 年於高雄海域之比較圖	



(T-SW 模式；未含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-57
圖 4-43 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2006 年於高雄海域之比較圖	
(T-SW 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-58
圖 4-44 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2007 年於高雄海域之比較圖	
(T3 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-59
圖 4-45 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2007 年於高雄海域之比較圖	
(T-SW 模式；未含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-60
圖 4-46 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2007 年於高雄海域之比較圖	
(T-SW 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-61
圖 4-47 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2008 年於高雄海域之比較圖	
(T3 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-62
圖 4-48 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2008 年於高雄海域之比較圖	
(T-SW 模式；未含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-63
圖 4-49 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2008 年於高雄海域之比較圖	
(T-SW 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖).....	4-64
圖 4-50 高雄海域 C3 測點之實測與模擬海流 U、V 分量之比較圖 .....	4-65
圖 4-51 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-66
圖 4-52 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-67
圖 4-53 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-68
圖 4-54 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-69
圖 4-55 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-70
圖 4-56 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-71
圖 4-57 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-72
圖 4-58 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-73
圖 4-59 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-74
圖 4-60 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-75
圖 4-61 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-76
圖 4-62 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布 .....	4-77

## 表目錄

表 1-1 計畫預定進度甘特圖 .....	1-7
表 3-1 NCEP/NCAR 分析風場資料格式 .....	3-4
表 3-2 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式 .....	3-5
表 3-3 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式 .....	3-6
表 3-4 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式 .....	3-6
表 3-5 NODC WOA05 海洋資料庫格式 .....	3-7
表 3-6 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料 .....	3-8
表 3-7 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料 .....	3-8
表 3-8 ETOPO2 地形水深資料庫格式 .....	3-8
表 3-9 ETOPO1 地形水深資料庫格式 .....	3-9
表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式 .....	3-9
表 4-1 巢狀格網之範圍與計算條件 .....	4-7
表 4-2 模式計算背景資料與計算時間 .....	4-7
表 4-3 模式重要參數表 .....	4-8
表 4-4 錨碇海流測站之基本資料 .....	4-43
表 4-5 模擬與實測之海流 U、V 分量相關係數統計表 .....	4-55

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

本計畫針對台灣東部海域之洋流特性進行探討，探討洋流與深層海水之年季月之變化特性，其結果可為海洋資源開發及永續發展利用之依據。本計畫為四年期總研究計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第二分年研究，針對台灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性模擬海洋變動，利用其結果分析其洋流特性。主要工作項目為延續第一年計畫成果，本年度預計持續改善 POM 海洋數值計算模式、資料輸出入處理系統、成果展示系統、及作業化模擬系統；利用實測資料進行模式調校與驗證，分析台灣東部海域洋流與深層海水水溫與水質之年季月變動特性。

## 1.2 計畫背景

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「永續經營及利用」的最根本與關鍵課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。此外，基於海洋與氣候的大尺度特性，其彼此間複雜的交互作用與影響，因此海流的研究，長久以來一直是跨國界、跨學門領域的艱鉅工作，其不僅牽涉層面廣泛，更需要大量水下、海上、太空等人力與物力資源的整合。先進的海洋國家無不積極參與投入其中，臺灣及日本即曾有黑潮觀測計畫，韓國亦曾有東北亞海洋觀測系統等。隨著計算機的進步，數值海洋模式更是蓬勃發展，如 COHERENS (COupled Hydrodynamical Eological model for REgional Shelf seas)、POM (Princeton Ocean

Model)、ROMS (Regional Ocean Modeling System)、HYCOM(HYbrid Coordinate Ocean Model)等模式都是使用者眾多的分享模式。

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

利用水平二維模式針對台灣海域潮波特性研究，如莊(2000)蒐集整理台灣環島及中國大陸沿岸潮汐實測與調和分析資料，就實測潮汐特性與地形、水深之關聯性做詳細之剖析。依據台灣海峽明顯之陸架地形進行潮波協振盪之理論解析，並使用水深積分後的二維水動力計算模式 (Danish Hydraulic Institute, DHI)之計算結果探討潮波與潮流之動力及運動特性，說明台灣海峽水域潮差特別顯著之原因，應係半日潮波在狹長海峽渠道之特殊長度陸架地形上呈現潮波協振盪共振所導致，且台灣海峽潮波之總體運動方向應依據全日潮潮波之傳遞方向而判定，全日潮潮波在台灣海峽水域內之運行方向為由北往南單一方向傳遞。

在三維模式應用上，由於計算費時加上邊界條件取得不易，Nihoul (1977)提出擬似三維模式(qusi-three dimensional model)計算的概念。所謂擬似三維模式，即是三維模式經處理後可分為局部一維模式和水深平均二維模式，期以相當於二維計算容量及計算時間的模式，來提供多變水流特性的擬似三維空間分布的相關資訊。Nihoul 已將這種模式應用到北海(North Sea)及亞得里亞海(Adriatic sea)，在水理特性分析方

面均得到不錯的結果。同樣的計算方法在 1988 年 Lardner 和 Cekirge 也提到，並命名為 VHS (Vertical Horizontal Splitting) 計算方法。吳(1997)以 Lardner 和 Cekirge (1988)的 VHS 模式概念，透過求解簡化的水平動量控制方程式，來獲得水平速度隨水深的變化量，而提出擬似三維水動力計算模式。林(1999)則進一步研究擴充擬似三維水動力計算模式的邊界處理能力，使能推算河、海共同作用下的河川水理問題。

本計畫所使用的美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)的發展，早期是由於 Blumberg 和 Mellor (1983)在大西洋南方海灣作的一連串預測的數值模擬，該數值模式發展一個時變三維動量方程式並使用  $\sigma$  座標的模式，包含一個由 Mellor 和 Yamada (1982)研發的紊流閉合模式(turbulence closure model)。接著 Oey 等人(1985a；1985b；1985c)利用該模式模擬 1980 年七月到九月這段期間的 Hudson-Raritan 河口，模擬結果展現時間獨立、三維的速度和鹽度場結構，其結果描述複雜的海域循環和河口的混合過程。直到 1987 年 Blumberg 和 Mellor 再整理及撰寫過去幾年來發展的三維數值循環模式，稱為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM 模式。Ezer 和 Mellor (1991)使用 POM 原始動量方程式，跟隨底部平滑的垂直座標系統和一個跟隨近岸的水平正交座標系統，進行大範圍水力特性計算，延伸範圍包括墨西哥灣流，並可同時模擬如溫度、鹽度等水理特性。而 Oey (2005；2006)則增加一乾溼格網技巧，延展 POM 模式於沿海地區對於海水漲退或溯升降之模擬。

數值模式的目的是在於可提供詳細的模擬資料，以了解模擬區域的海流特性，如 Zavatarelli 和 Mellor (1995)則模擬實際的地中海流況，並與各種觀測結果比較。Aikman 等人(1995)將 POM 模式和其他發展中的近岸海洋預測系統(Coastal Ocean Forecast System，簡稱 COFS)作比較。近年來，大部分應用在近岸和小範圍地區的模式也開始使用在大範圍的海洋、海岸地區，例如 Ezer 和 Mellor (1997；2000)、Ezer (1999)第一次將  $\sigma$  座標模式應用在整個大西洋海域水理特性的數值模擬，藉由模式計算獲得基本的海洋循環特性。且模擬結果與觀測值和其他模式

(例如 z-level 模式) Mellor 等人(2002)做比較，結果顯示兩種模式有不同的模擬結果。最主要的不同在於 z-level 模式在有坡度的底層無法只做一層的模擬，而在多層的模擬則會產生一個像階梯地形的結構，以致無法精確地表示底部邊界層流之流況。葉(2002)利用 POM 模式為建立適合模擬台灣海域之潮汐模式，找尋該模式最佳化參數，以完成一套台灣海域作業化潮汐預報模式。另外，盧與吳(2005)曾利用 POM 針對台灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究。由此可知，POM 模式不但可計算小尺度河川、渠道等之水理運動例如溫度、鹽度等的改變，亦可模擬大尺度海洋、海岸等天文潮及氣象潮所引起的水位與流場變化。

對於台灣附近海流的研究，Hsin 等人(2008)利用 POM 模式建置  $1/8^\circ$  解析度之東亞邊緣海模式，利用模式結果討論 1982 至 2005 年間的黑潮變化。其結果發現黑潮流經台灣東岸時，在近岸區域可延伸至 300 公尺水深，在離岸區域可達 600 公尺深度，在某些區域甚至可達 1000 公尺深度，而黑潮於台灣東岸之平均流量約為  $32.7 \pm 4.4 Sv$ 。而 Wu 等人(2007)利用高解析度 POM 模式、風場與海面溫度資料模擬台灣海峽之海流變化，其結果發現夏季黑潮支流直接越過彰雲隆起，冬季由於東北季風的影響中國沿岸流阻擋海峽中向北流的流動，於彰雲隆起北側形成一逆時針渦流。

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮全年皆由南而北流經東部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南沿流經臺灣海峽。除此之外，基於臺灣海峽的水深地形所引致的半日型潮波共振效應，在臺灣海峽的南北兩端開口，常年有潮波的無潮點存在。因此，導致潮流的流速普遍甚強勁，洋流與強勁潮流的交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性產生異常的特殊變化，如在高雄港外海即可測得漲潮流向向南而退潮流向向北的特殊海流特性。如此可見，為補充既有地球環境科技監測體系的完整，推進本土化深層海水溫水質變化監測及評估關鍵技術之發展，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，達成政府對於海洋國家的政策目標。

因此，有必要針對大尺度潮流與洋流進行綜合研究，探討洋流對潮流等近岸水動力特性之相關影響。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，而為該產業之永續開發、經營、管理、與利用，其水溫與水質的變動更需藉助於近岸海流的長期監測與研究。

本研究為四年期研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第二分年研究計畫，該課題不僅具有本土化概念，與海洋資源的開發及永續發展息息相關，更與海洋國家長期性、全面性、總體性的海岸保育策略關聯密切。可預期地，本研究課題不僅與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、與近岸災害防救等新興課題息息相關，亦是達成海洋國家永續發展目標之科研重點。而本研究計畫之推展與深化，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，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。

本計畫利用第一分年「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」計畫成果，在已經建置之模式基礎上，利用實測數據進行模式參數調校與驗證，改善模式合理性與模擬精度，並簡化前置與後置處理軟體與流程，強化結果呈現方式與系統，利用模擬結果分析台灣東部海域洋流與深層海水年季月特性，完成「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」計畫之研究。

### 1.3 工作項目與預期成果

主計畫「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」為政府科技計畫地球環境科技群組 4 年(98 至 101 年度)固定期程之任務導向型一般研究計畫，其分年度計畫內容分別為：98 年度、POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬；99 年度、臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討；100 年度、臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響評估；101 年度、臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影

響。而本 99 年度之工作項目與預期成果詳述如下：

### 1.3.1 工作項目

本計畫預定以一個年度完成，今年度的計畫重點將透過台灣海域中之實測資料進行改善模式邊界條件設定與模式參數校驗等工作，其計畫進度如表 1-1 計畫進度甘特圖中所示。而工作項目如下所述：

1. 改善 POM 海洋數值模式作業流程與環境。
2. 引進國內外最新與高解析度之海氣象資料庫應用於台灣海域洋流模擬。
3. 台灣海域洋流模擬之參數調校及成果檢核與驗證。
4. 台灣海域洋流水動力特性探討。
5. 綜合洋流與潮流效應進行台灣海域之海流數值模擬。
6. 台灣東部海域深層海水物理性質之年月季變動特性分析與探討。
7. 台灣海域年月季洋流特性與型態變化模擬之成果整理、分析、驗證及展示。
8. 台灣海域海流模擬作業化系統的建立。
9. 台灣海域質點追蹤系統的建立。
10. 針對台灣環島海域洋流數值模擬計算結果，撰寫並提交前述 1 至 9 項之實際研究應用報告，報告內容並應包含 POM 模式洋流數值模擬計算之引進、建置、操作、及應用等中文化手冊。
11. 本合作研究所建置之數值模擬系統移轉本所使用，包含系統作業化程式、自由軟體、商業軟體、相關電子檔案文獻、及海氣象資料庫等。



表 1-1 計畫預定進度甘特圖

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

### 1.3.2 預期成果

依據本計畫之工作項目，可預期成果、預期效益與未來之應用如下所述：

#### 預期成果：

1. 台灣鄰近海域海流之水動力特性掌握及探討；
2. 針對台灣鄰近海域建置綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬系統；
3. 台灣鄰近海域海流模擬作業化的建立；
4. 台灣東部海域深層海水水溫水質之季節性變化模擬與評估；
5. 台灣海峽海域，洋流對近岸潮流之影響評估；

#### 預期效益：

1. 科技基礎研究：本計畫成果可培育海洋科技人力成長，發表國內外研討會學術論文，並出版研究報告。
2. 科技政策管理：本計畫具有本土化特色領域，其成果可提供相關單位進行海洋政策規劃之依據，完善海洋能源與資源永續開發利用。
3. 環境安全永續：本計畫成果可提供海洋環境開發、保育及利用之影響評估依據，亦可充實海洋科研資料庫，厚植海洋科技發展相關產業之環境安全永續基礎。
4. 產業經濟發展：本計畫成果可掌握海洋的水動力及其月季變化特性，可作為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，補充既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家海洋資源永續利用之目標。

### 未來應用：

1. 本研究在國內自行模擬計算台灣鄰近海域之海流流場，研究結果可提供委託單位等相關政府單位從事港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考。
2. 本研究綜合台灣鄰近海域之潮流與洋流模擬計算流場，可提供相關政府單位從事台灣環島海岸長期性沖淤趨勢評估的完整資訊，同時更可作為相關政府單位採用柔性自然工法，從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。
3. 本研究在台灣鄰近海域所構建的海流流場，可補充本土性詳實的海洋水文資訊。

## 1.4 本文組織

本文共分五個章節，第一章為緒論，闡述本計畫研究動機、計畫背景、工作項目與預期成果；第二章為 POM 模式理論介紹，說明控制方程式、數值方法與邊界處理方式；第三章為 POM 模式執行環境建置，說明模式所需之軟硬體環境建置、模式所需輸入之海氣象資料庫格式；第四章為模式測試與驗證，說明高解析度海氣象資料庫應用於台灣海域洋流模擬之結果、洋流模擬結果驗證與特性探討、台灣海域海水溫度與鹽度驗證與特性探討、台灣附近海域質點追蹤模擬驗證、洋流與潮流綜合模擬與驗證；第五章為結論與建議，節錄本計畫重要結論與未來執行後續計畫之建議。而附錄一、二為期中與期末報告審查意見回覆；附錄三為港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊，為了作業化之需求，詳盡說明本計畫所使用之程式步驟、操作方式、參數設定、圖形與資料分析繪製方式，以利技術轉移至委託單位。

## 第二章 POM 模式之理論介紹

### 2.1 模式特性

計算海洋水動力所使用的數值模式，若以水深平均之模式進行模擬，如此可以節省計算時間，增加模式執行之效率。但在水深方向的物理量變化很大時，這些模式將無法描述垂直方向上的變化，此時必須使用三維模式來模擬。本計畫使用的美國普林斯頓大學海洋模式是由 Blumberg 和 Mellor (1987) 所整理及撰寫，POM 模式屬於三維的數值模式，含有紊流閉合模式(turbulence closure model)來處理垂直方向的混合作用，能描述三維的海洋變化物理現象。另外在數值技巧方面，水平網格也可根據地形的需要，利用正交曲線網格，提高解析度並增加計算效率。POM 模式分為外模式(external mode)和內模式(internal mode)兩組不同的模式功能，前者計算二維，後者計算三維的流場。模式演算上先計算外模式的水平平均流場，其流速變化較快，所需計算時距較短，再計算內模式垂直方向各層的流速流場，其流速變化較慢，可以使用較長之計算時距，如此計算技巧的交替運用可以大量節省電腦運算時間。

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

## 2.2 控制方程式

### 2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

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

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

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

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

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

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

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

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

垂直方向的壓力可以藉由對動量方程式，式(2-4)的垂直分量作積

分，可得

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

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

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

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

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

至於海水混合密度，因其為溫度和鹽度之函數，故可表示為：

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

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

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

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

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

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

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

(Smagorinsky 等人，1965)求得，其表示式為

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

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

### 2.2.2 紊流閉合模式

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

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

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

式中  $F_q$ 、 $F_l$  為  $q^2$  與  $q^2 l$  之水平渦旋擴散項如(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

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

其中參數分別為

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

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

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



### 2.2.3 $\sigma$ 座標轉換

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

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

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

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

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

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

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

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

假設一變量是  $\xi$  是  $\sigma$  座標系統的函數，即  $\xi = \xi(x^*, y^*, \sigma, t^*)$ ，則卡式

座標系統下  $z$  垂直方向之流速分量  $W = dz/dt$ ，可先轉換表示為：

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

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

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

而轉換至  $\sigma$  座標系統之連續方程式可改寫為：

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

動量守恆方程式則轉換為：

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

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

溫度守恆方程式：

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

鹽度守恆方程式：

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

紊流的動能  $q^2/2$  及紊流的尺度參數  $l$  表示：

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

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

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

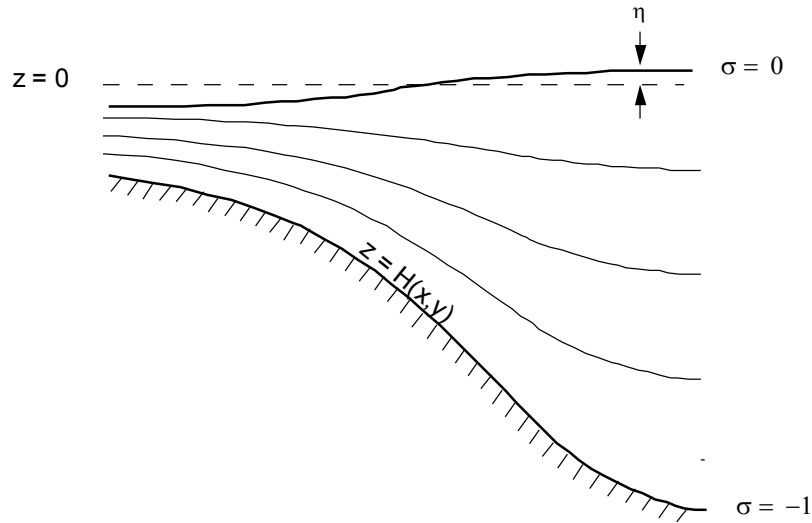


圖 2-1  $\sigma$  座標系統 (Mellor, 2003)

#### 2.2.4 外模式-水深積分方程式

由於海洋變動中包含了快速的慣性重力波與緩慢變化的內波，為了可以有效率的模擬海洋變動，故將上述的三維方程式利用水深積分

技巧轉換成水平二維模式。如此將模式分成外模式之水平二維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而內模式之三維模式來模擬緩慢變化的內部波動或熱動力變化等，其分割技巧(Simons, 1974; Madala 和 Piacsek, 1977)可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷。因此將式(2-31)至(2-33)由 $\sigma = -1$ 積分至 $\sigma = 0$ 的水深積分方式消除所有垂直方向的變化，則二維方程式可表示成，

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

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

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

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 $\tilde{F}_y$ 定義為，

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

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

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

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

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

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

### 2.2.5 邊界條件

連續方程式，式(2-31)的垂直邊界條件

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

動量方程式，式(2-32)、(2-33)兩式的表面邊界條件

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

底部邊界條件

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

其中

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

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

溫度和鹽度方程式，式(2-34)、(2-35)的邊界條件

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

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

而紊流閉合方程式，式(2-36)、(2-37)的邊界條件：

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

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

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

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

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

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

其中  $H$  為總水深， $g$  為重力加速度。

## 2.3 數值方法

### 2.3.1 網格配置

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

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

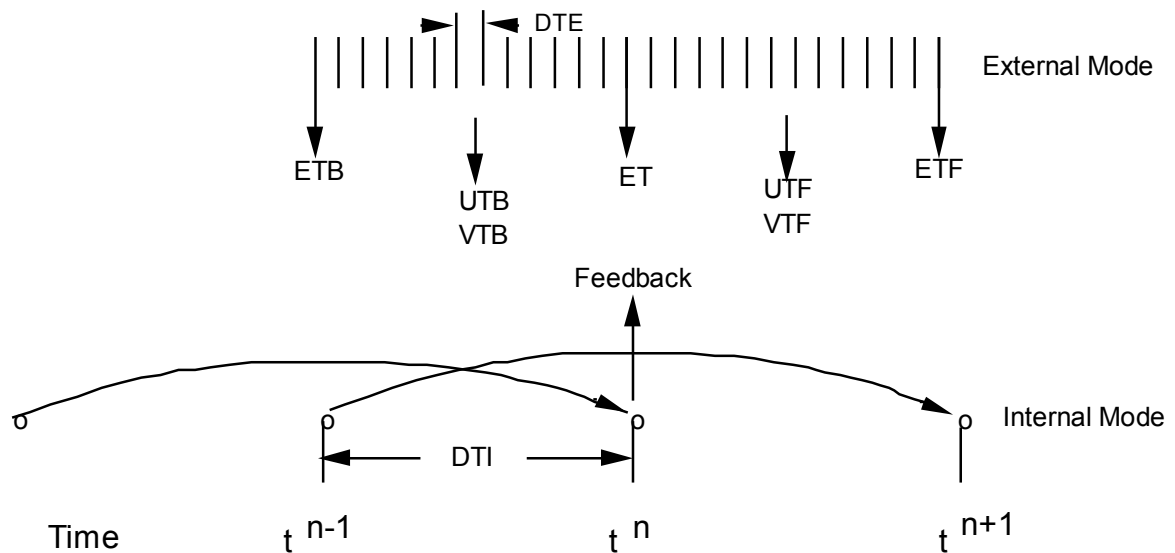


圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

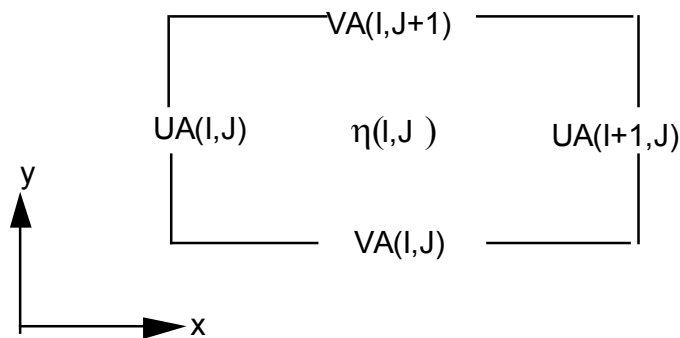


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

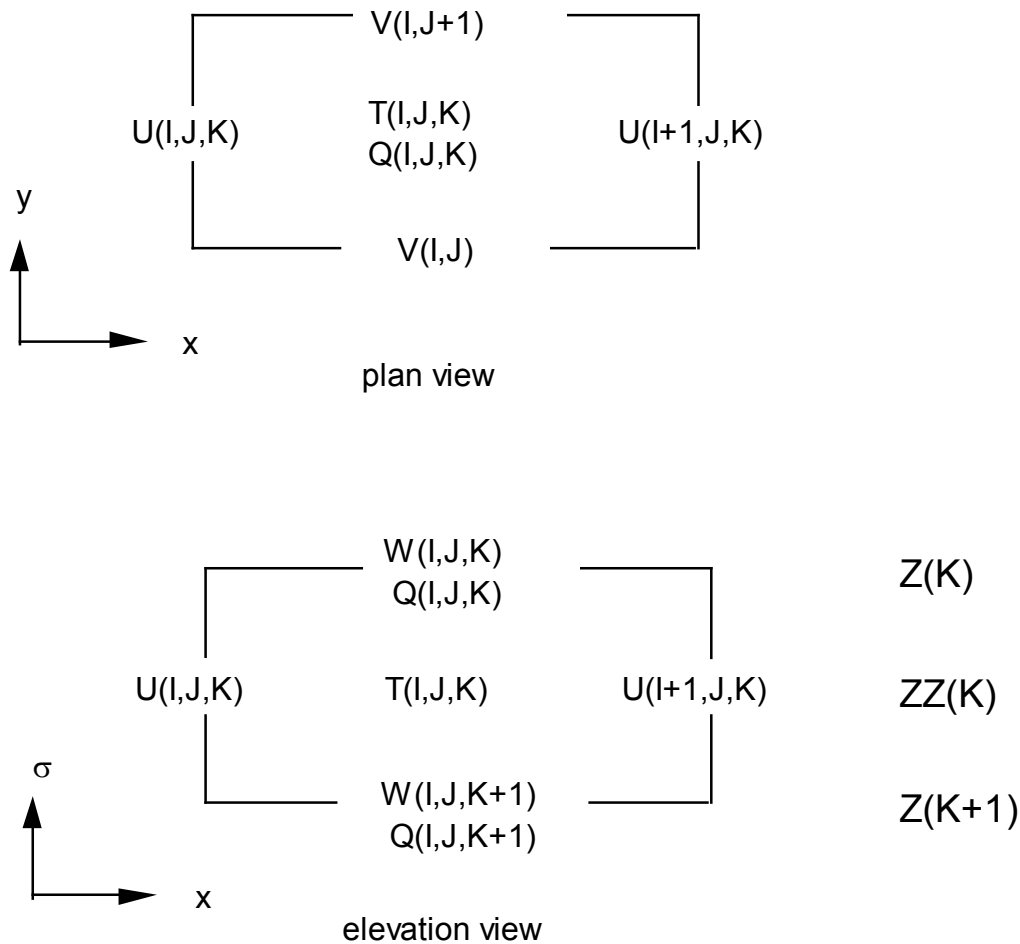


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

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

### 2.3.2 數值離散

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

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

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



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

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

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

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

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

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

$$-Adv(T)h_xh_y = \delta_x(Dh_yUT) + \delta_y(Dh_xVT) + h_xh_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\Delta\sigma} \dots\dots\dots(2-54)$$

式中， $h_x$  與  $h_y$  分別表示  $x$  與  $y$  方向格網間距。 $\delta$  表示不同方向之離散方法，在 POM 模式預設為中央差分法。而模式的總體計算流程與相對應的重要處理程序(副程式)，如圖 2-5 中所示。

### 2.3.3 穩定條件

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

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

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

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

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

其中

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

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

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

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

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

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

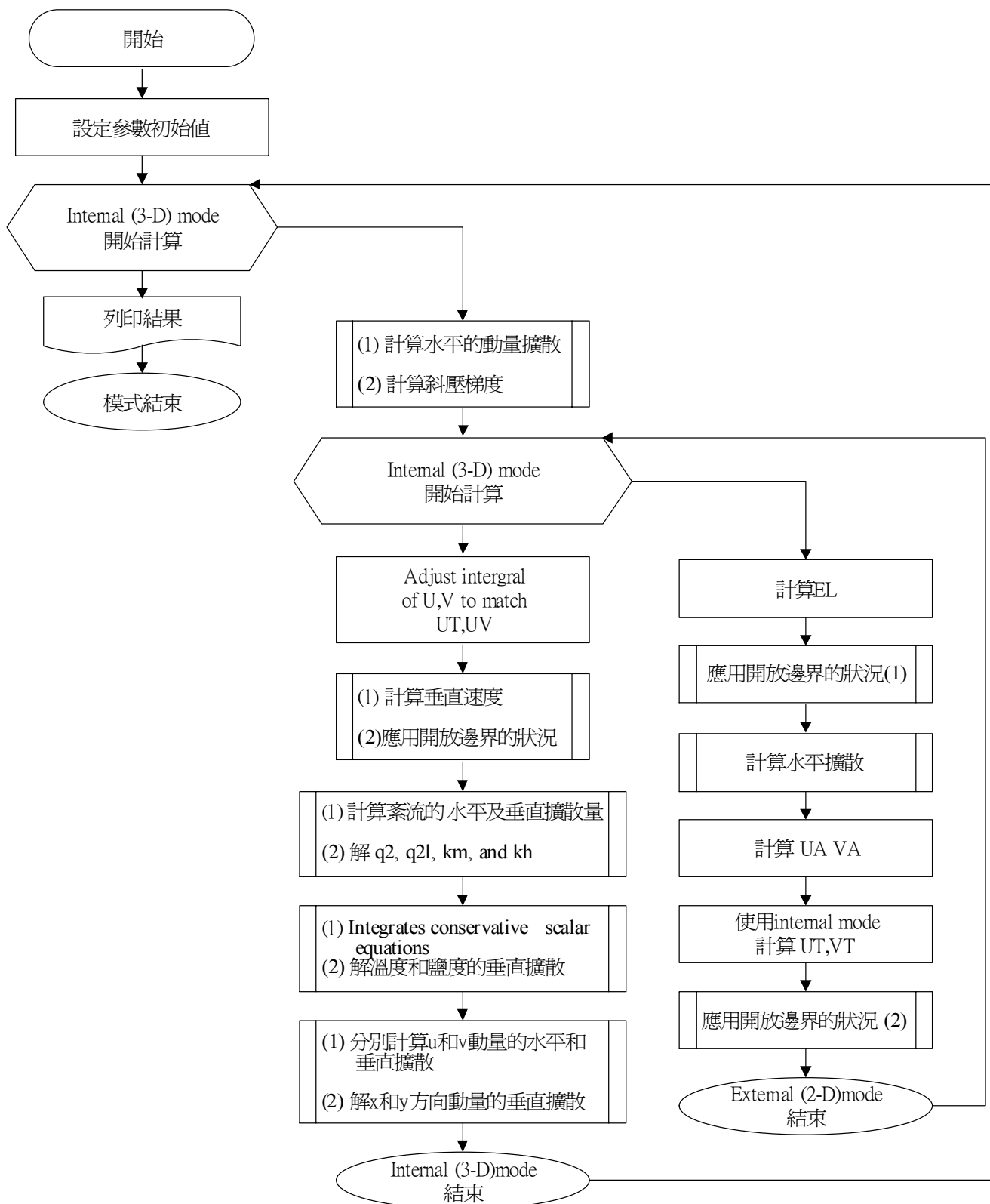


圖 2-5 模式計算流程圖

## 2.4 乾溼格網

為了近岸潮流的模擬所需，本計畫亦考量乾溼格網技巧於沿海地區的應用。由於在沿海地區中為了計算方便，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垂直邊界使得流體無法通過，但此一假設在潮間帶與容易溢淹處是不適宜的。為了合理地模擬海岸地區流體溯升、溯降或溢淹，在數值技巧中必須加入乾溼格網(wetting and drying, WAD)機制來模擬流體的運動。在最新版本的 POM 模式中亦加入此種乾溼格網的模擬機制(Oey, 2005; 2006)，本計畫亦使用此一技巧來模擬沿海乾溼地帶的流況，以下則簡述此一數值技巧。

模擬領域可定義為海洋地區  $R$  與陸地邊界  $\partial R$ ，在  $\partial R$  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  $\partial R$ ，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

$$D = H + \eta(x, y, t) = H_{msl} + \eta_{msl}(x, y, t) \dots\dots\dots(2-61)$$

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，

$$\bar{U}_{i,j} = 0 \quad \text{if} \quad (D_{i,j} + D_{i-1,j})/2 \leq H_{dry} \dots\dots\dots(2-62a)$$

$$\bar{V}_{i,j} = 0 \quad \text{if} \quad (D_{i,j} + D_{i,j-1})/2 \leq H_{dry} \dots\dots\dots(2-62b)$$

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，

$$\begin{aligned} \bar{U}_{i,j} = 0 \quad \text{if} \quad \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \quad \text{and} \quad \bar{U}_{i,j} > 0 \quad \text{or} \\ \text{WETMASK}_{i,j} = 0 \quad \text{and} \quad \bar{U}_{i,j} < 0 \quad \dots\dots\dots(2-63a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_{i,j} = 0 \quad \text{if} \quad \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \quad \text{and} \quad \bar{V}_{i,j} > 0 \quad \text{or} \\ \text{WETMASK}_{i,j} = 0 \quad \text{and} \quad \bar{V}_{i,j} < 0 \quad \dots\dots\dots(2-63b) \end{aligned}$$

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，

$$\frac{\partial(T,S)}{\partial t} = -\alpha_{relax}[(T,S) - (T_{c\lim}, S_{c\lim})] \quad \text{if} \quad \text{WETMASK} = 0 \quad \dots\dots\dots(2-64)$$

來消散乾格網中所殘留的  $T$  與  $S$ ，其中  $\alpha_{relax} = 2day^{-1}$ 。而三維模式流速於乾溼格網交界處亦須修正為，

$$U_{i,j,k} = \bar{U}_{i,j} \quad \text{if} \quad \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \quad \dots\dots\dots(2-65a)$$

$$V_{i,j,k} = \bar{V}_{i,j} \quad \text{if} \quad \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \quad \dots\dots\dots(2-65b)$$

由於 POM 模式在時間積分上採用外模與內模來減少時間的積分與處理自由液面的問題，而內模的時間間距為外模的  $N$  倍 ( $N\Delta t_e = t_i$ )，如此會形成乾溼交界於內模時間間距內產生變化時即時反應，在 Oey(2006)則採用內模時間積分於  $N\Delta t_e$  時之 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，對於此種情況亦修正式(2-45e)為下式，

$$C_z = MAX \left[ \frac{\kappa^2}{[\ln(1 + z_b / z_0)]^2}, 0.0025 \right] \quad \dots\dots\dots(2-66)$$

其中  $z_b$  為  $k = kb - 1$  層之厚度。

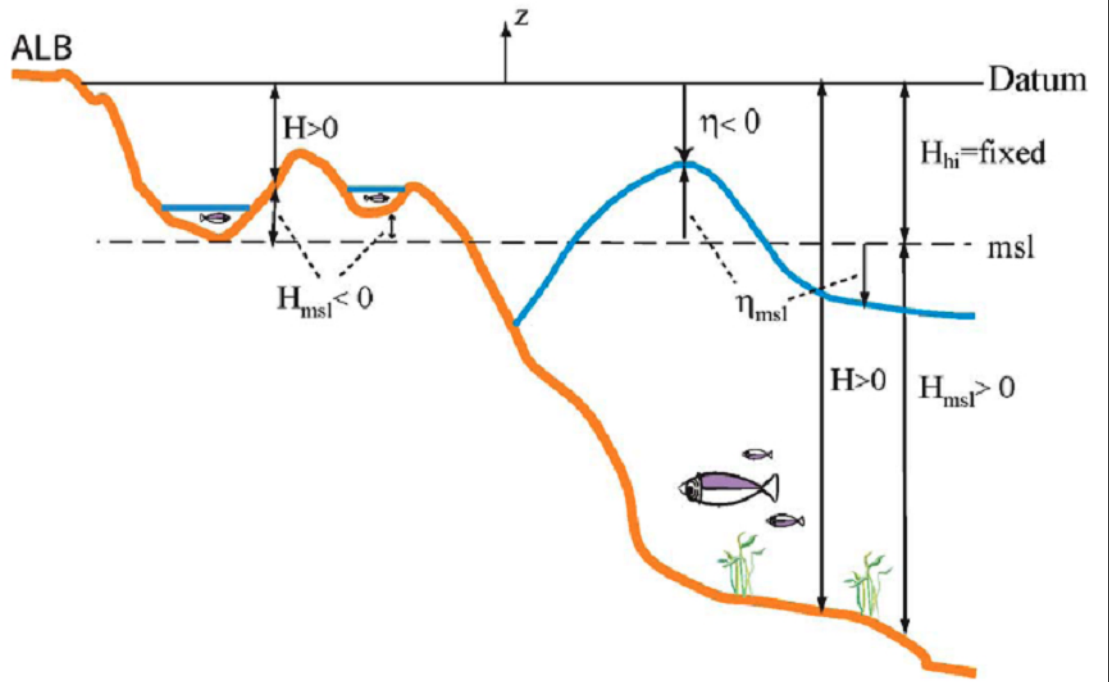


圖 2-6 乾溼格網定義示意圖

## 2.5 質點追蹤

浮標追蹤是根據海流流速大小與其產生拖曳力成正比關係來量測海流，利用浮標上所裝載的無線電或衛星發報器，回傳浮球上儀器所量測到的資訊，常用於了解海流分佈。而描述流體中質點運動可分為 Eulerian 與 Lagrangian 兩種方式，而 Eulerian 方式是描述中固定位置點處之流體質點的運動特性，Lagrangian 方式為描述流場中各別的流體質點所行經的軌跡上的運動行為。因此由數值模式所模擬出之 Eulerian 方式之流場，需將轉換成對應質點的 Lagrangian 之流速(陳等人，1998)。而空間位置 $(x, y)$ 點處之 Eulerian 形式之流速為，

$$\bar{C}_{Eulerian}(x, y, t) = \bar{i}U_E(x, y, t) + \bar{j}V_E(x, y, t) \dots\dots\dots(2-67)$$

轉換成對應的 Lagrangian 形式表示為，

$$\bar{C}_{Lagrangian} = \bar{i}U_L(x_0, y_0, t) + \bar{j}V_L(x_0, y_0, t) \dots\dots\dots(2-68)$$

其中 $(x_0, y_0)$ 為流體質點之起始位置，起始時間為 $t_0$ ，然後對 Lagrangian 形式之速度對 $t$ 積分，即可用來求得質點運動軌跡。若在同一顆流體質點之考慮下，假設 Eulerian 與 Lagrangian 之流速為線性關係之轉換，如下所示：

$$U_E(x, y, t) = U_L(x_0, y_0, t_0) \dots\dots\dots(2-69)$$

$$V_E(x, y, t) = V_L(x_0, y_0, t_0) \dots\dots\dots(2-70)$$

$$\vec{X} = \vec{i}x + \vec{j}y = \vec{i}[x_0 + \Delta x_0(t)] + \vec{j}[y_0 + \Delta y_0(t)] = \vec{X} + \Delta \vec{X}_0 \dots\dots\dots(2-71)$$

且

$$x = x_0 + \int_{t_0}^t U_L(x_0, y_0, t') dt' = x_0 + \Delta x_0(t) \dots\dots\dots(2-72)$$

$$y = y_0 + \int_{t_0}^t V_L(x_0, y_0, t') dt' = y_0 + \Delta y_0(t) \dots\dots\dots(2-73)$$

而質點位置處之流速可由格網化數值模擬結果進行內插獲得。圖 2-7 為在數值格網內之質點流速內插法示意圖，假定質點位於 $P_0$ 點，其質點的速度可由數值格網上之流速內插而得為，

$$U_0^n = \frac{A_1 \cdot U_{i,j}^n + A_2 \cdot U_{i+1,j}^n + A_3 \cdot U_{i+1,j+1}^n + A_4 \cdot U_{i,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \dots\dots\dots(2-74)$$

$$V_0^n = \frac{A_1 \cdot V_{i,j}^n + A_2 \cdot V_{i+1,j}^n + A_3 \cdot V_{i+1,j+1}^n + A_4 \cdot V_{i,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \dots\dots\dots(2-75)$$

假定 $\Delta t$ 時刻內流體速度無變化，將上兩式帶入式(2-72)與式(2-73)，故下一時刻之流體質點位置為，

$$x^{n+1} = x_0^n + U_0^n \Delta t \dots\dots\dots(2-76)$$

$$y^{n+1} = y_0^n + V_0^n \Delta t \dots\dots\dots(2-77)$$

利用上述方式反覆進行質點位置追蹤，來模擬浮標追蹤所得之軌跡。

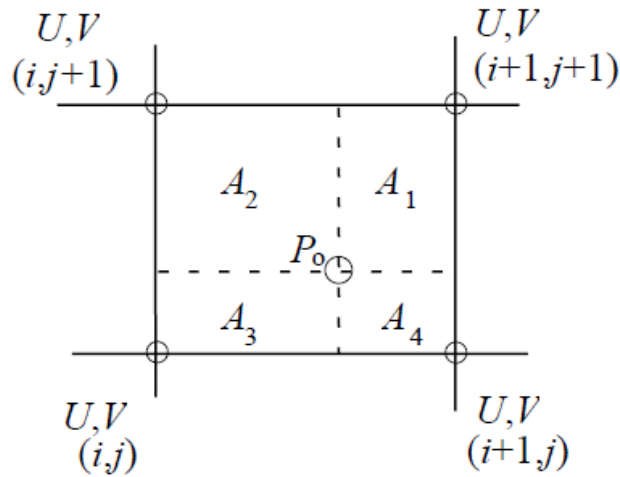


圖 2-7 質點位置流速內插方法示意圖

## 2.6 巢狀格網邊界

由於洋流大規模流動的特性，故需要足夠的模擬範圍才可解析出環流流動的特性。利用巢狀計算逐步縮小計算範圍提高精度，為有限計算資源之下獲得高精度模擬結果之最佳方式。關於巢狀格網邊界條件設定方式，可分為邊界處與邊界緩衝區兩種條件。如圖 2-8 所示，圖中最外部方框為巢狀母格網範圍，圖中方框為巢狀子格網邊界處，子格網內部格紋處為邊界緩衝區。而邊界處之入流邊界條件由上層模式給定，如下式所述：

$$\bar{U}_n = \bar{U}_n^0 + \sqrt{\frac{g}{H}}(\eta - \eta^0) \dots\dots\dots(2-78)$$

式中上標 0 表示上層模式於下層邊界處之內插值，其中  $\bar{U}_n$  為邊界之法線方向流速， $\eta$  為水位。邊界處之溫鹽邊界則利用上風法(upstream advection scheme)給定，如下式所述：



$$\frac{\partial(T, S)}{\partial t} + U \frac{\partial(T, S)}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(2-79)$$

而緩衝區內部之流速乃採用漸進方式(nudging)給定，如下式所述：

$$U_i = U_i + \left(1 - \tanh\left(4 \frac{\Delta x_i}{L_{nest}}\right)\right) (U_i^0 - U_i) \dots\dots\dots(2-80)$$

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

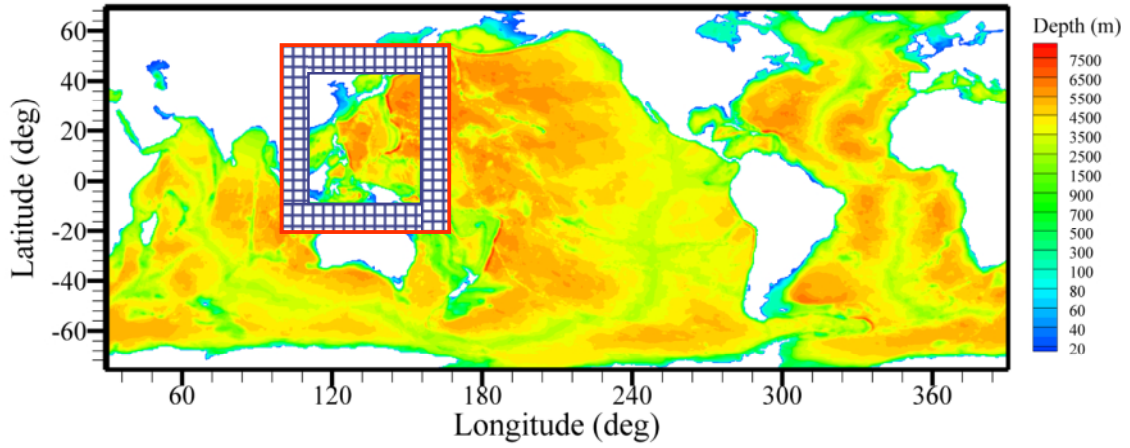


圖 2-8 巢狀格網邊界示意圖

## 第三章 POM 模式執行環境建置

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

### 3.1 軟硬體設備建置

在 POM 模式建置方面，由官方網站(<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>)所下載的程式並未提供完整的資料輸入選項，應本計畫之需求，採用 POM2K 版本為基礎，增加具有乾濕格網處理選項的 POM08 版本之功能，建立本計畫所使用的 POM 模式。為了方便模式執行與使用，本計畫亦進行輸入界面的發展，提供使用者更為快速的資料輸入方式，可依計算方案的不同提供相對應的資料輸入選項。圖 3-1 為 POM 模式資料處理流程圖，資料經由前置處理程式將海面與側向邊界資料透過內插法內插至 POM 模式格網上，透過 POM 模式進行模擬，之後輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，再經由後置處理程式分析各種變量之變化趨勢並繪製圖表。

由於 POM 模式為三維海洋模式，需要龐大的計算能量與輸入出資料儲存空間，但為了計畫結束後可順利移轉模式，本計畫於進行格網建置時亦考量個人電腦上可執行之環境。本計畫執行時之硬體設備為雙四核心 Intel Xeon 3.0GHz 與 12GB 主記憶體，並採用 OpenMP 平行化技術修改 POM 模式程式碼，使其可以充分利用八核心進行運算。在作業系統方面，POM 模式並未限制模式執行環境，考量未來擴充性與降低模式發展、執行時所遭遇的阻礙，本計畫以美國 Novell 公司所負責維護的 openSUSE Linux 套件作為主要的系統環境。而其使用 Linux

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

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

除了編譯器的設定外，由於 POM2K 以後之版本增加了 NetCDF 程式庫的支援，而 NetCDF (network Common Data Format)最早是由美國國家科學委員會資助之 Unidata 計畫所發展，其用意是提供一種通用的資料存取方式，資料的內容可以包括單點的觀測值、時間序列、規則排列的網格、以及人造衛星或雷達之影像檔案。其資料格式廣泛應用於大氣與海洋研究中，其為一自我描述資料的格式、並且可以跨越平台和機器的限制，現有之 NetCDF 程式庫可提供 C、Fortran、C++、Perl、或其他語言的聯結，以讓程式發展者可以快速的讀寫資料檔案。NetCDF 亦為開放源碼軟體，使用者可自由下載，其官方網站為 <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>，最新版本為 4.1.1 版。但為了相容性之考量，本計畫採用 3.6.3 版，故讀寫資料都必須透過 NetCDF 程式庫來完成，模式建置時亦須同時安裝此程式庫。

於後置繪圖與資料處理方面，本計畫亦採用開放源碼軟體為主，如 GMT(Generic Mapping Tools)與 NCL(NCAR Command Language)等自由軟體來進行圖形的繪製，透過命令腳本方式呼叫 GMT 或 NCL 軟體繪製分析展示所需的圖形。

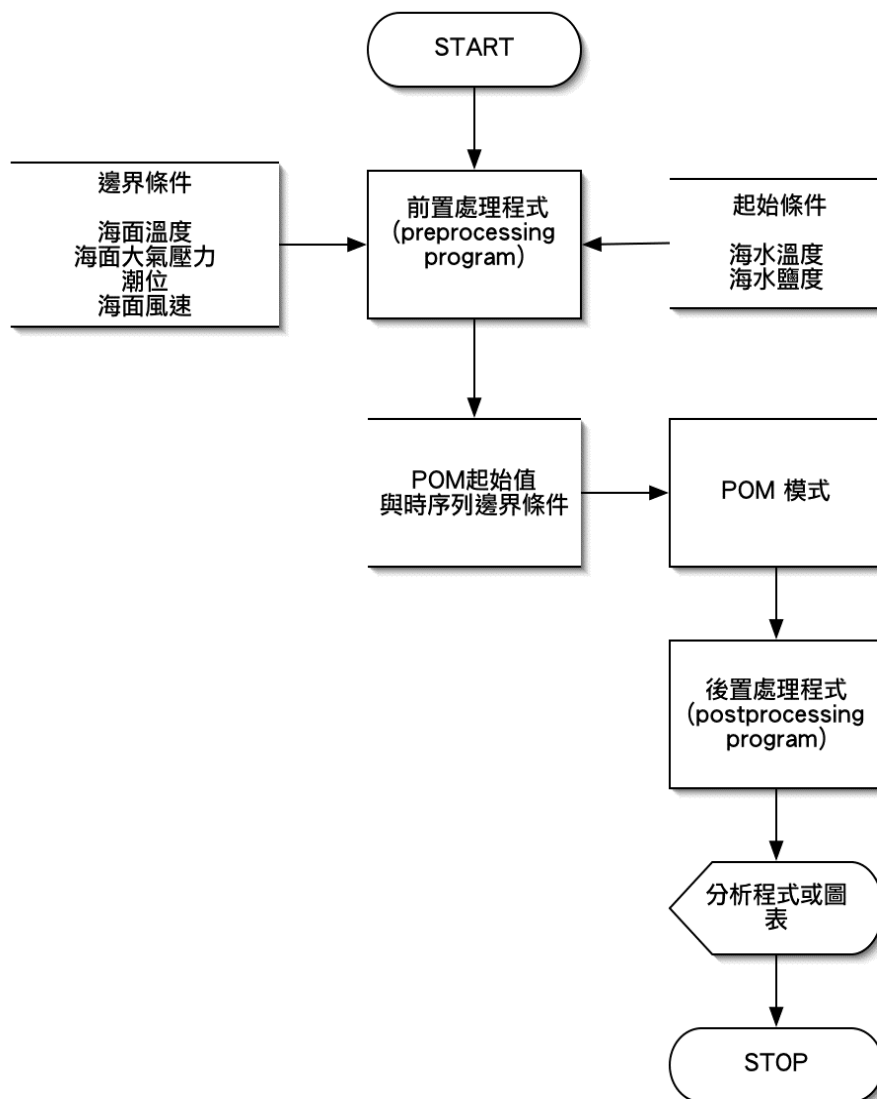


圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程

### 3.2 POM 模式操作說明

關於 POM 模式的操作與相關檔案的說明，在附錄二「港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊」中詳述本年度計畫所使用的程式與相關程序，撰寫該模式操作手冊以利進行模式與技術轉移至委託單位。在現有規劃上，模式的操作大致上可分為程式碼、可執行程式、輸出入資料與命令腳本檔等四大類檔案。在程式碼方面，是以 Fortran 程式語言

進行開發，故其副檔名為 f90、f、inc 與 h，經編譯後之可執行程式則是以 exe 做為附加檔名。輸出入資料方面，皆採用 NetCDF 格式進行所有資料的讀寫，附檔名 nc 則為 NetCDF 資料格式檔案。為了本計畫亦開發了多個命令腳本，其使用 Linux 作業系統中 bash 命令殼(shell)來進行開發命令腳本(shell script)，使用者可以透過此命令腳本建立模式輸入檔與分析資料，亦可批次處理某一段時間內的 POM 模式模擬，減少使用者製作資料輸入檔的不便。

### 3.3 資料蒐集

在模式邊界條件方面，本計畫透過現有的海氣象資料庫作為驅動模式所需之外力，故收集相關資料庫作為計畫執行依據，以下則簡述各資料庫之基本參數與時空範圍。

#### 3.3.1 海表面風場資料

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)	192×94 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

### 3.3.2 海平面大氣壓力資料

關於海平面大氣壓力資料，本計畫採用與海面風場相同來源之 NCEP/NCAR 分析場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)(Kalnay 等人，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 3-2 為 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式說明。

表 3-2 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

### 3.3.3 海面溫度

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

另亦蒐集了 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (SST) V3 之海面溫度資料，其資料來源為 International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS)之 SST 資料，利用改良式統計方

法重建格網資料(Smith, 2008), 資料時間範圍自 1854 年至今, 時間解析度為月平均, 空間解析度為 2.0 度, 資料範圍涵蓋全球, 資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.html>。表 3-4 為 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式說明。

**表 3-3 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式**

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

**表 3-4 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式**

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

### 3.3.4 海洋鹽度、溫度與海流

關於海洋鹽度與溫度, 本計畫蒐集了 NODC (National Oceanographic Data Center)的 WOA (World Ocean Atlas)海洋水文資料庫, 其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料, 資料時間為 2005 年, 水平空間解析度為 1.0 度, 垂直方向共有 33

層，分別是 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 [http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr\\_woa05.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html)。表 3-5 為 WOA05 海洋資料庫格式說明。

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

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

**表 3-5 NODC WOA05 海洋資料庫格式**

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)	標準深度(水深方向 33 層)
資料型式(type)	ASCII



表 3-6 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料

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

表 3-7 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料

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

### 3.3.5 地形水深

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

表 3-8 ETOPO2 地形水深資料庫格式

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

**表 3-9 ETOPO1 地形水深資料庫格式**

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

**表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式**

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

## 第四章 模式測試與驗證

延續第一分年計畫「POM 海洋數值模式應用於臺灣海域之洋流模擬」，利用第一分年計畫所建置的台灣海域 POM 模式洋流模擬系統，其中包括 POM 海洋數值計算模式、資料輸出入處理及成果展示系統。而第一分年計畫中已經選定計算領域大小，透過全球、西太平洋與台灣海域之順序，以三層巢狀格網的模擬洋流。去年模擬系統亦結合多組海氣象資料庫進行模擬，包括 NCEP/NCAR 分析風場資料 (NCEP/NCAR Reanalysis 1)、NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V3 海溫資料、NODC 的 WOA 海洋水文資料庫，上述海氣象資料經由前置處理程式內插至 POM 模式格網上，再以 POM 模式進行模擬。

本年度計畫利用較高時空解析度之海氣象資料庫來改善模式，利用國科會海洋學門海洋資料庫之海流與水文資料來驗證模式年季流場與溫鹽場之合理性，並透過單點錨碇海流資料、浮標追蹤、岸基測流雷達資料及近岸高雄海域海流實測資料的比較，討論模式測試過程與結果，據此驗證模式合理性，並分析台灣海域海潮流與水文特性。

### 4.1 台灣海域洋流特性

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

大西洋灣流、南印度洋形成莫三比克洋流。全球主要洋流的分佈如圖 4-1 所示。

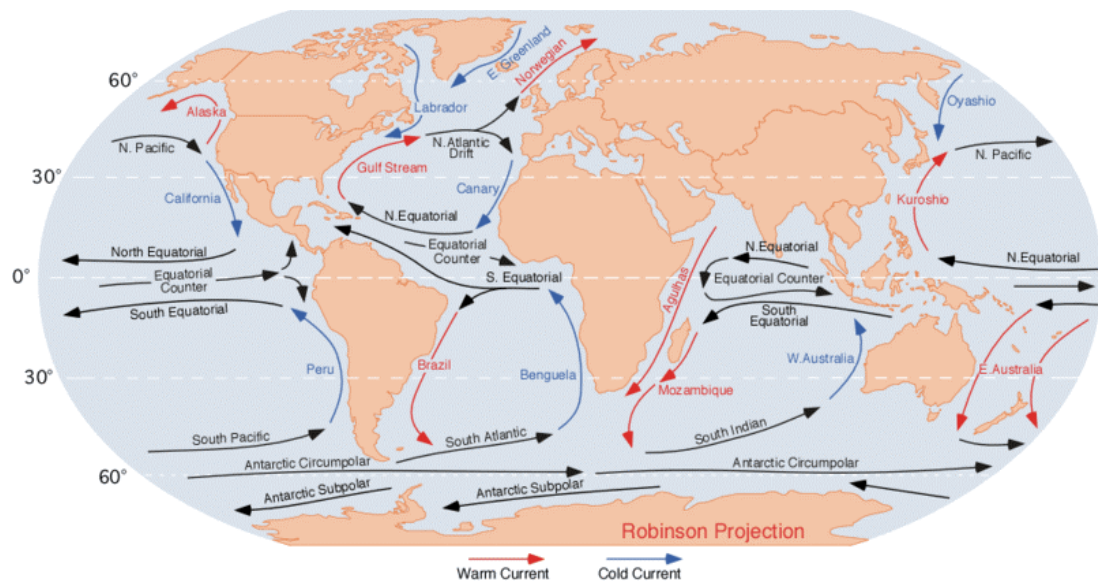


圖 4-1 全球主要洋流分佈圖 (資料來源：<http://en.wikipedia.org>)

於緯度 30 至 60 間西風盛行，西風帶作用下的西風漂流向東流動遇大陸後，向兩側的高緯低緯分流形成補償流。向低緯流的洋流有：北太平洋的加利福尼亞洋流、南太平洋的秘魯洋流、北大西洋的加那利洋流、南大西洋的本吉拉洋流、南印度洋的西澳洲洋流。而西風漂流遇到陸地後向北分支形成的補償流、極地東風帶形成的中高緯大洋西岸的洋流組成北半球中高緯海區的氣旋型大洋環流。該環流在北太平洋上有、北太平洋暖流、阿拉斯加洋流、千島寒流。在北大西洋上有、北大西洋暖流、挪威暖流、東格陵蘭寒流。而北印度洋陸地較多，風場與其他二洋亦有所不同，太平洋與大西洋於北半球的副熱帶環流不見於此處。北印度洋受南亞季風的影響，冬季盛行東北季風，形成東北季風漂流，夏季盛行西南季風，形成西南季風漂流。

台灣為一海島，東臨太平洋，西隔台灣海峽與大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，海岸線全長約 1,200 公里(含澎湖群島總長約 1,520 公里)。島上山嶽高聳，東部海岸因海岸山脈面海矗立，岸邊多懸崖峭壁，海底坡降陡峻，距岸不遠處即為深海。西部海岸則山脈離海較遠，加以早年各主要河川均西向流入台灣海峽，順流而下

之大量泥沙堆積於近海地區，遂助長海灘向外伸展，沿海平原坡度平緩，海灘承其餘勢坡度亦緩。受地形影響，台灣之洋流與潮汐在南北部與東西部均有不同之變化。洋流與潮汐為影響台灣沿海環境之重要自然因素。洋流主要影響氣候及漁場分佈；潮汐影響河川與港灣的自淨能力以及沿海汙染物質的擴散。資就台灣附近之洋流與潮汐狀況分別描述如下：

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

黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名台灣海流，向北流至台灣南端附近時，分成兩股。主流沿台灣東北而上，在蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後彎曲朝東北向流去，流速達 1 m/sec，有時高達 2 m/sec，一般而言夏季流速較快。黑潮主流之寬度約為 110~150 公里，主流中軸線距台灣約 50~150 公里，最大流速範圍為 0.6~1.0 m/sec，但隨區域與季節而有所不同，最強之流速出現在接近台灣海岸處，流速向東緩慢降低，在主流右側常有一反向向南之洋流或渦流存在。黑潮主流由海面向下可延伸至 600 公尺深，在此深度之流速仍達 0.1~0.2 m/sec，在台灣東部近岸流速超過 0.3 m/sec 之黑潮潮流亦可延展至 200 公尺深。黑潮為來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30℃，冬季水溫不低於 20℃。黑潮流經台灣附近，由於受到海底地形的影響，在台灣東南沿海及東北外海海域引起湧昇流現象。湧昇流會把二、三百公尺深的中層海水帶到表層來，中層海水含較豐富的營養鹽，這些高養分的海水使浮游生物繁殖旺盛，引來魚群，因而形成良好的漁場，為台灣近海漁業帶來大洋暖水性魚種，例如鮪魚、鰹魚、旗魚、鬼頭刀等等。台灣北部的彭佳嶼就是湧昇流區，是台灣重要的漁場之一，南方澳一帶的漁船經常在此海域作業，對台灣漁業發展有重大之影響。

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

## 4.2 台灣海域洋流模擬系統之建置

風力、溫鹽通常是洋流之原始趨動水動力，鑒此，欲模擬計算洋流之大規模流動特性，用以模擬計算所設定之海域範圍一般皆甚寬廣。雖然本研究目的在於模擬台灣鄰近海域之洋流，但為了取得正確的模式邊界條件，故首先必須進行大範圍海域之洋流模擬，然後再利用巢狀格網計算方式，逐步縮小計算範圍，藉以提高台灣鄰近海域洋流模擬的解析度。透過第一分年計畫所建立的巢狀格網模式，透過模式驗證後，其所建置之全球 POM 模式可重現全球洋流流動，本計畫據此全球 POM 模式之模擬結果為起始與邊界資料，縮小範圍提高解析度，以巢狀格網計算方式模擬西太平洋與台灣海域之洋流流動。

根據第一分年計畫成果，完成全球、西北太平洋及台灣海域洋流模式的建置，並為了模擬台灣近岸洋流與潮流作用下之流場，增加台灣西南部海域高解析度模式，利用巢狀格網計算方式縮小模擬範圍增加模式解析度。第一層格網為全球 POM 洋流模式，計算領域南至南極洲，北至北緯 70 度，東西邊界互相連接為一週期性邊界，格網解析度

為  $1/2 = 0.5$  度。第二層則縮小範圍至西北太平洋，計算領域為東經 105~175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，格網包括赤道南北附近海域，格網解析度為  $1/5 = 0.2$  度約為 20 公里。第三層則為台灣附近海域，格網範圍為東經 115~130 度、北緯 15~30 度，格網包含呂宋島，而格網間距為  $1/16 = 0.0625$  度約為 5 公里。圖 4-2、圖 4-3 及圖 4-4 分別為全球 (G1)、西北太平洋(N2)、台灣海域(T3)之計算領域地形水深圖，全球與西太平洋格網地形水深採用 ETOP2v2g 地形水深資料庫(National Geophysical Data Center, 2006)，解析度為  $2/60$  度，台灣海域格網採用 ETOPO1 地形水深資料庫，其解析度為  $1/60$  度。而圖 4-5 為台灣西南部海域(T-SW)，其範圍為東經 119~122 度、北緯 21~23 度，格網解析度為  $1/64 = 0.015625$  度約為 1.5 公里，其地形水深採用國科會海洋學門之地形水深資料庫(Liu 等人, 1998)，其解析度為 500 公尺，而模式格網設定亦如表 4-1 中所示。

邊界條件方面，本年度採用更高時空解析度之海氣象資料庫，如海面溫度採 NOAA OI SST 的週平均資料庫，其資料範圍為 1981 年 1 月至今，空間解析度為 1 度，海面風場與氣壓資料為 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的日平均大氣資料庫，其資料範圍為 1948 年至今。模式鹽度與溫度起始資料以 WOA05 海洋資料庫的年平均氣候值。關於模式設定，起始時間為 1986 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2009 年 12 月 31 日，表 4-2 中說明各模式所採用的海氣象資料庫。而模式參數方面，則以表 4-3 所列之參數進行模擬。

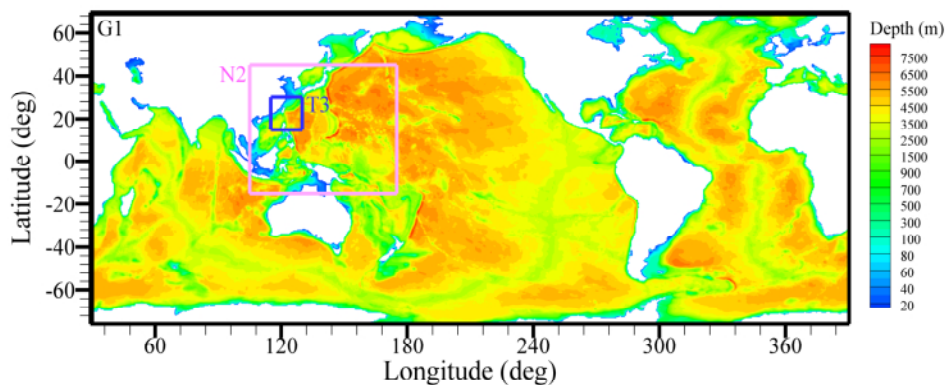


圖 4-2 全球洋流模式計算領域地形水深圖



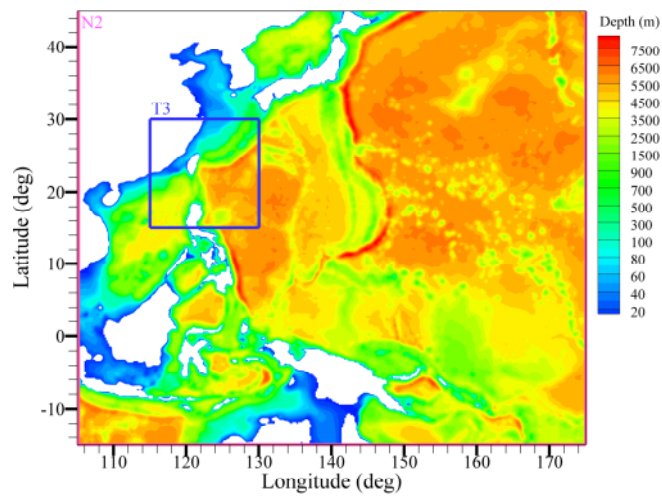


圖 4-3 西北太平洋模式格網範圍與地形水深圖

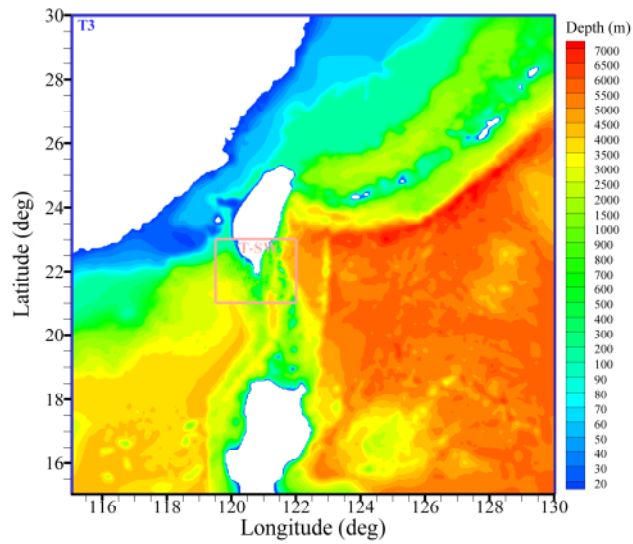


圖 4-4 台灣海域模式格網範圍與地形水深圖

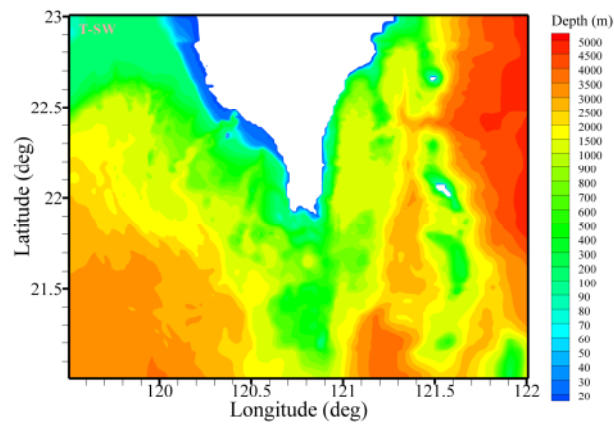


圖 4-5 台灣南部海域模式格網範圍與地形水深圖



表 4-1 巢狀格網之範圍與計算條件

模式	模式範圍	格網點數	解析度	計算時距(dte)	計算時距(dti)	緩衝區格點數
G1	180 <sup>0</sup> E~180 <sup>0</sup> W 70 <sup>0</sup> N~75 <sup>0</sup> S	723x292x21	1/2 <sup>0</sup>	30 sec	1800 sec	0
N2	105 <sup>0</sup> E~175 <sup>0</sup> E 15 <sup>0</sup> S~45 <sup>0</sup> N	351x301x21	1/5 <sup>0</sup>	20 sec	1200 sec	12
T3	115 <sup>0</sup> E~130 <sup>0</sup> E 15 <sup>0</sup> N~30 <sup>0</sup> N	241x241x21	1/16 <sup>0</sup>	6 sec	360 sec	12
T-SW	119 <sup>0</sup> E~122 <sup>0</sup> E 21 <sup>0</sup> N~23 <sup>0</sup> N	161x129x21	1/64 <sup>0</sup>	2 sec	120 sec	12

表 4-2 模式計算背景資料與計算時間

模式	地形水深	海面風場	海面溫度	計算起始時間	計算時間(註)	巢狀邊界更新時間
G1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1986/01/01	53 min	無
G1-1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01	53 min	無
N2	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1986/01/01	34 min	月平均
N2-1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01	34 min	日平均
T3	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1986/01/01	50 min	月平均
T3-1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01	50 min	日平均

註：以雙四核心 Intel Xeon 3.0GHz 電腦於 SUSE Enterprise 10 Server 上執行，利用 OpenMP 進行 POM 模式平行化，使用八核心計算模擬一個月所需之時間。

表 4-3 模式重要參數表

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

### 4.3 應用高解析度海氣象資料庫於模式測試

如上節表 4-2 中模式計算背景資料所述，今年度更新 POM 模式所採用的海氣象資料之時空解析度，G1、N2 及 T3 模式分別採用月平均值之海面風場與溫度場，而海面風場為 T62 格網，解析度約為 2 度，海面溫度場解析度為 2 度，而巢狀格網相互連接邊界資料更新頻率為月平均值；而 G1-1、N2-1 及 T3-1 模式分別採用日平均值海面風場與週平均海面溫度場，而海面風場為 T62 格網，解析度約為 2 度，海面溫度場解析度為 1 度，巢狀格網相互連接邊界資料更新頻率為日平均值。

圖 4-6 為全球模式於西北太平洋處之放大圖，圖中左、右側分別為 G1 與 G1-1 模式於表面與 300 公尺深之流速與流向模擬結果，模式由 1986 年 1 月 1 日 0 時開始積分，根據去年度計畫成果，模式由冷啟動至穩定狀態需要 5 年的積分時間。為了避免漸進段不穩定的數值現象影響模式比較結果，故由 1991 年 1 月 1 日 0 時的模式結果進行統計與

分析。圖中為 1991 年至 1996 年模擬結果之年平均值，由圖中比較，提高海氣象資料庫解析度於全球 G1 模式中所產生的洋流流速與流向分佈並無明顯差別，其可能原因是全球 G1 模式格網解析度為 0.5 度，提高海氣象資料庫時空解析度於此格網解析度下所顯示的差異不大。圖 4-7 為西北太平洋模式表面與 300 公尺深之流速與流向分佈圖，圖中左、右側分別為 N2 與 N2-1 模式之模擬結果，其為 1991 年至 1996 年之年平均值，由圖中可辨識兩者之間的差異，如台灣附近海域黑潮流向等，由於 N2 格網解析度為 0.2 度，表示提高海氣象資料庫時空解析度於會影響本計畫所建置的西北太平洋模式之模擬結果。而圖 4-8 為台灣海域模式表面與 300 公尺深之流速與流向分佈圖，圖中左、右側分別為 T3 與 T3-1 模式之模擬結果，其為 1991 年至 1996 年之年平均值，由圖中明顯可見兩者差異極大，於提高海氣象資料庫時空解析度後，如黑潮於呂宋海峽處之入侵與套流現象較為明顯，且台灣東部海域之黑潮流向也有明顯不同。

圖 4-9 與圖 4-10 為台灣海域模式表面與 300 公尺深之流速與流向分佈圖、圖中分別為春(March-April-May)、夏(June-July-August)、秋(September-October-November)、冬(December-January-February)各季節之比較，圖中左、右側分別為 T3 與 T3-1 模式之模擬結果，由圖中可知，提高海氣象資料庫時空解析度之後，黑潮套流現象在各季節內皆會出現。冬、春季兩季所形成的套流流速略大，其現象與一般所認知之黑潮特性相符(Hsin 等人，2008)。

由第一分年計畫結果可知，在巢狀格網解析度相同條件下，格網範圍不同卻會形成不同特性之洋流流動，尤其是隨著洋流流動兩者間之差異會越來越大，如洋流流向與中尺度渦流的特性明顯不同。此外，格網解析度不同可產生的洋流特性之可分辨性亦不同，利用高解析度格網來描述洋流特性是必須的。由本節結果亦可了解，高解析度海洋模式須搭配高解析度海氣象資料庫，兩者解析度的同時提升有助於改善模擬結果。故隨後之章節之模式驗證，則針對本年度所建置之 N2-1、T3-1 模式模擬結果進行更進一步的討論。

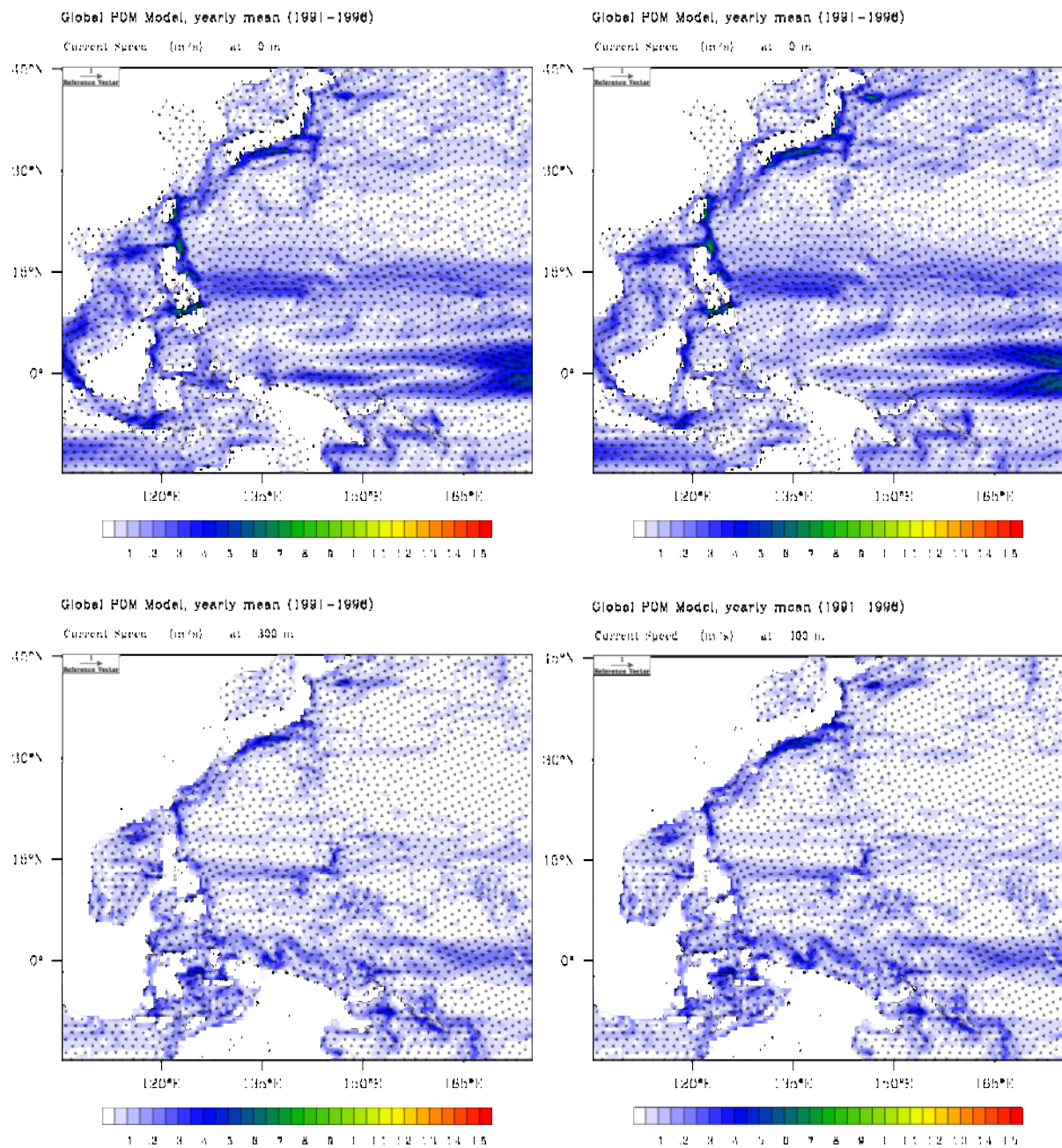


圖 4-6 全球模式於西北太平洋海域年平均之表面與 300 公尺深流速與流向分佈 (左側 G1 模式；右側 G1-1 模式；1991-1996 年)

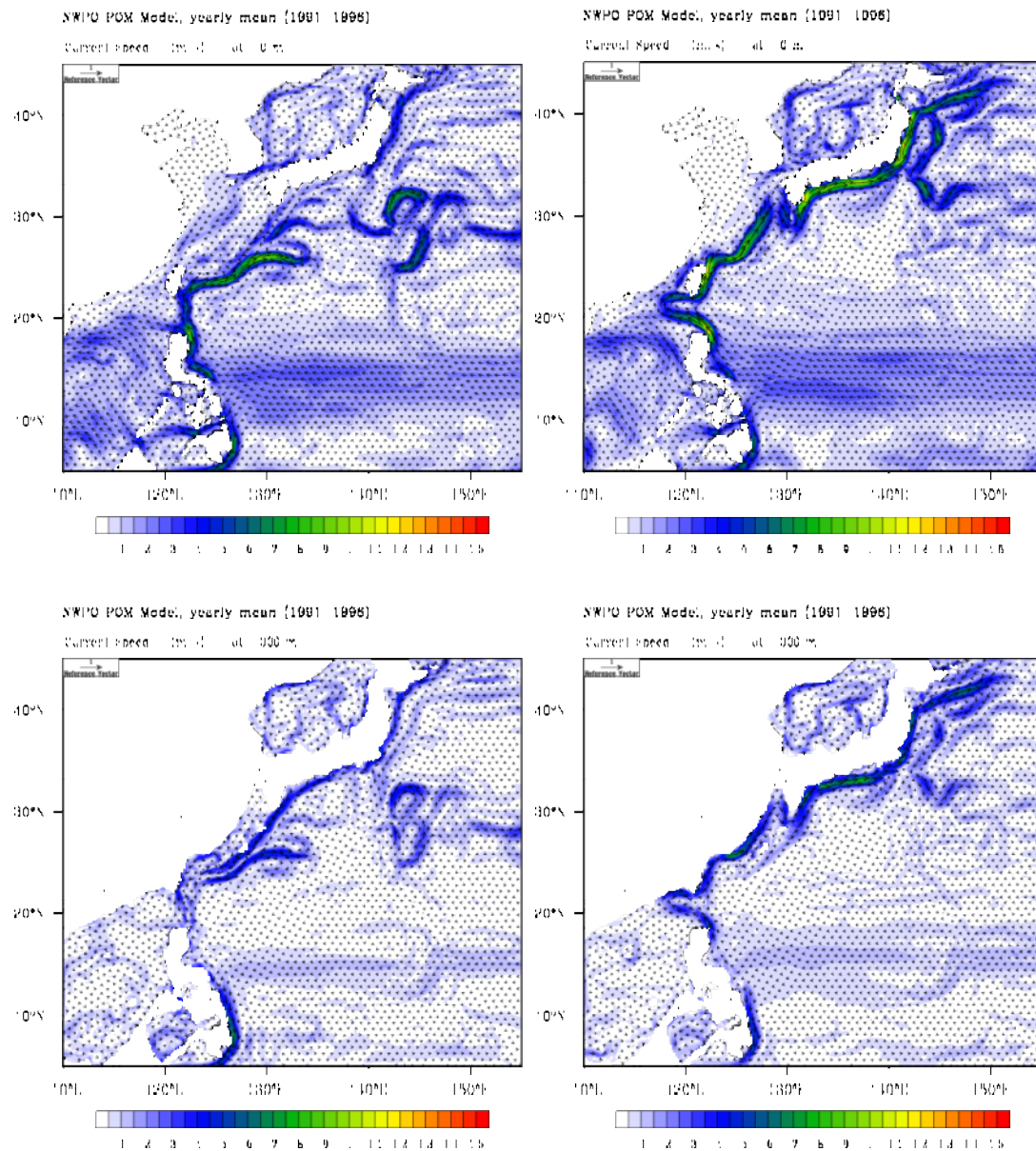


圖 4-7 西北太平洋海域模式年平均之表面與 300 公尺深流速與流向分佈 (左側 N2 模式；右側 N2-1 模式；1991-1996 年)



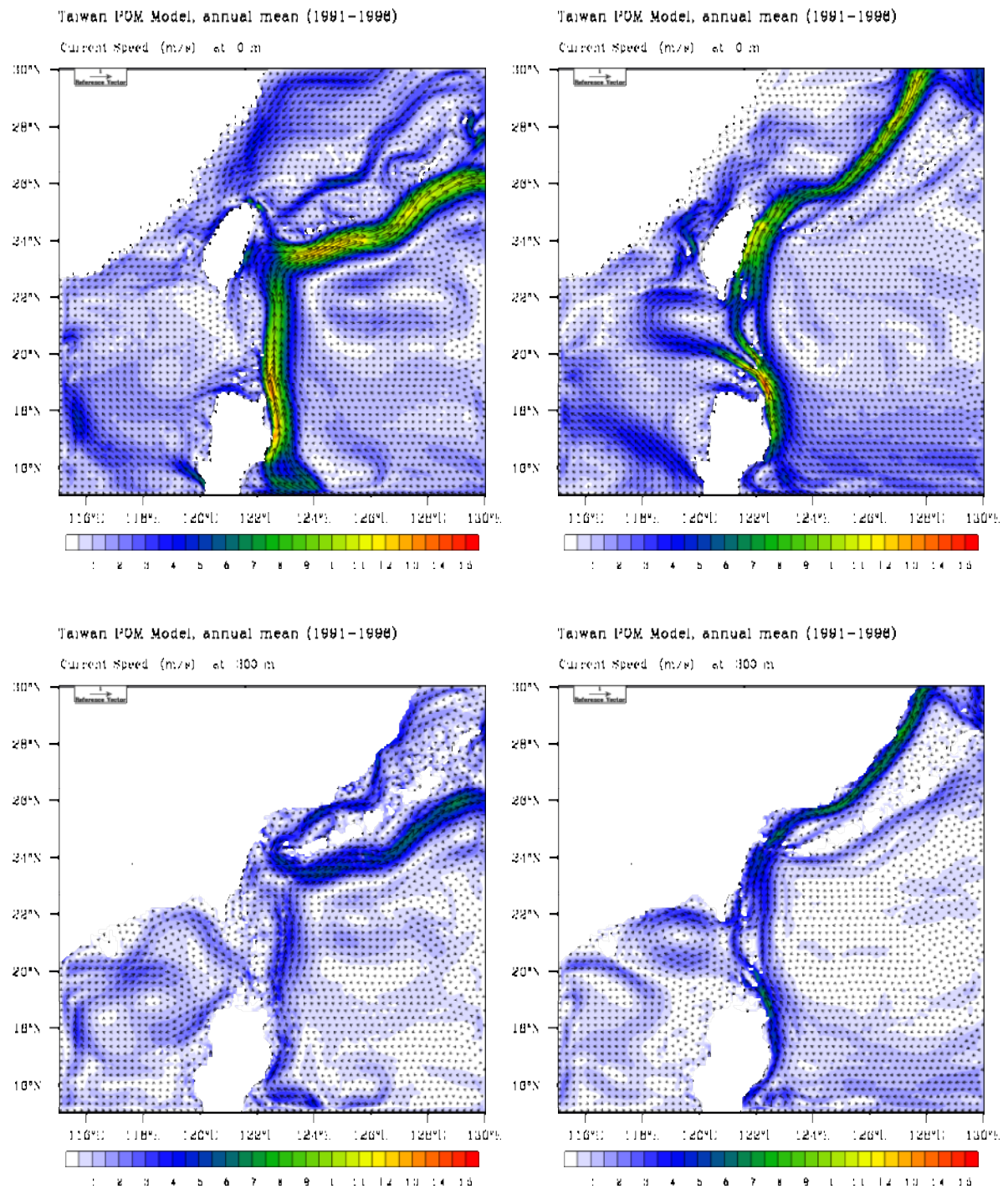


圖 4-8 台灣海域模式年平均之表面與 300 公尺深流速與流向分佈 (左側 T3 模式；右側 T3-1 模式；1991-1996 年)

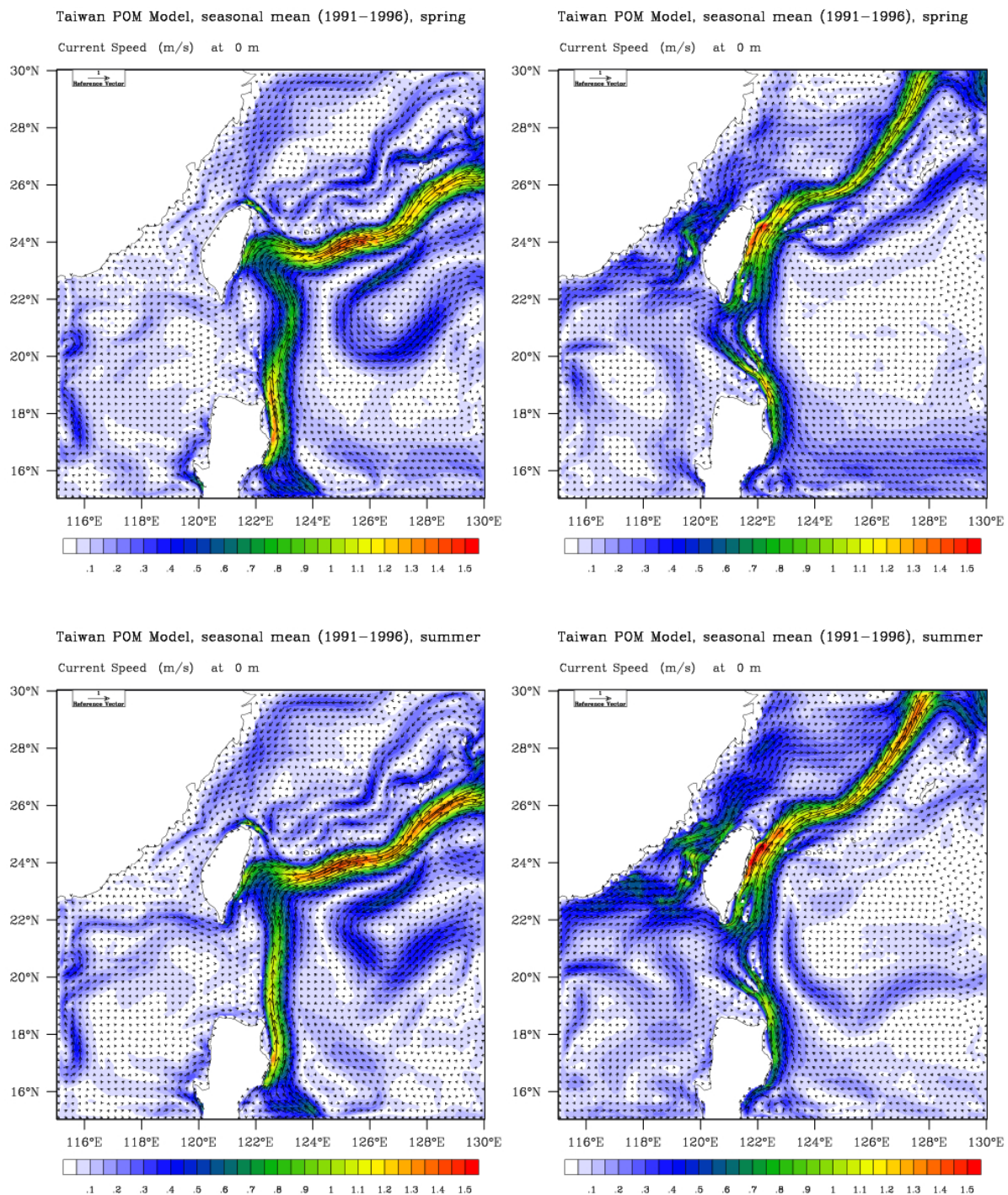


圖 4-9 台灣海域模式春季(M-A-M)與夏季(J-J-A)之表面流速與流向分佈 (左側 T3 模式；右側 T3-1 模式；1991-1996 年)



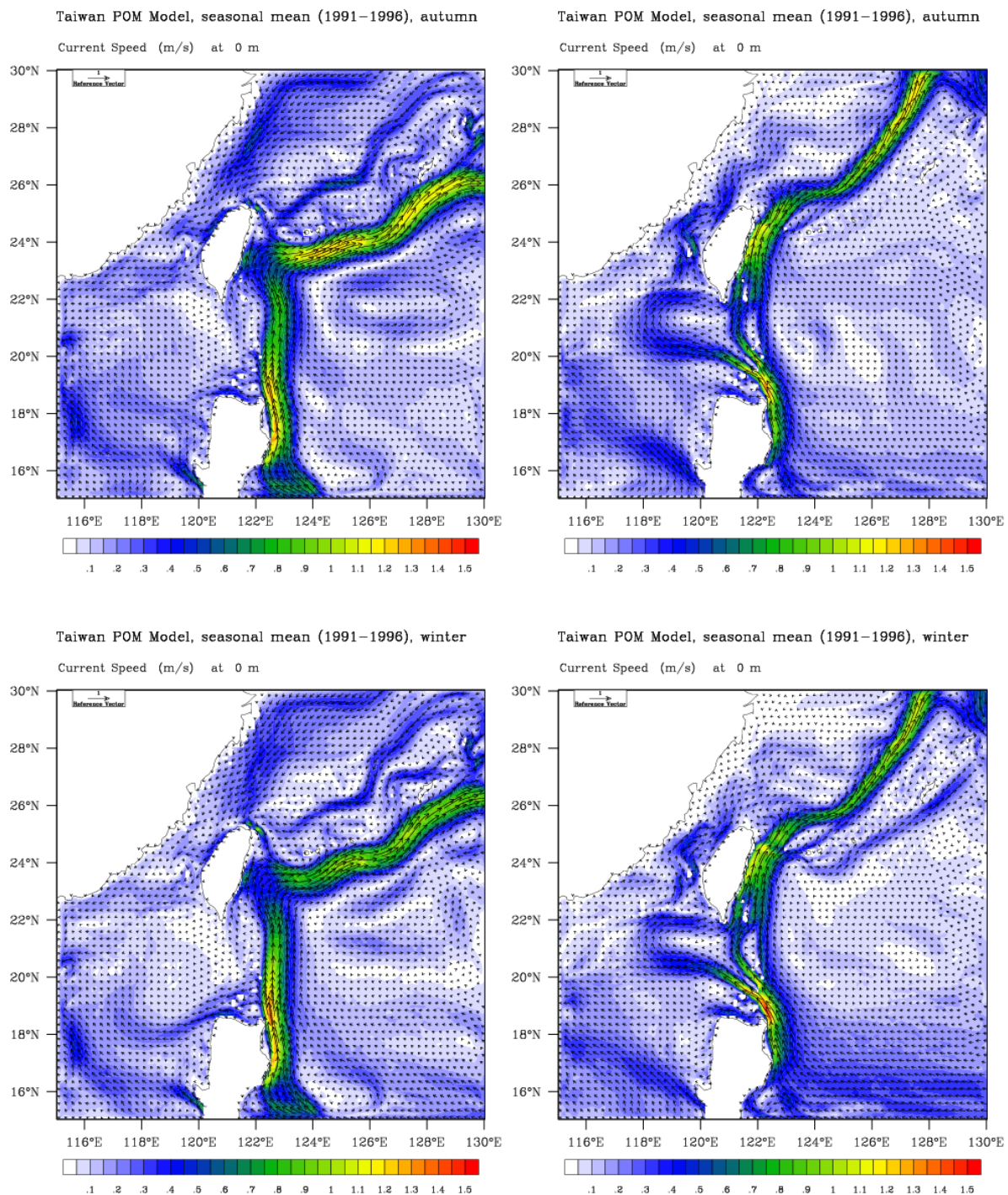


圖 4-10 台灣海域模式秋季(S-O-N)與冬季(D-J-F)之表面流速與流向分佈 (左側 T3 模式；右側 T3-1 模式；1991-1996 年)



#### 4.4 台灣海域洋流模式驗證與特性探討

本節採用國科會海洋學門海洋資料庫海流資料庫之量測結果做為模式驗證，其海流資料是海研一、二、三號的船碇式都卜勒流剖儀 (Ship-Board Acoustic Doppler Current Profiler, Sb-ADCP) 所收集得來，資料範圍為 1991 年至 2009 年。其流場資料利用 Tang 和 Ma (1995) 的校正方式獲得絕對流場，再將各水層資料內插成標準深度，包括 20 至 300 公尺間隔 10 公尺之深度，其資料網頁為 <http://www.odp.ntu.edu.tw/wordpress/>。

如上節所述，在此驗證的是 G1-1、N2-1 及 T3-1 模式之模擬結果，模式啟始時間是 1986 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2009 年 12 月 31 日 24 時為止，共計 24 年，避免模式採冷啟動造成漸進段之數值不穩定影響統計分析特性，故採用 1991 至 2009 年之模式結果來進行分析。

圖 4-11 分別為水深 20、50、100、200 及 300 公尺處，T3-1 模式結果與海流資料庫實測值之比較圖，圖中左側為海流資料庫之實測值，右側為模式結果，箭頭表示流速流向，等值色塊為流速分佈。對照本計畫的模擬結果與海流資料庫實測資料，於花蓮外海之表面流速皆介於每秒 1 公尺至 1.5 公尺之間，黑潮於台灣東部海岸出現流速最大值的位置相近，且流速與流向也具有合理的一致性，表示 T3-1 模式所模擬的台灣東部黑潮特性具有可信度。比較呂宋海峽處之洋流特性，由圖中可知，由模式模擬之黑潮經過菲律賓海域後一分為二，支流轉進入南海海域後，一部分沿著澎湖水道穿過台灣海峽，而部分海流於台灣西南海域形成一順時針環流，繞過台灣西南海岸於墾丁附近海域與主流會合後沿台灣東岸北上，此為黑潮套流現象。由海流資料庫亦可見黑潮套流現象，但其流速值小於模擬結果，其可能原因為：一般而言，黑潮套流常發生於東北季風盛行的冬天，而冬天海象惡劣較不易進行大洋觀測實驗，導致冬季時量測點數的分布不均，造成平均值下之黑潮套流現象較不明顯。

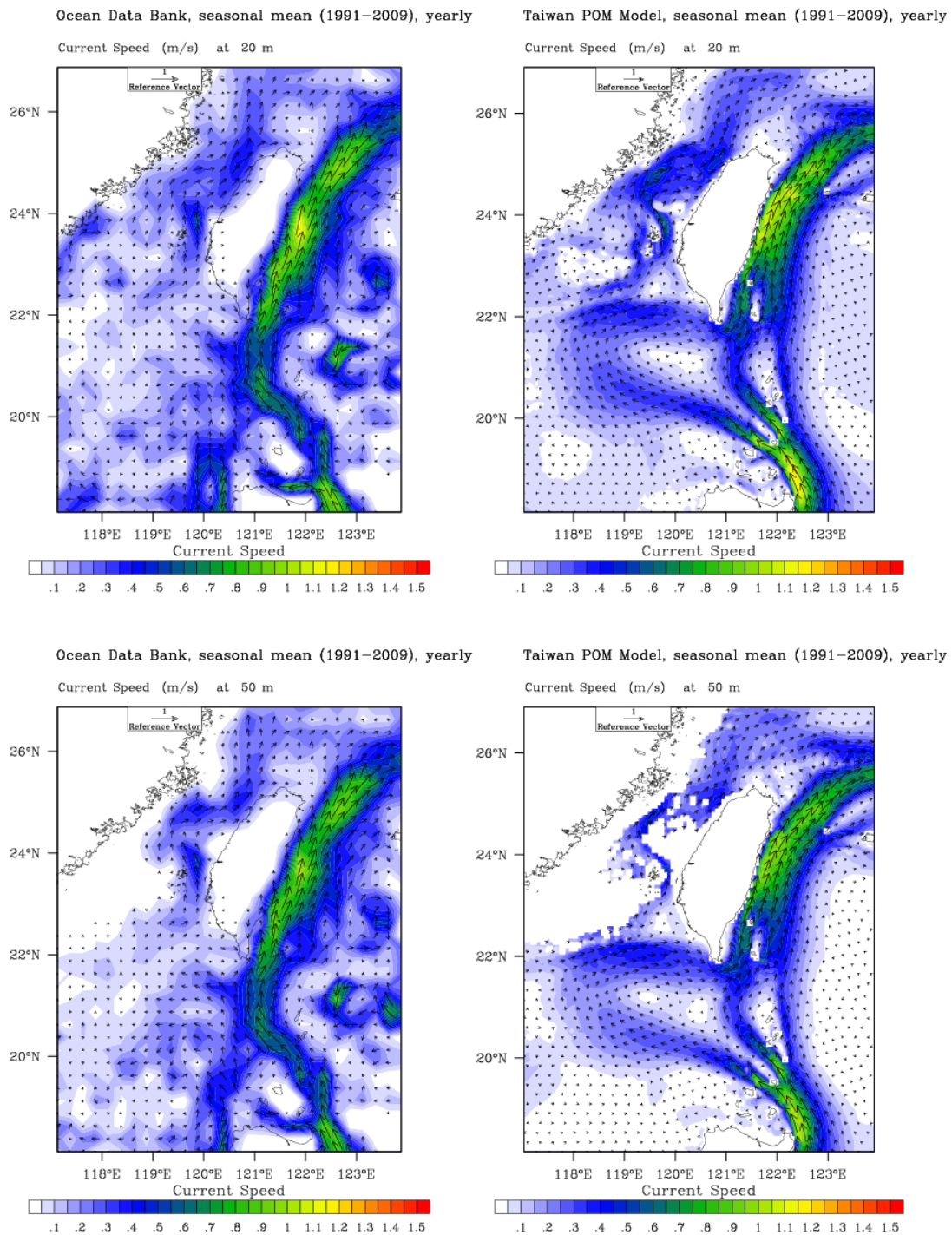


圖 4-11 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖 (上側：水深 20 公尺；下側：水深 50 公尺)

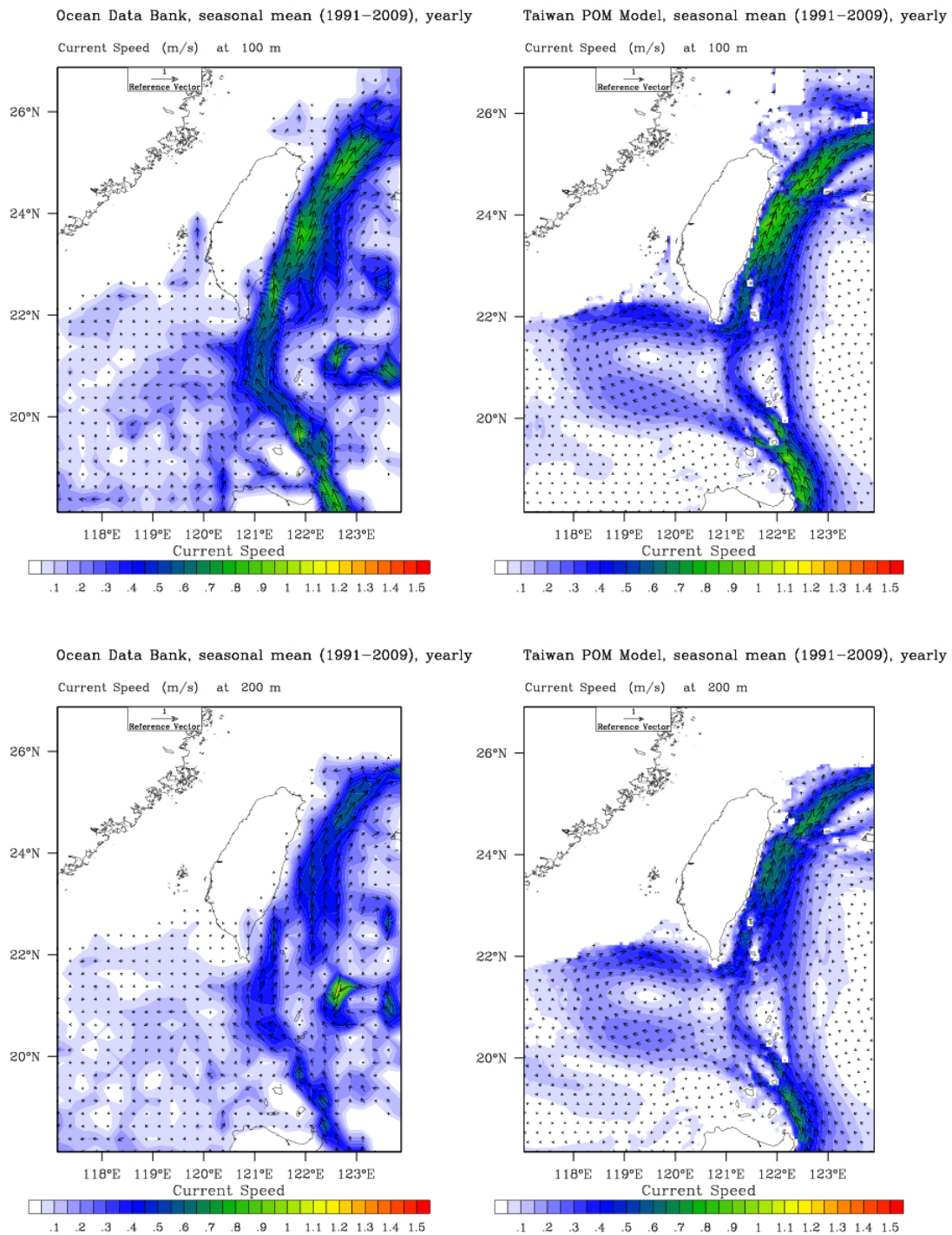


圖 4-11(續) 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖 (上側：水深 100 公尺；下側：水深 200 公尺)

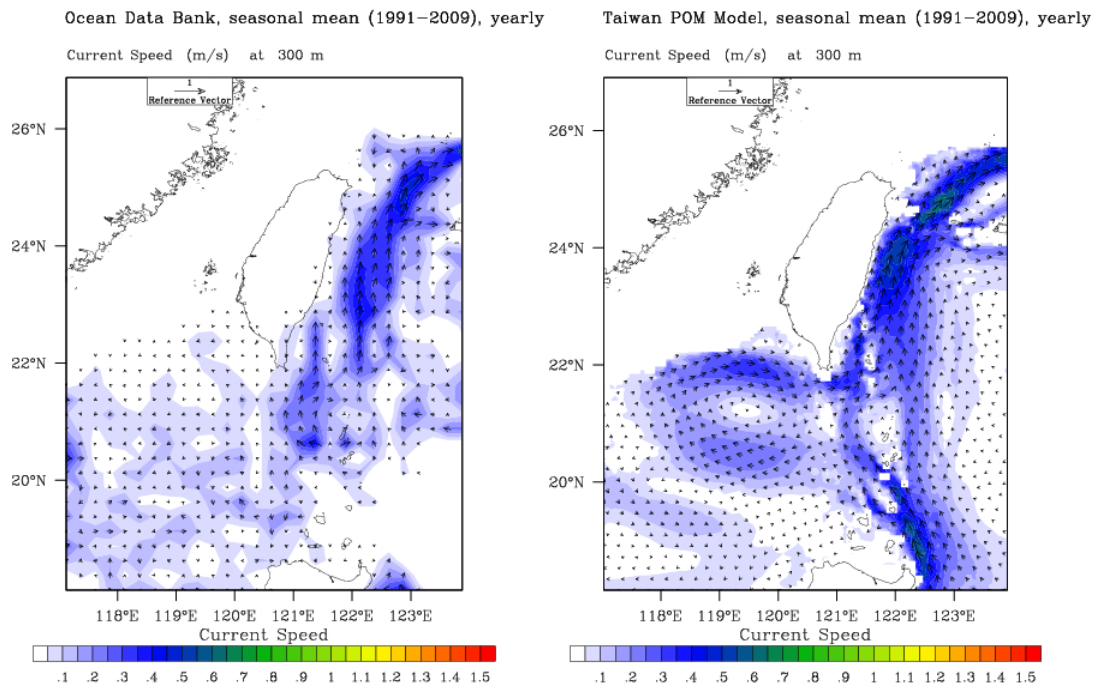


圖 4-11(續) 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖 (水深 300 公尺)

圖 4-12 與圖 4-13 分別為 1991 至 2009 年之春、夏與秋、冬季平均值於 20 公尺深之流速流向分佈圖，圖中左側為海流資料庫之實測值，右側為 T3-1 模式結果。如上述，對照圖中可知，模式所模擬出的黑潮套流現象的確於秋冬季節較為明顯，而台灣西南海域於冬季觀測值出現明顯向西流動現象，其與模式結果之黑潮套流位置相當。而春夏季節時，南海夏季由於西南季風盛行會產生西南吹送流，於台灣西南海域可發現由南海來之洋流到達台灣西南海域，與黑潮支流合而為一，產生台灣高雄屏東海域複雜的流況，而冬季西南吹送流較弱無法到達台灣海峽。觀察台灣海峽之洋流特性，比較夏季平均之海流資料庫與模式模擬結果於澎湖水道之流速流向，兩者具有合理一致性，其餘季節模式模擬結果似乎略大於海流資料庫之觀測值，冬季海域台灣海峽之黑潮支流明顯較小。比較模式結果於不同季平均值，台灣海峽之流速於夏季達到最強。圖 4-14 與圖 4-15 分別為春、夏與秋、冬季平均值於 200 公尺深之流速流向分佈圖，比較觀測值與模式結果，黑潮流速流向於台灣東部海域處具有一致性，但模式所模擬的流速略大於觀測

值。由模式模擬結果可知，台灣西南海域深度 200 公尺處亦存在一順時針環流，其應為黑潮套流所產生的現象。

圖 4-16、圖 4-17 及圖 4-18 分別為北緯 21 度、23 度及 25 度垂直黑潮流向之深度垂直斷面的年平均流速分佈，圖中上、中及下側分別為流速、流速東西( $U$ )分量及南北( $V$ )分量分佈圖，而圖中左側為海流資料庫之實測值，右側為模式結果。由圖 4-16 之實測資料中看出，黑潮主流在斷面北緯 21 度至 300 公尺深處之流速仍可達每秒 0.3 公尺左右，而模擬結果之表面流速較小，但與實測資料相近兩者皆於東經 121 度、122.5 度處出現明顯流速較強之支流。而圖 4-17 之斷面包含台灣海峽與東部海域，從兩者比較中可知，黑潮主流於台灣東部海域深度 120 公尺處之流速約為每秒 0.6~0.8 公尺，主流軸約在東經 121.3~121.6 度之間，而台灣海峽處之流速約為每秒 0.2~0.5 公尺，由圖中兩者色階接近可知，模式模擬之洋流特性於北緯 23 度斷面處與實測具有合理之一致性。圖 4-18 為北緯 25 度斷面之比較圖，由圖中可知黑潮主流軸往西偏移，約在東經 122.5~123.0 之間，而於深度 150 公尺處之流速仍可達每秒 0.7~0.9 公尺，而台灣海峽北端處之流速約為每秒 0.4~0.6 公尺左右。由台灣海域北中南斷面之比較結果，台灣東岸黑潮主流於深度 300 公尺以上，不論是流速、東西及南北分量之模擬結果與實測資料於黑潮主流軸位置與流速深度分佈都具有合理之一致性。

將上述斷面流速流向積分可得通過斷面流量，而模擬結果通過 300 公尺深度以上之流量於北中南斷面分別為 12.0、23.4 及 25.0Sv；而實測值知流量於北中南斷面分別為 1、26 及 22Sv，除了北緯 21 度斷面差異較大，其餘模擬結果之流量具有合理性。圖 4-19 為台灣東部海域 21、22、23、24 度深度 500 公尺以上斷面之月平均流量變化圖，由圖中可知台灣東部海域黑潮流量穩定，其最大最小值約為平均值之正負 5Sv，冬季時最小夏季最大。而圖 4-20 為台灣海峽之月平均流量變化圖，由 1991 至 2009 年之其月平均流量可得台灣海峽流量平均為 3.1Sv，月平均流量振幅約為 1.5Sv，冬季流量可小於 1Sv 以下，甚至有時東北季風較強時會出現負的流量值，表示此時台灣海峽之流向轉向南，產生負



的流量。根據 Hsin 等人(2008)之整理結果，黑潮實測流量約介於 15~44Sv 之間，而 Hsin 等人(2008)數值模擬結果為  $28.4 \pm 5.0$  Sv，顯示本計畫所模擬之台灣海域之洋流特性具有合理性。

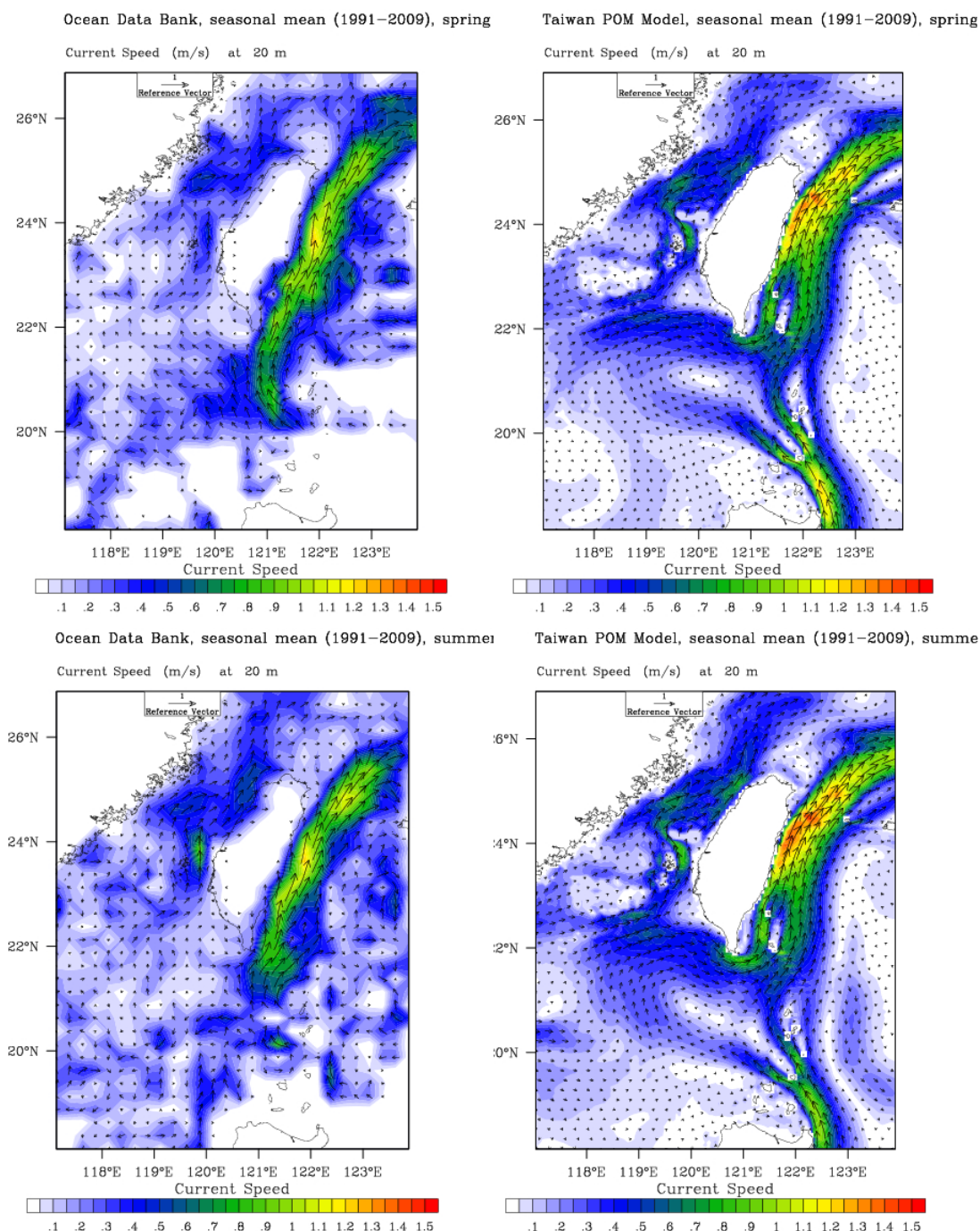


圖 4-12 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏季平均流速流向比較圖 (水深 20 公尺)

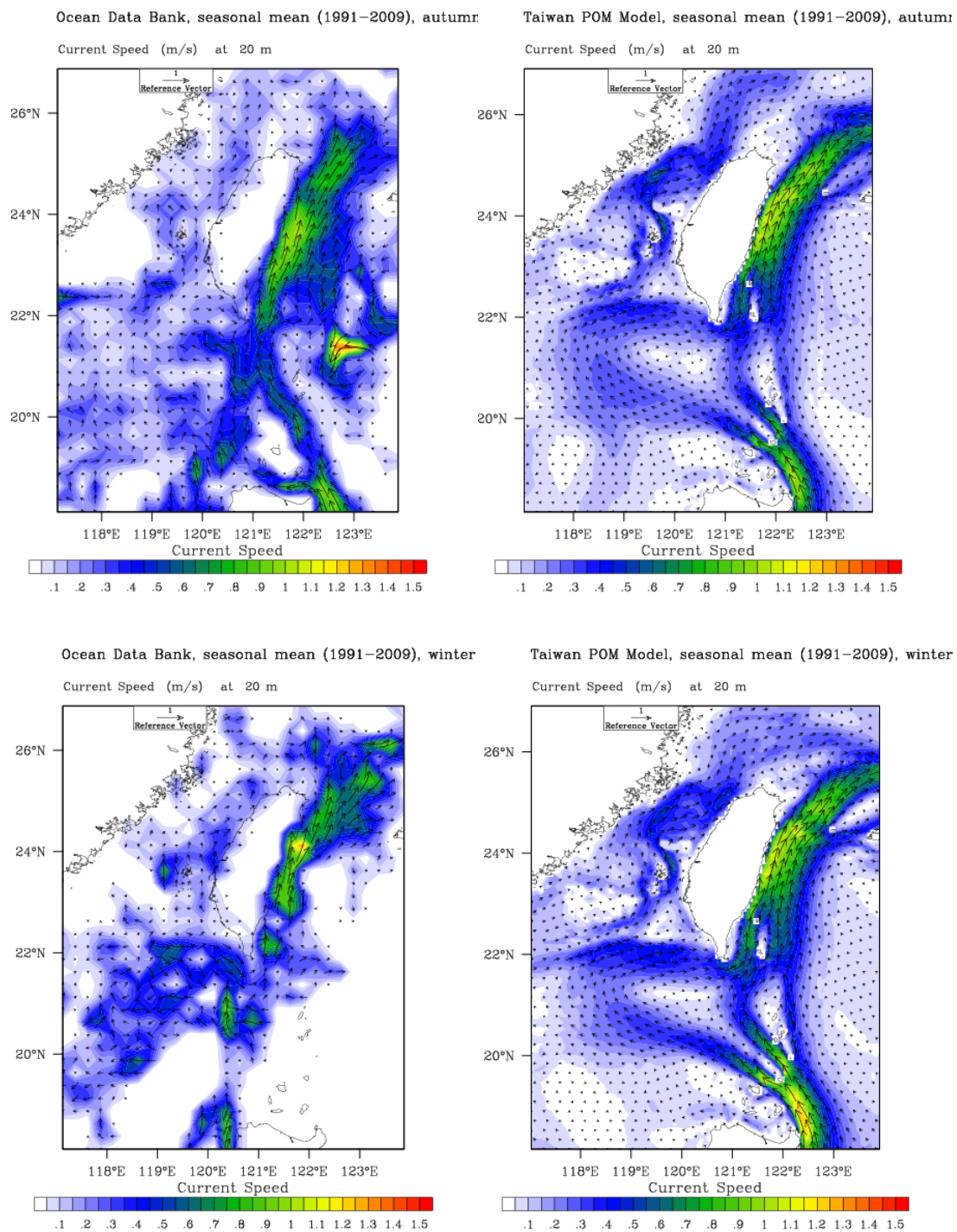


圖 4-13 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之秋、冬季平均流速流向比較圖 (水深 20 公尺)

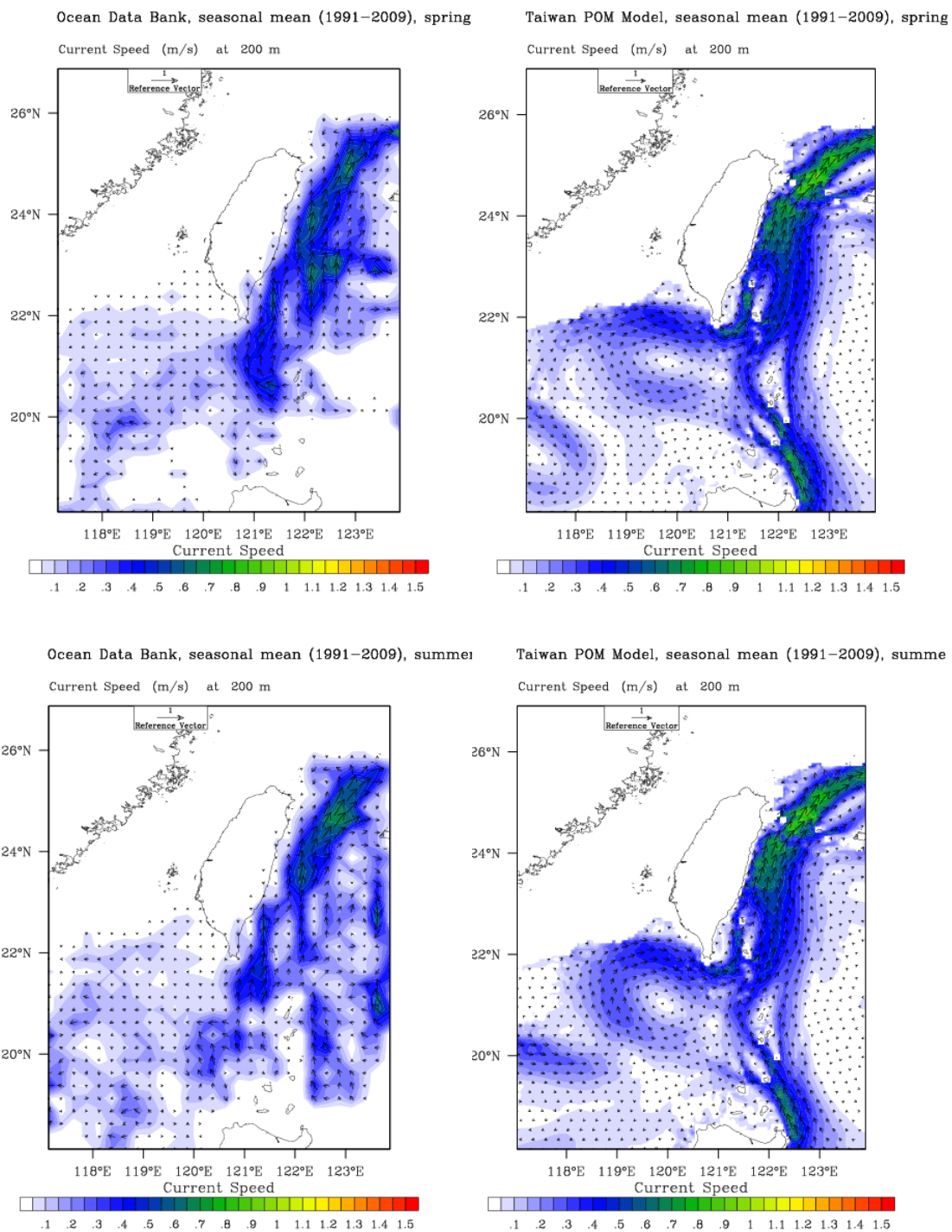


圖 4-14 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏季平均流速流向比較圖 (水深 200 公尺)



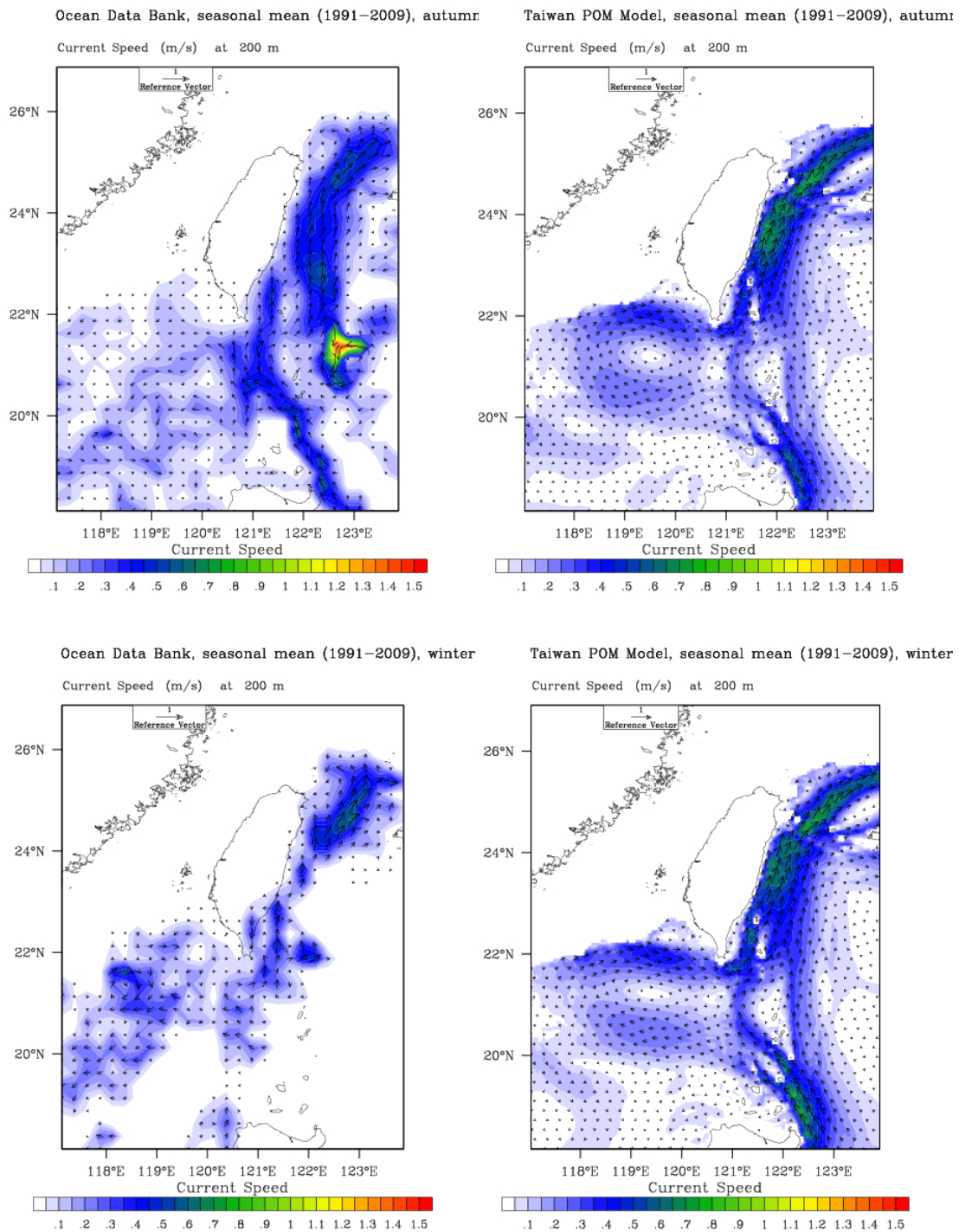


圖 4-15 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之秋、冬季平均流速流向比較圖 (水深 200 公尺)

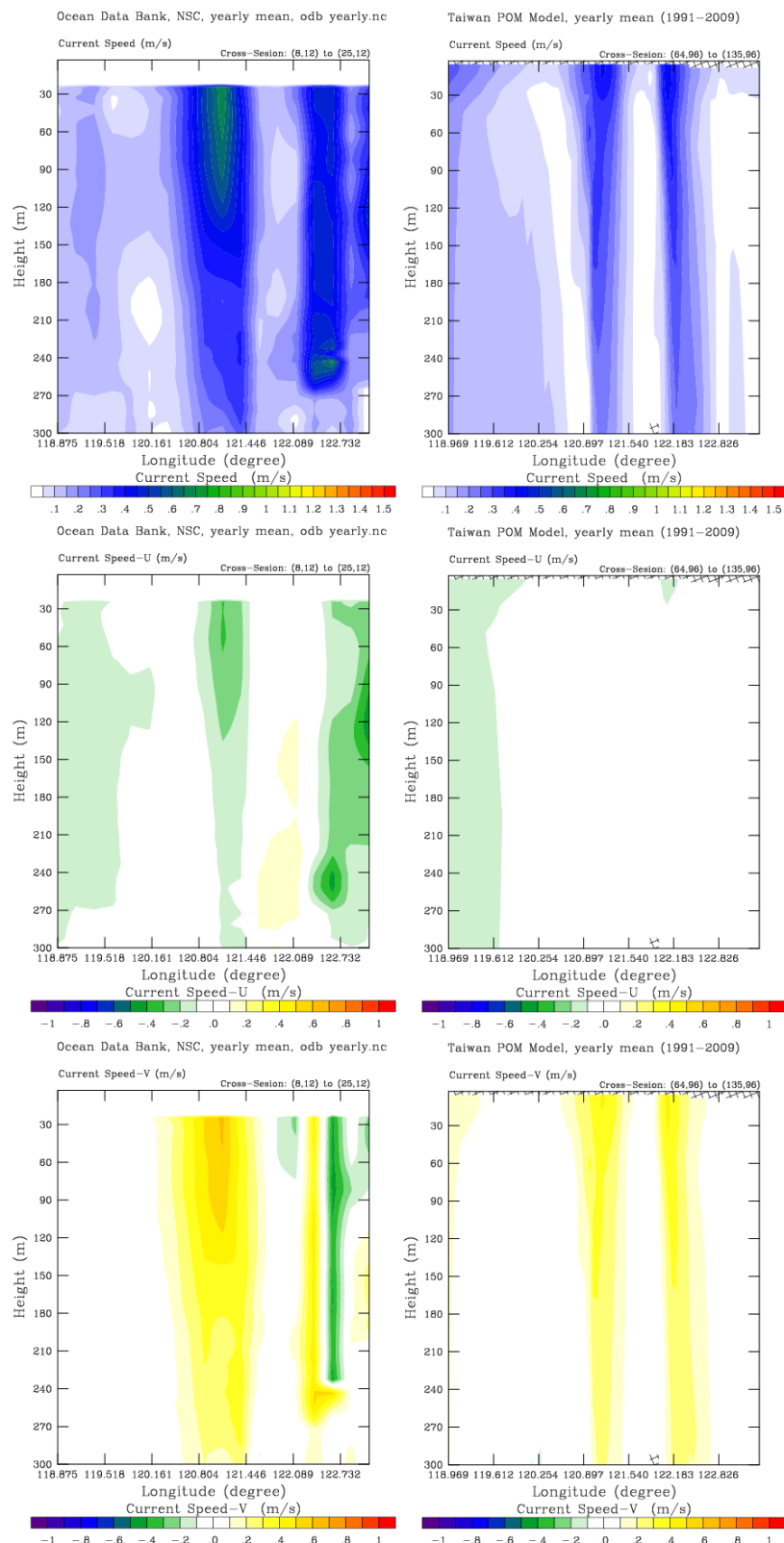


圖 4-16 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果通過 21.0N 斷面之年平均流速分布比較圖

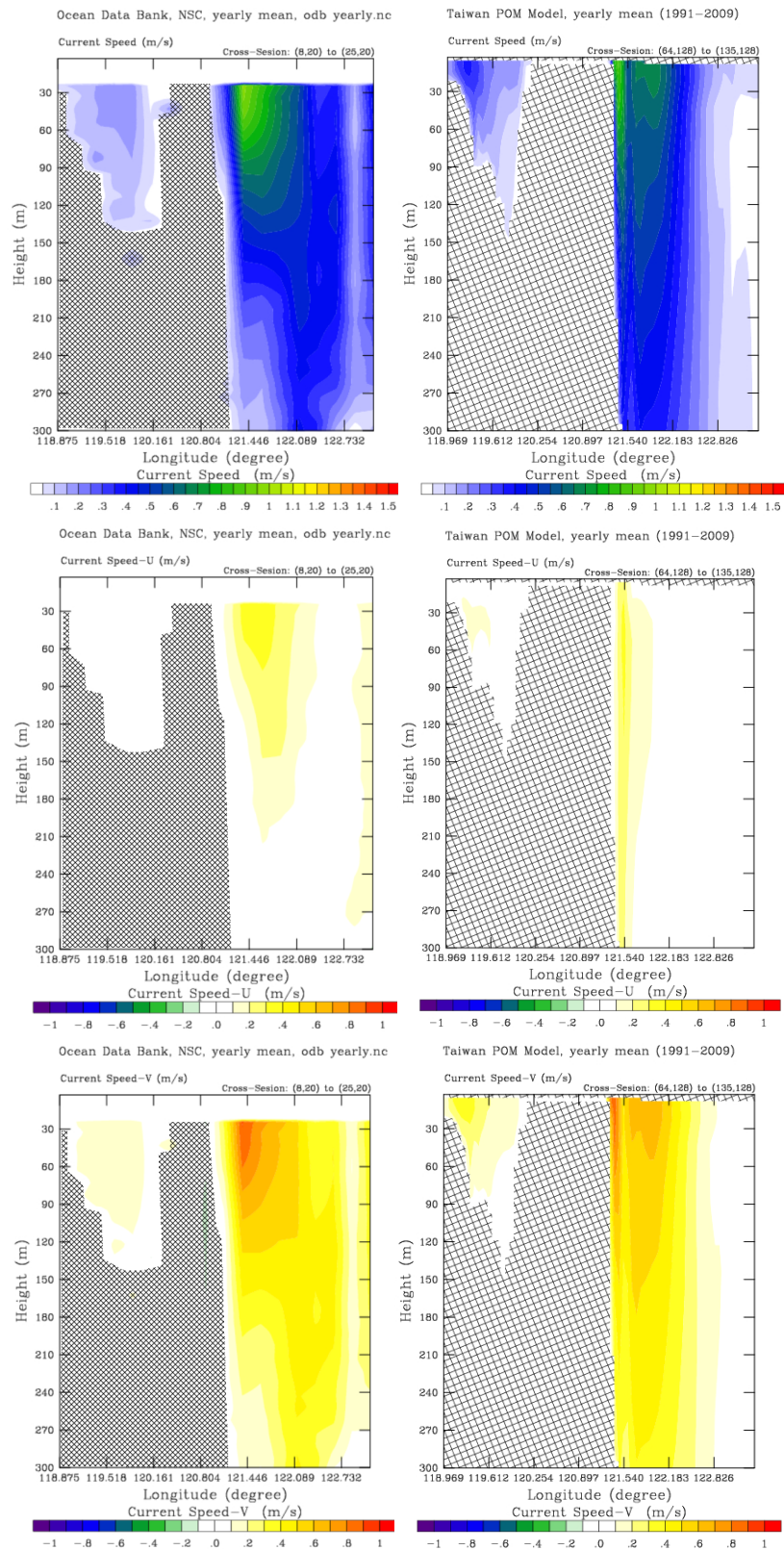


圖 4-17 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果通過 23.0N 斷面之年平均流速分布比較圖



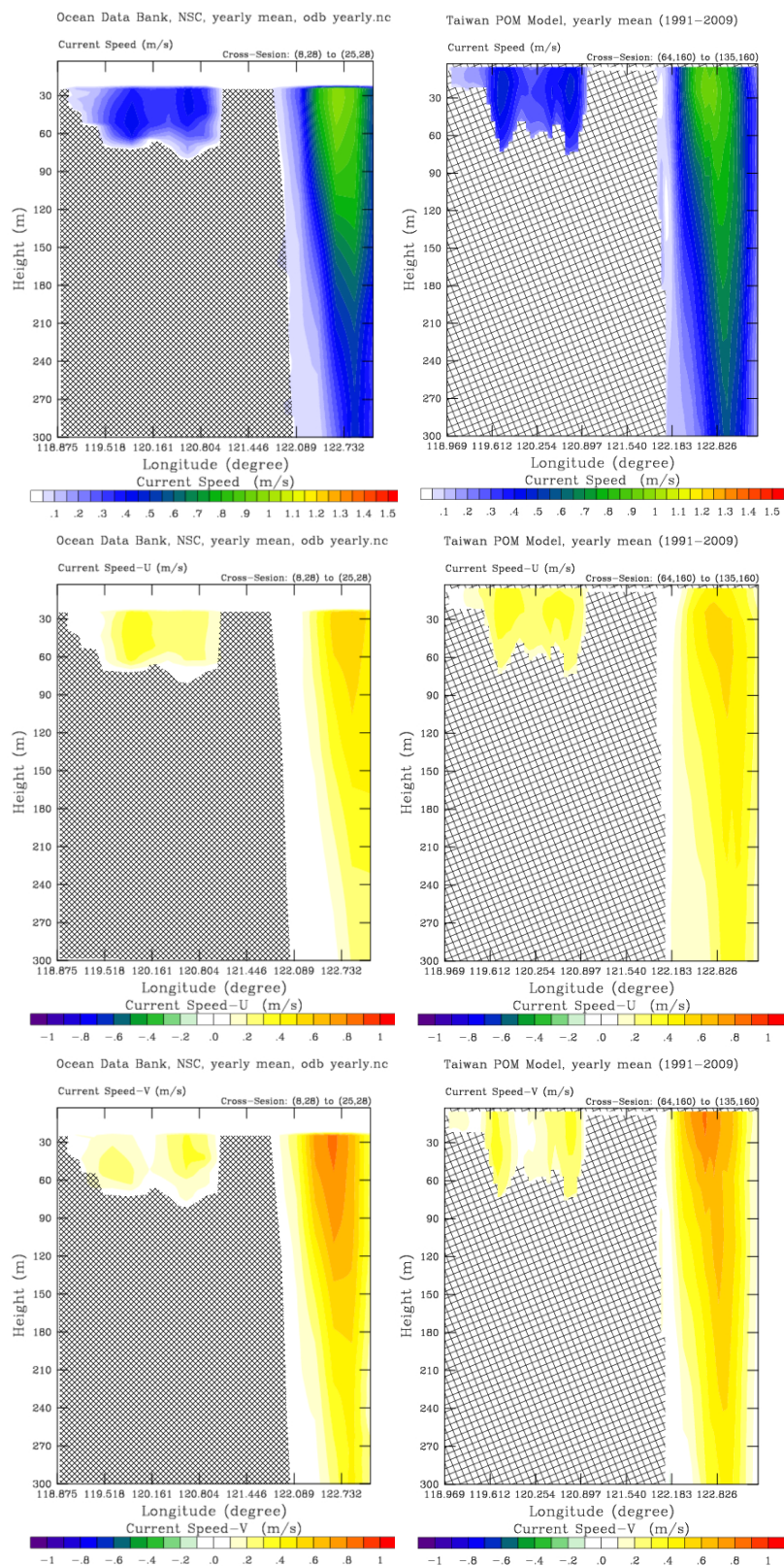


圖 4-18 國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果通過 25.0N 斷面之年平均流速分布比較圖

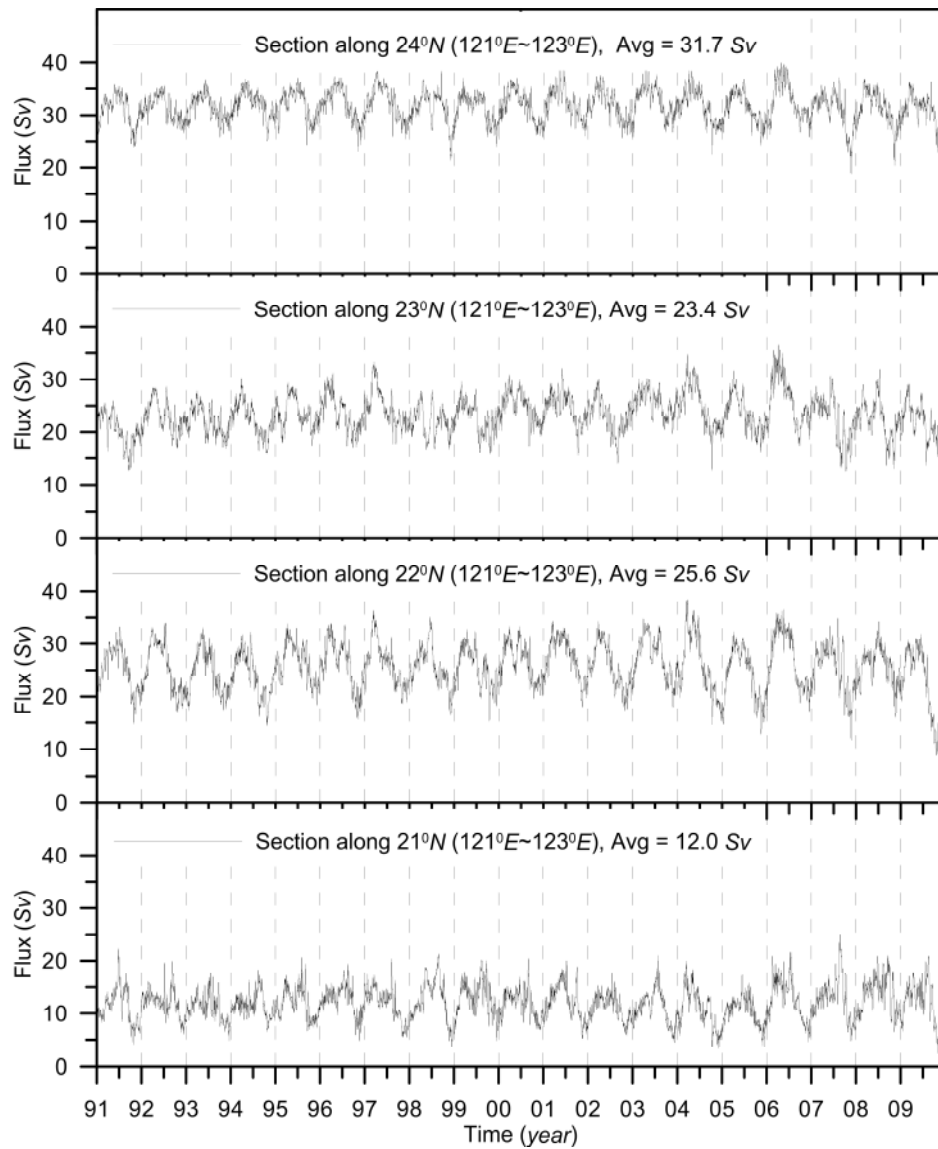


圖 4-19 台灣東部海域斷面之月平均流量變化圖

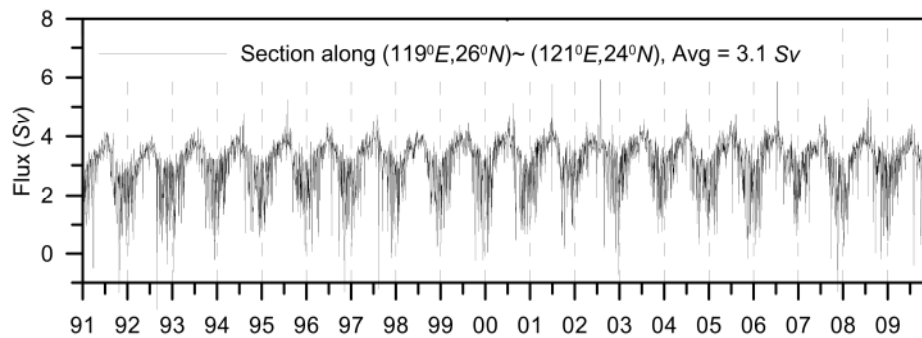


圖 4-20 台灣海峽斷面之月平均流量變化圖

#### 4.5 東部海域深層海水物理溫鹽特性探討分析

圖 4-21 分別為水深 20、100 及 300 公尺處，T3-1 模式結果與海洋水文資料庫實測值之平面溫度鹽度深度比較圖，其模式為 1991 至 2009 年之年平均結果，圖中左側為海洋水文資料庫之實測值分析結果，右側為 T3-1 模式結果。對照圖中可知，溫度於不同深度處之分布具有一致性，但台灣東部海域模式溫度值結果略小於實測值。在鹽度分布上亦具有一致性，但深度 300 公尺之模式鹽度值略小於資料庫結果。觀察模式結果，於呂宋海峽處因為黑潮套流現象所產生溫鹽度產生較高之現象，應為黑潮支流所挾帶所顯現之現象。

圖 4-22 分別為北緯 21 度、23 度及 25 度處約為垂直黑潮流向之深度垂直斷面的年平均鹽度分佈圖，而圖中左側為海洋水文資料庫之實測值分析結果，右側為 T3-1 模式由 1991 至 2009 年之平均結果。由圖中可知，模式之鹽度值略小於水文資料庫 0.1~0.2PSU，且水文資料庫之結果於海面上有略小值出現，模式並未出現此一現象。由於模式之鹽度起始值為 WOA05 之年平均鹽度值，模式開始積分後並未對於鹽度進行任何校正或同化步驟，故可能造成鹽度值略有誤差出現，此外模式中並未考慮海洋蒸發與大氣降雨效應，亦可能造成鹽度分布誤差的來源。

圖 4-23 分別為北緯 21 度、23 度及 25 度處約為垂直黑潮流向之深度垂直斷面的年平均溫度分佈圖，而圖中左側為海洋水文資料庫之實測值分析結果，右側為 T3-1 模式由 1991 至 2009 年之平均結果。由圖中可知，兩者間之溫度分布具有合理之一致性。因為模式中海面邊界條件直接給定 NOAA OI 週平均海面溫度場，本計畫模式可重現溫度垂直分布的合理性。

圖 4-24 與圖 4-25 分別為台灣東部海域(121.75E, 24N)處之月平均溫度與鹽度時序列圖，該點位於花蓮市東方約 10 公里處。由圖中時序

列變化看來，台灣東部花蓮外海溫鹽度與上節所述之黑潮流量關係密切，20 米深度之溫度於夏秋之間出現最高值約為  $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ ，隨著深度增加，月平均最高溫度則略晚出現於秋季，至 500 米深度以下溫度月季變化則趨於不明顯。而鹽度變化方面，表面鹽度變化於黑潮流量最低之秋冬時節為最高，至水深 50 米深以下鹽度變化則趨於不明顯。由圖 4-24 之 20 至 200 公尺深度之不同深度溫度變化看來，由 1991 至 2009 年之月平均溫度變化似乎僅有季節上的變化，並沒有逐年上升或下降的趨勢。而深度 500 米以下之溫度有逐年下降的趨勢，雖然下降幅度並不大，但此現象是否合理則需要更多資料來進行驗證。

綜合以上，利用國科會海洋資料庫之海流與水文資料的驗證下，模式於海流特性、海洋溫鹽度之年、季分布與特性均具有合理之一致性，但鹽度值略有偏小之現象。據此可知，本計畫利用 POM 模式配合巢狀格網方式，可重現台灣海域之海流、溫鹽度等物理特性，故本計畫所建置之洋流模式應可作為後續台灣海域洋流模擬研究之有效工具。

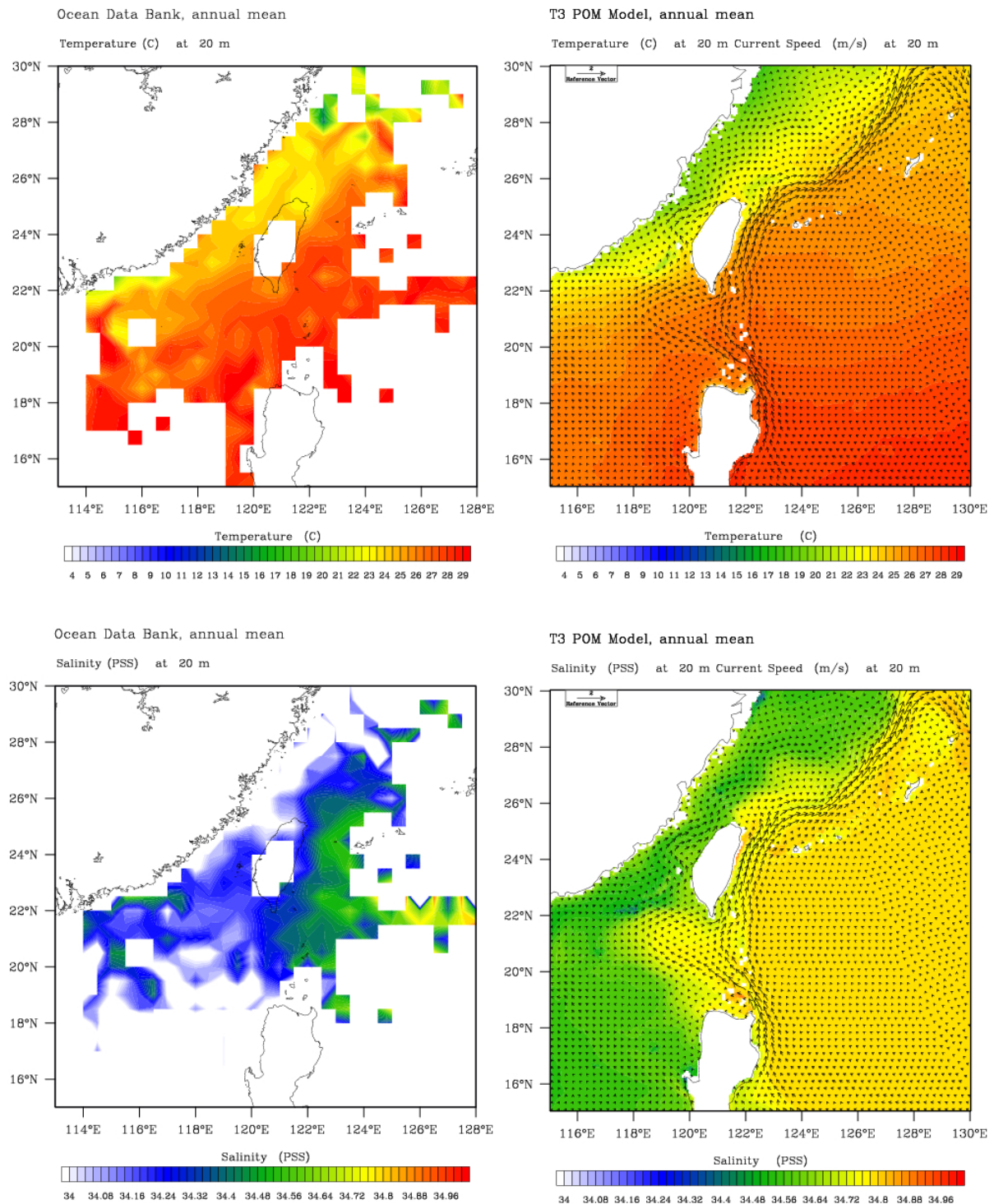


圖 4-21 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果之年平均溫度鹽度比較圖(上側：溫度；下側：鹽度；水深 20 公尺)



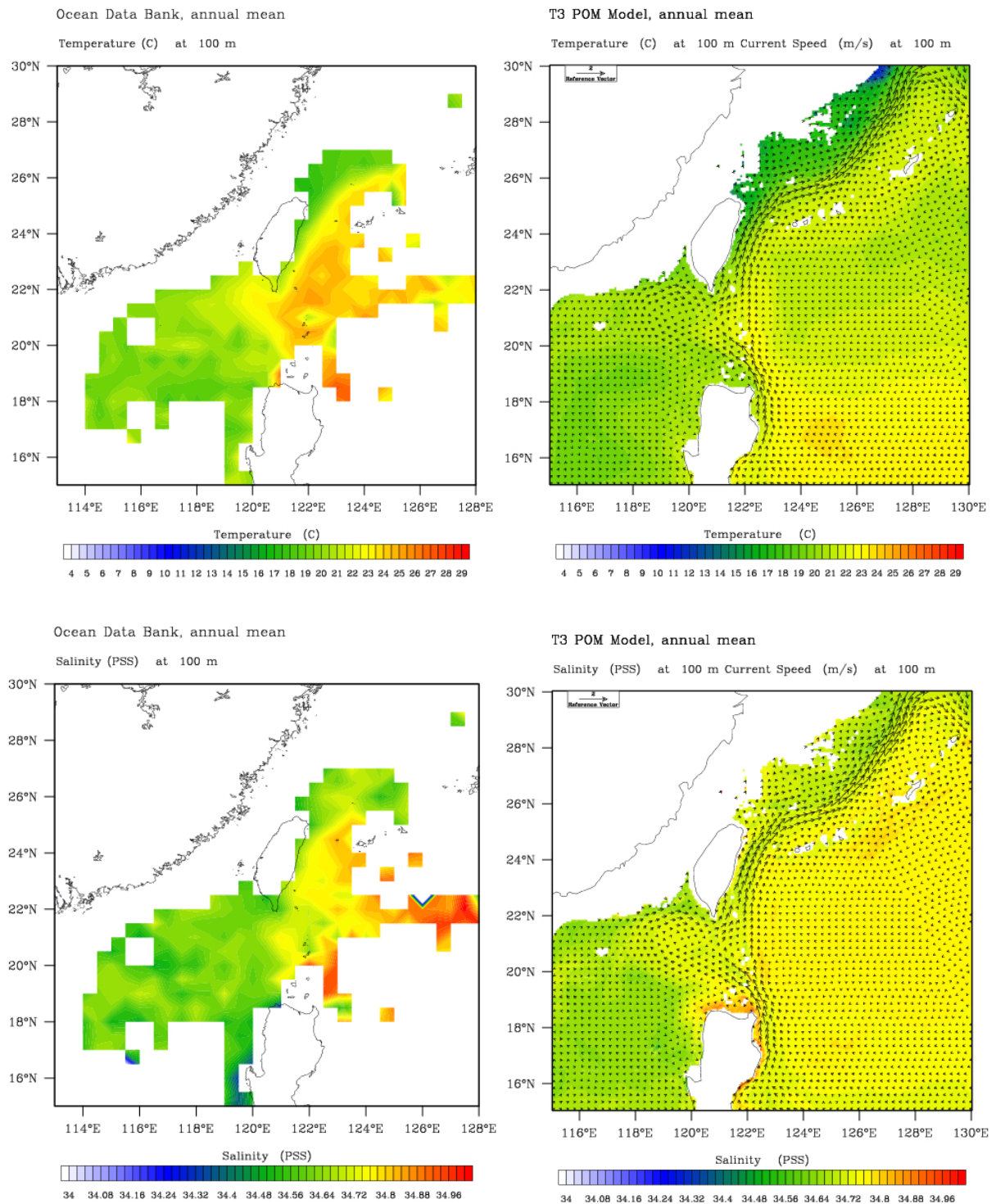


圖 4-21(續) 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果之年平均溫度鹽度比較圖(上側：溫度；下側：鹽度；水深 100 公尺)

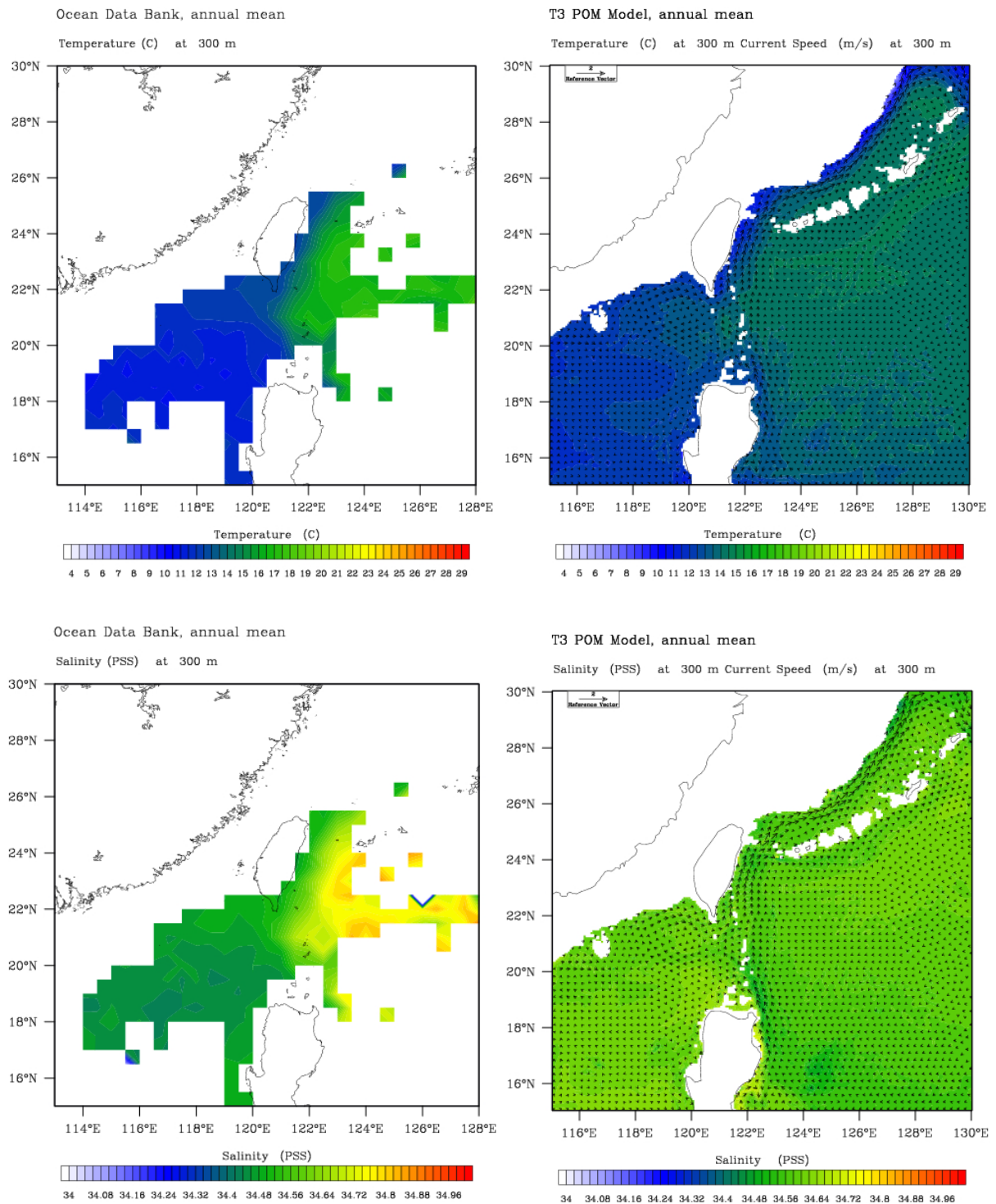


圖 4-21(續) 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果之年平均溫度鹽度比較圖(上側：溫度；下側：鹽度；水深 300 公尺)

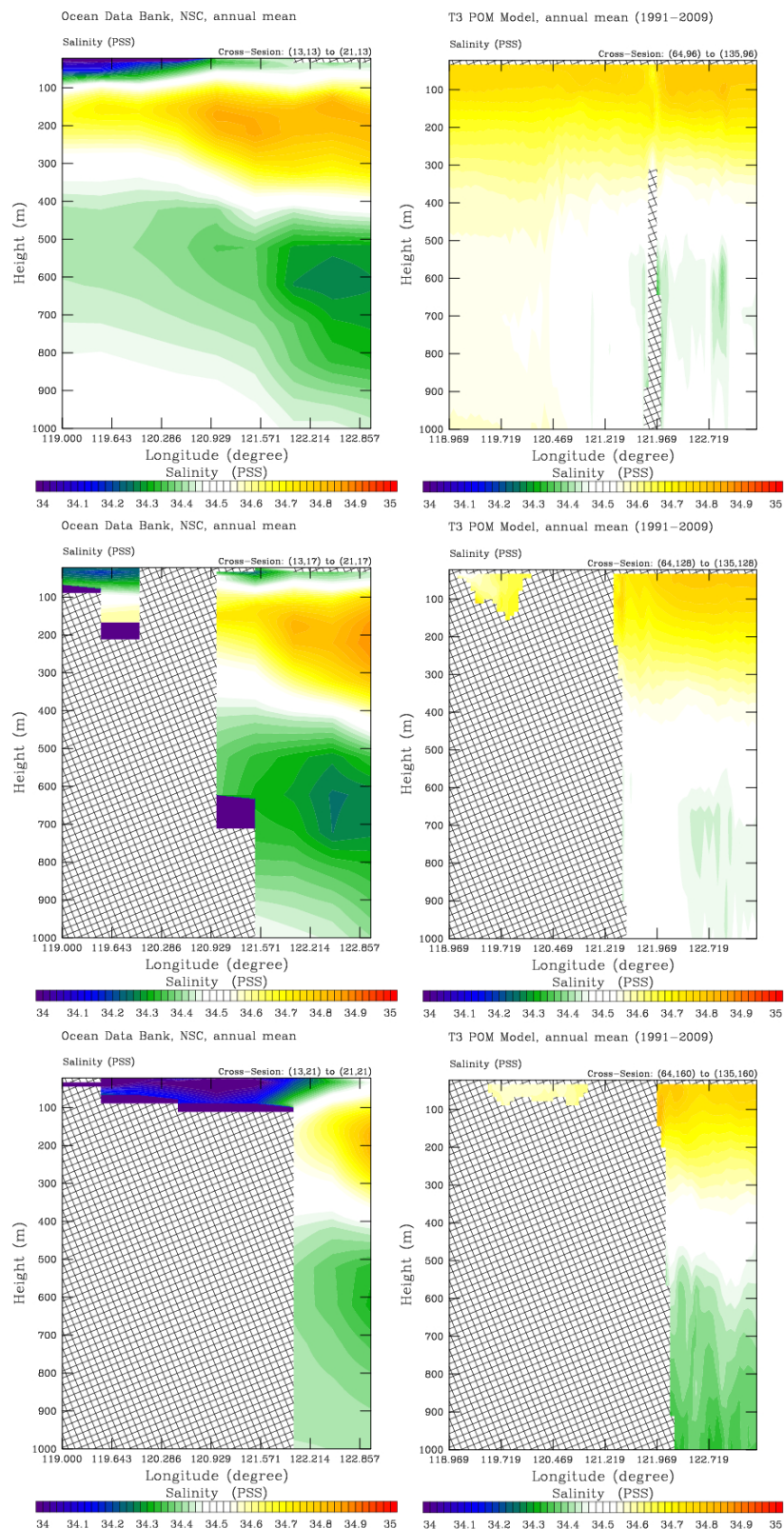


圖 4-22 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果通過 21.0N、23N 及 25N 斷面之年平均鹽度分布比較圖



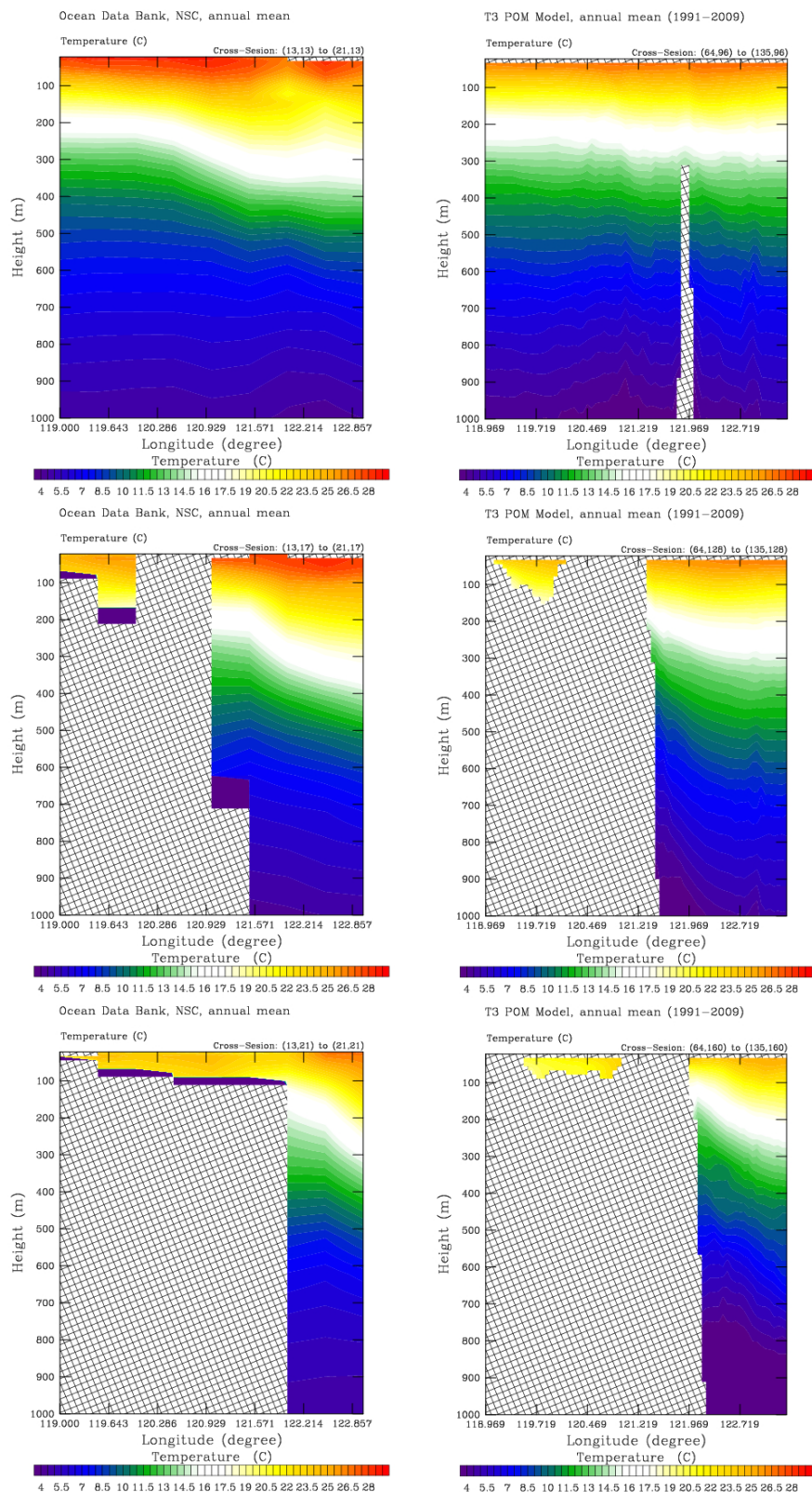


圖 4-23 國科會海洋學門海洋水文資料庫與台灣海域模式結果通過 21.0N、23N 及 25N 斷面之年平均溫度分布比較圖

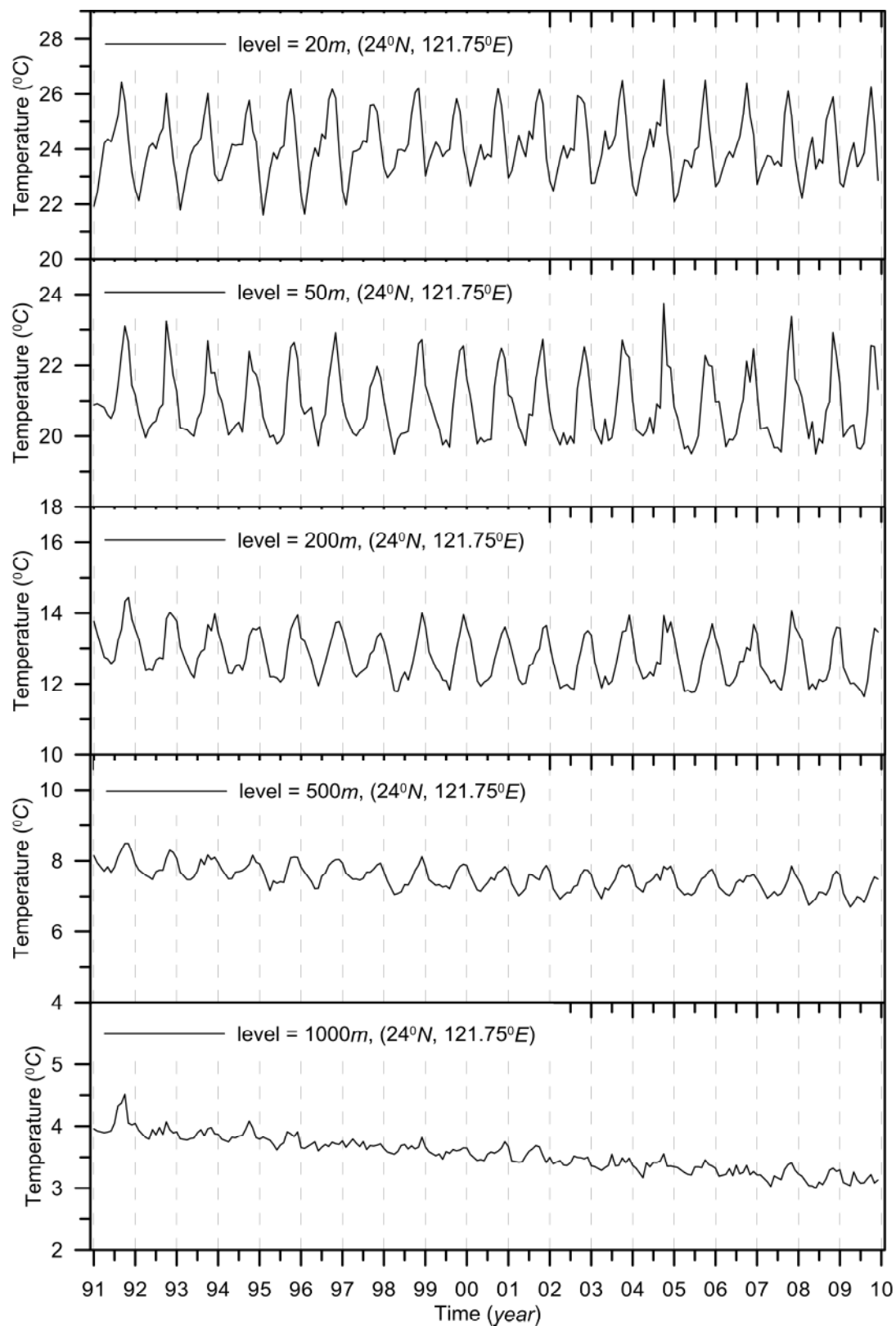


圖 4-24 台灣東部海域(121.75E,24N)處之月平均溫度時序列圖(點位於  
花蓮市外海 10 公里處)

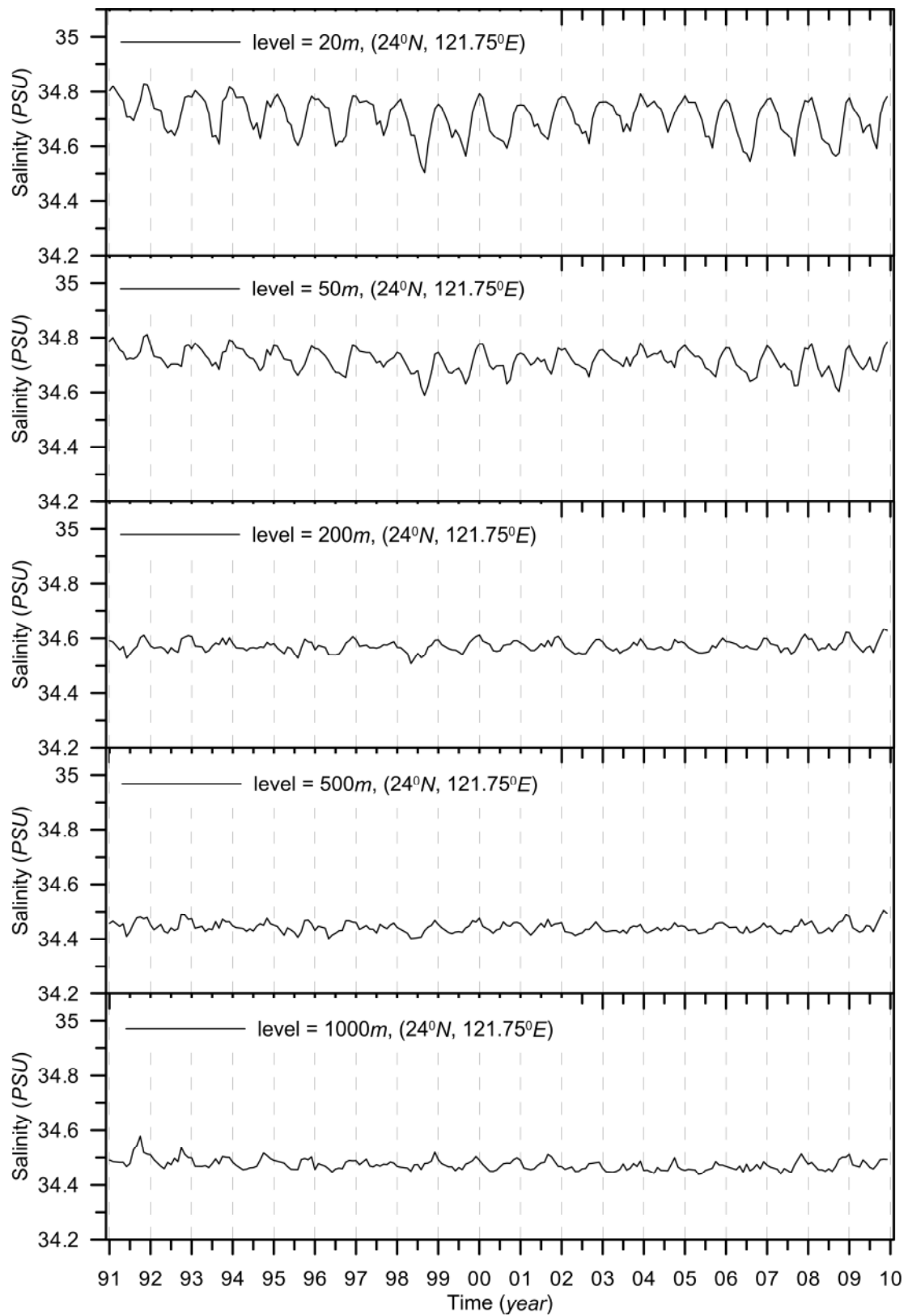


圖 4-25 台灣東部海域(121.75E,24N)處之月平均鹽度時序列圖(點位於花蓮市外海 10 公里處)

## 4.6 台灣海域質點追蹤系統之建立與驗證

浮標追蹤是根據海流流速大小與產生之拖曳力成正比之關係來量測海流，利用浮標上所裝載的無線電或衛星發報器，回傳浮球上儀器所量測到的資訊，常用於了解海流分佈。

為了進行浮標追蹤模擬，本計畫收集國際表面浮標計畫中之浮標追蹤資料庫，其計畫主要是由美國邁阿密的大西洋海洋與氣象實驗室 (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, AOML) 與加拿大國家海洋數據中心 (Responsible National Oceanographic Data Centre, RNODC) 中的綜合科學數據管理 (Integrated Science Data Management, ISDM) 在進行數據收集與整理。在主要程序中，AOML 初步處理由 ARGOS 計畫所收到的浮標回傳數據，進行數據品質控制和插值生成。而每 6 個月，由 AOML 整理之數據傳送給 ISDM 中心進行資料存檔和分佈。而 ISDM 中心每天也處理由全球服務 ARGOS 和 JCOMM (Joint Commission on Oceanography and Marine Meteorology) 所傳送的浮標數據資料，在此計畫架構下，ISDM 每個月處理更新將近超過 10 萬筆的漂流浮標數據。

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

圖 4-26 為浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖，圖中黑色實心圓點為編號 2118798 浮標軌跡資料，起始時間為 2000 年 9 月 1 日 0 時，浮標位置為東經 122.936 度、北緯 19.745 度，即在呂宋島北方海面。利用 2.6 節所述之浮標追蹤軌跡計算方式，配合模式每天所輸出的海面流速流向資料進行浮標軌跡的計算，模式浮標追蹤時間間隔為 6 小時，表示 6

小時內之模式浮標速度與方向保持一定。圖中空心圓點為利用 N2-1(西北太平洋)模式模擬結果進行浮標位置的推算之軌跡，而空心方形點為利用 N2-1 與 T3-1(台灣海域)模式結果進行巢狀推算，即浮標進入圖中虛線方框(T3 模式計算範圍)內時則利用 T3-1 模式所模擬之表面流速流向進行積分，超過虛線方框則採用 N2-1 模式結果進行軌跡推算。由圖中結果可知，僅使用 N2-1 模式結果所計算的浮標追蹤軌跡於呂宋海峽與琉球群島附近皆明顯偏離實際浮標位置，由於該浮標順著 N2-1 模式之黑潮套流於台灣西南海域順時針旋轉移動，故時間與位置於模擬初期即明顯偏離實際浮標。而採用 N2-1 與 T3-1 模式巢狀結果之浮標，於浮標追蹤初期使用較高格網解析度之 T3-1 模式結果，故所得之軌跡亦較為接近實際浮標。比較方形與圓點軌跡，兩者於方框中具有的一致性，待浮標位置脫離方框之後則模擬浮標慢慢偏離實際浮標軌跡。

圖 4-27 與圖 4-28 分別為同一時間點模擬與實際浮標之經度與緯度座標值之時序列圖，由圖中可知，N2-1 與 T3-1 模式浮標位置從 2000/9/1 至 2000/11/10 與實際浮標位置具有一致性，2000/11/10 之後由於脫離 T3 格網範圍則座標差距越來越大，而 N2-1 模式浮標約在 2000/9/5，即 5 天後則偏離實際浮標位置。

圖 4-29 為 2006 年 5 月 19 日內一系列之浮標追蹤結果，由上而下由左而右分別為編號 63200、62302、62303、62304、62305 及 62309 之浮標追蹤結果，由圖中結果可發現，這一系列浮標起始位置從台灣東部約為黑潮流經海域開始施放至菲律賓呂宋島北部海域，大部分的浮標沿台灣東部海域經琉球北部向北流至日本南方海域，而沿黑潮流動之浮標於 T3 模式範圍內皆可合理的預測。但編號 63205 浮標之實測值卻往西流進南海海域，編號 63200 浮標之模式結果先向南流動後再沿黑潮向北流動，由此兩編號浮標可知部分海域之流動特性可能存有誤差。而根據合理的浮標追蹤結果推斷，不論是黑潮流動方向與流速於 T3 模式範圍內亦可合理模擬黑潮流動定量特性。

圖 4-30 為 2007 年之浮標追蹤結果，由上而下由左而右分別為編號 71337、71347、63088、71351、71338 及 63190 之浮標追蹤結果，此一



系列浮標施放位置皆位於台灣海峽，而浮標流動方向亦向北移動，而透過模式模擬結果所推算之浮標位置亦可合理模擬，表示本計畫之模式亦可合理掌握台灣海峽內之海流特性。

綜合以上結果，若要進行浮標追蹤模擬，高時空解析度的模式結果是必須的。透過不同位置所施放之浮標追蹤軌跡的模擬亦顯示，本計畫所建置的 POM 洋流模式具有定性定量上的可信度。

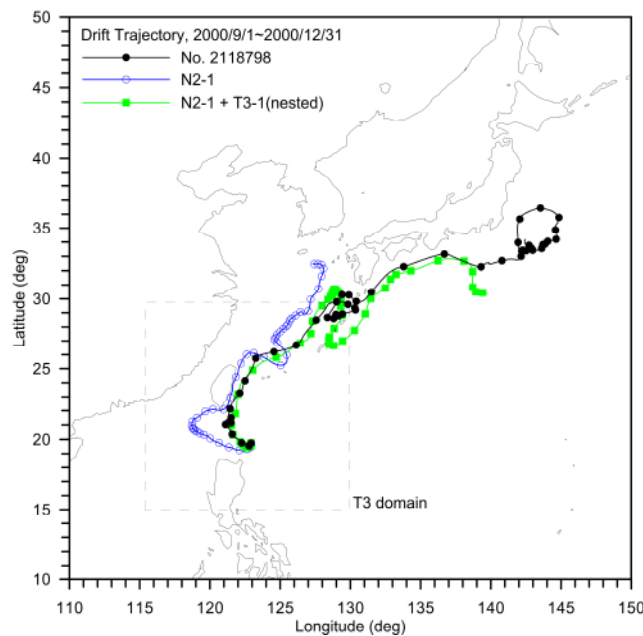


圖 4-26 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(No. 2118798)

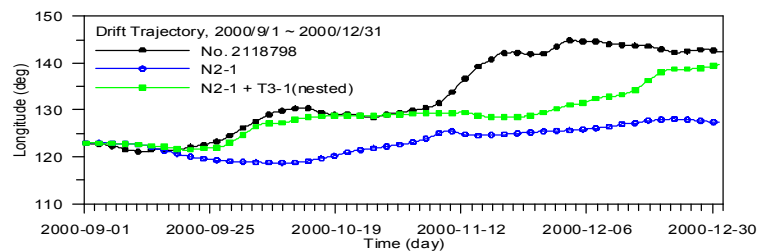


圖 4-27 浮標經度位置比較圖(No. 2118798)

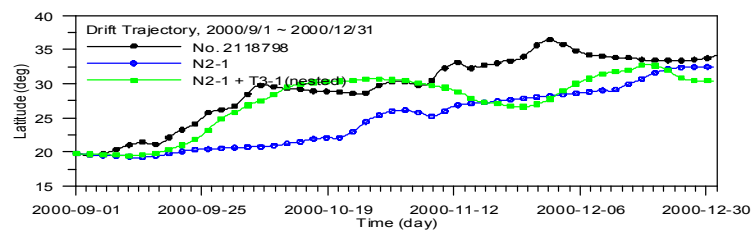


圖 4-28 浮標緯度位置比較圖(No. 2118798)

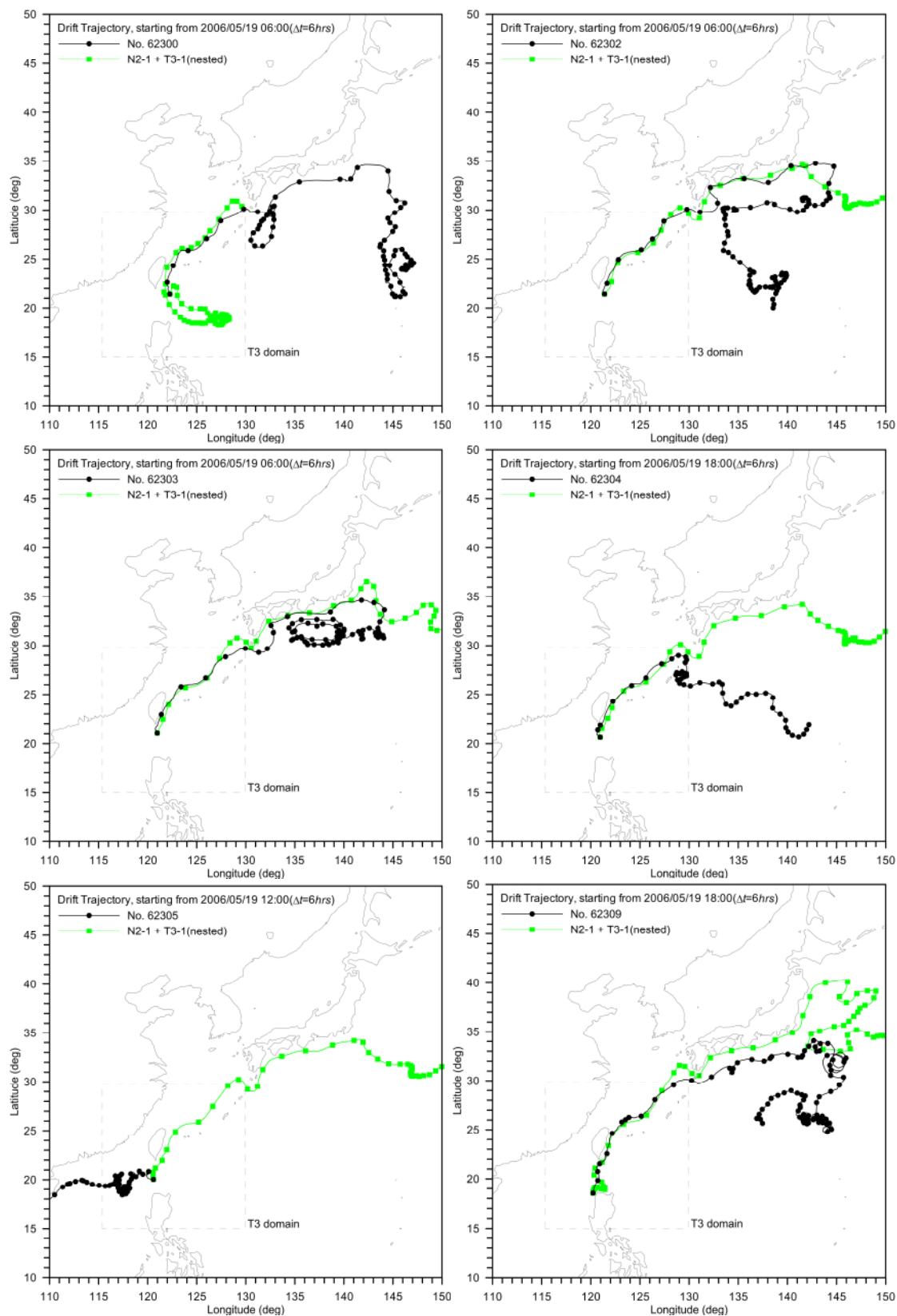


圖 4-29 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2006 年)

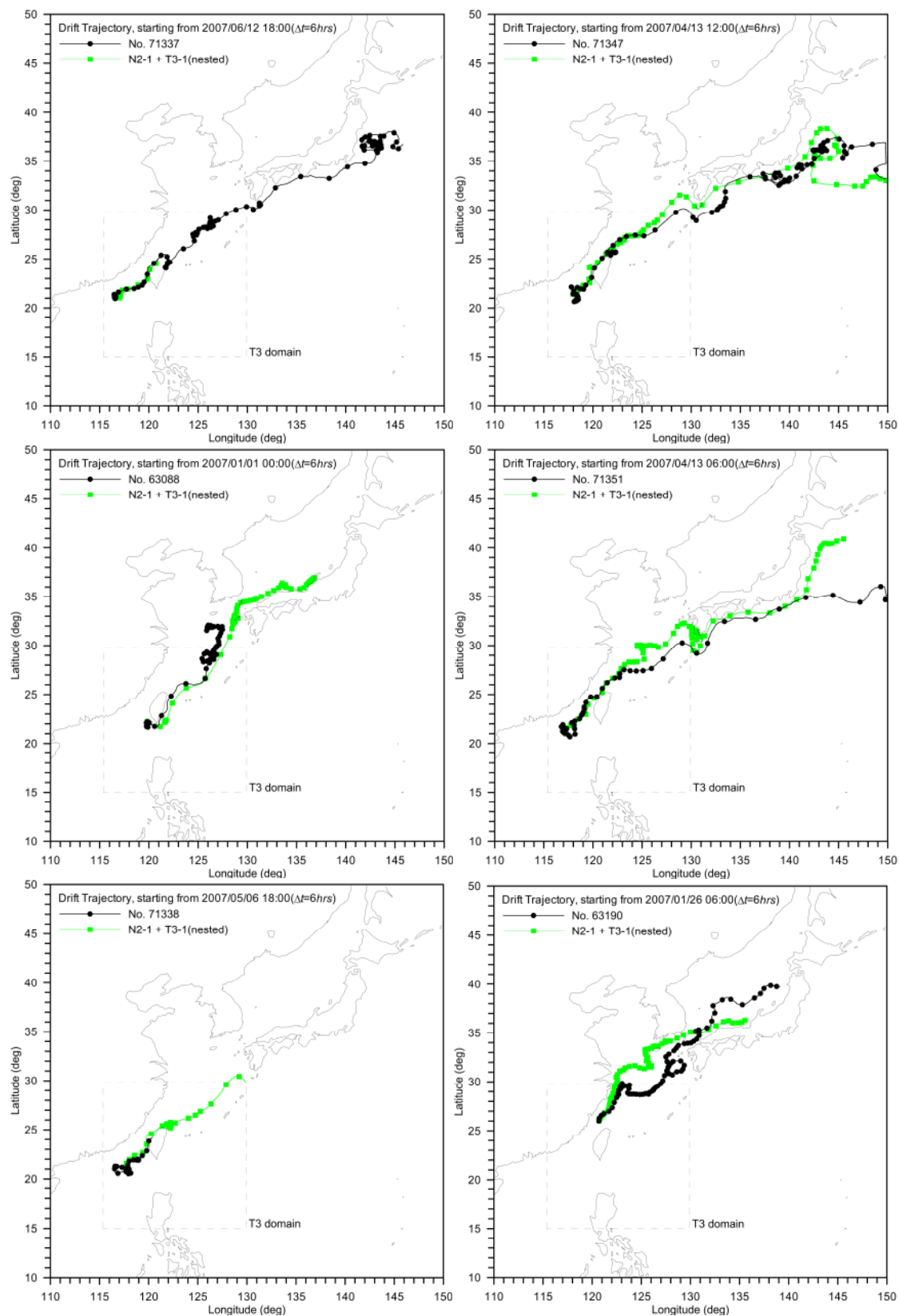


圖 4-30 浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2007 年)

#### 4.7 以現場錨碇海流時序列資料驗證

本計畫承蒙台灣大學海洋研究所唐存勇教授提供台灣東部及台灣海峽內之錨碇海流實測資料，其實測資料以 ADCP 儀器進行不同深度之海流量測，其資料取樣頻率為 1 小時，本計畫所獲得資料測站位置、水深及時間如表 4-4 中所示，而圖 4-31 為台灣周遭海域曾經進行錨碇量測海流之位置圖(圖片來源：國科會海洋學門海洋資料庫網頁)。

圖 4-32 為 K2-1 錨碇海流測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖(2001/10~2002/05)，圖中由上而下分別為流速、流向及流矢之比較圖，實線為模式結果，虛線為實測值，而實測值之測量時間間距為 1 小時，而模式時間間距為 1 日，圖中則皆以日平均值繪製時序列變化圖。由流速比較結果，雖流速並未完全吻合，但其流速大小與流向仍具有合理一致性，兩者流速大小尺度接近約為每秒 0.7~1.0 公尺，且量測時間內流向為北北東，流向穩定並未有週期性變化。圖 4-33 為 K2-2 錨碇海流測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖(2002/04~2002/09)，由圖中可見模式之流速大小與實測值差距較大，但流向仍具有合理性。圖 4-34 與 4-35 分別為 K3-1(2001/10~2002/04)與 K3-2(2002/04~2002/09)錨碇海流測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖，由於 K2 與 K3 觀測點皆位於台灣東部海域，而 K3 之比較結果亦與 K2-1 與 K2-2 測站特性相近，表示台灣東部海域之海流流速大小雖未能準確預測，但其尺度仍相當接近，100 公尺深度處之流速約為每秒 0.7~1.0 公尺之間，200 公尺深度處之流速約為每秒 0.5 公尺，而流向之比較則具一致性。

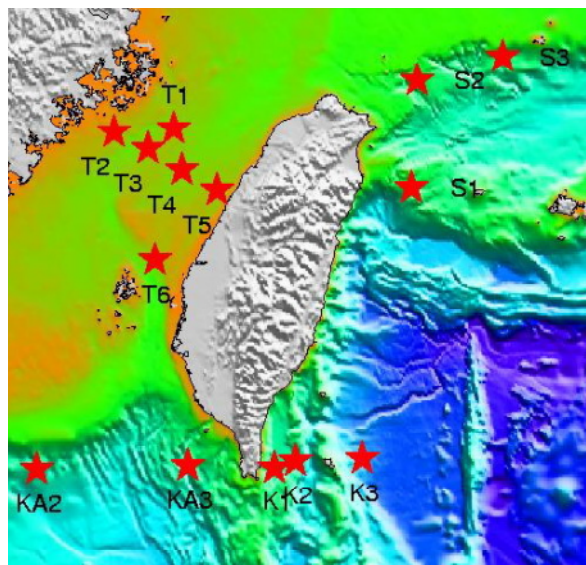
圖 4-36 與圖 4-37 分別為 T4-1(2001/10~2002/04)與 T4-2(2002/04~2002/09)錨碇海流測點與 T3-1 模式於 20 米、50 米處之海流比較圖，而 T4 觀測點位於台灣海峽北部，由圖中實測資料可看出，由於模式僅考慮海流變動且時間間距為 1 日，故不能表現出潮流現象之週期性變化。但由圖中可看出模式值與實測值之長時間變化趨勢一致，實測值於 T4-1 量測時間段 20 與 50 米深度處之平均流速皆約為每秒 0.22 公尺，

而模式之平均值為每秒 0.3 公尺，表示模式之模擬具有合理性。而 T4-2 量測時間段之實測值平均為每秒 0.23 公尺，模式值平均為每秒 0.38 公尺。

由以上錨碇海流實測資料之驗證，不論是台灣東部海域或台灣海峽，模式雖未能準確模擬其觀測點位之流速變化，但其流速大小尺度並未嚴重偏差仍具有合理性，亦可表示本計畫所建立之模式具有合理模擬台灣附近海域之能力。

**表 4-4 錨碇海流測站之基本資料**

點位	位置	水深(公尺)	量測起迄時間
K2-1	121°14.20' E, 22°04.66' N	1276	2001/10/20 00:00 2002/04/09 06:00
K2-2	121°13.41' E, 22°03.92' N	1233	2002/04/10 12:00 2002/09/25 12:00
K3-1	121°52.42' E, 22°05.71' N	4232	2001/10/20 06:00 2002/04/08 10:00
K3-2	121°51.80' E, 22°05.66' N	4224	2002/04/11 00:00 2002/09/25 06:00
T4-1	120°07.88' E, 24°38.97' N	68	2000/11/11 13:00 2001/02/06 15:00
T4-2	120°07.69' E, 24°38.73' N	68	2001/08/14 08:00 2001/11/13 10:00



**圖 4-31 台灣附近海域錨碇海流測點位置圖(圖片來源：國科會海洋學門海洋資料庫網頁)**

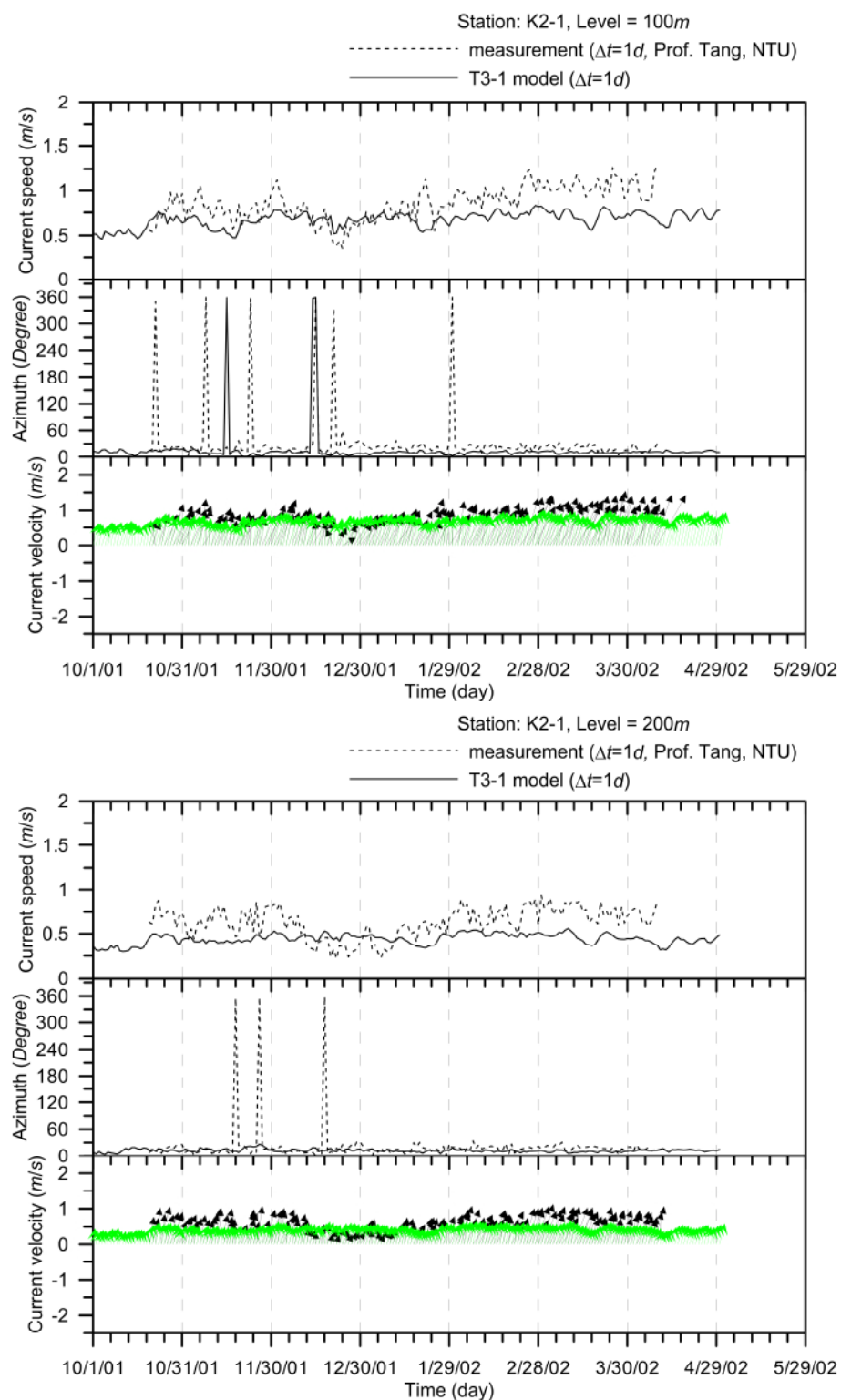


圖 4-32 錨碇海流 K2-1 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖(2001/10~2002/05)

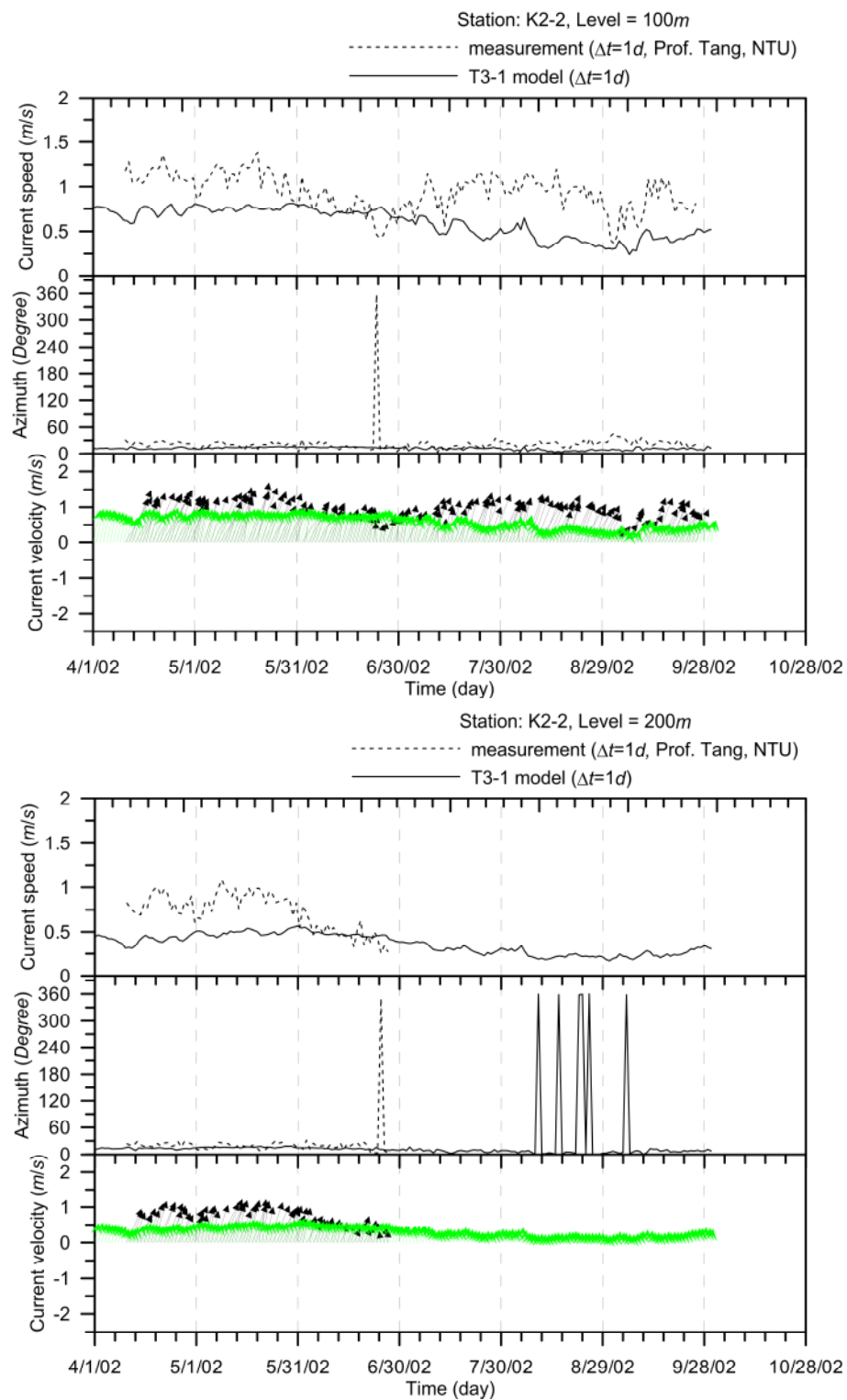


圖 4-33 錨碇海流 K2-2 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖(2002/04~2002/10)



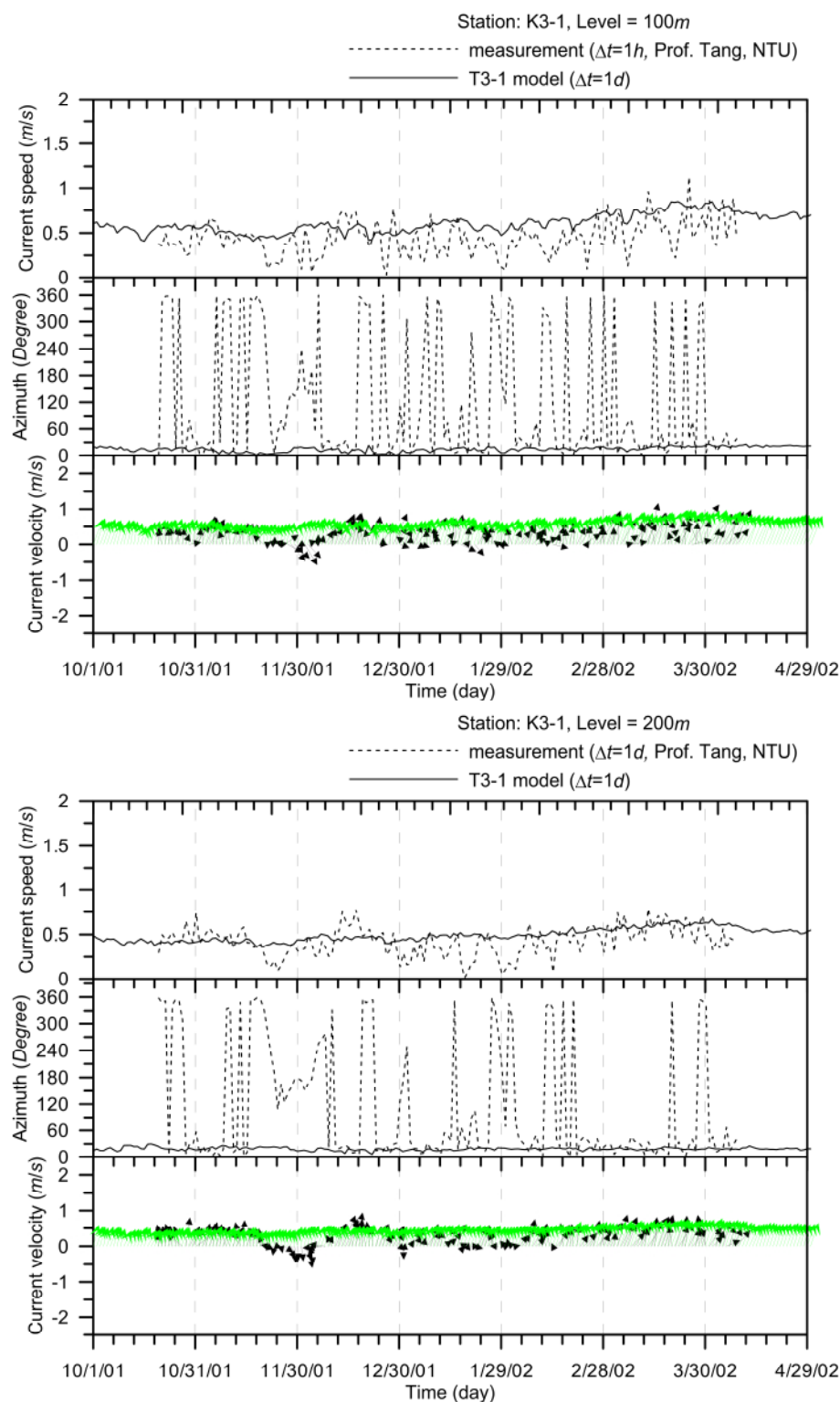


圖 4-34 錨碇海流 K3-1 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖(2001/10~2002/04)



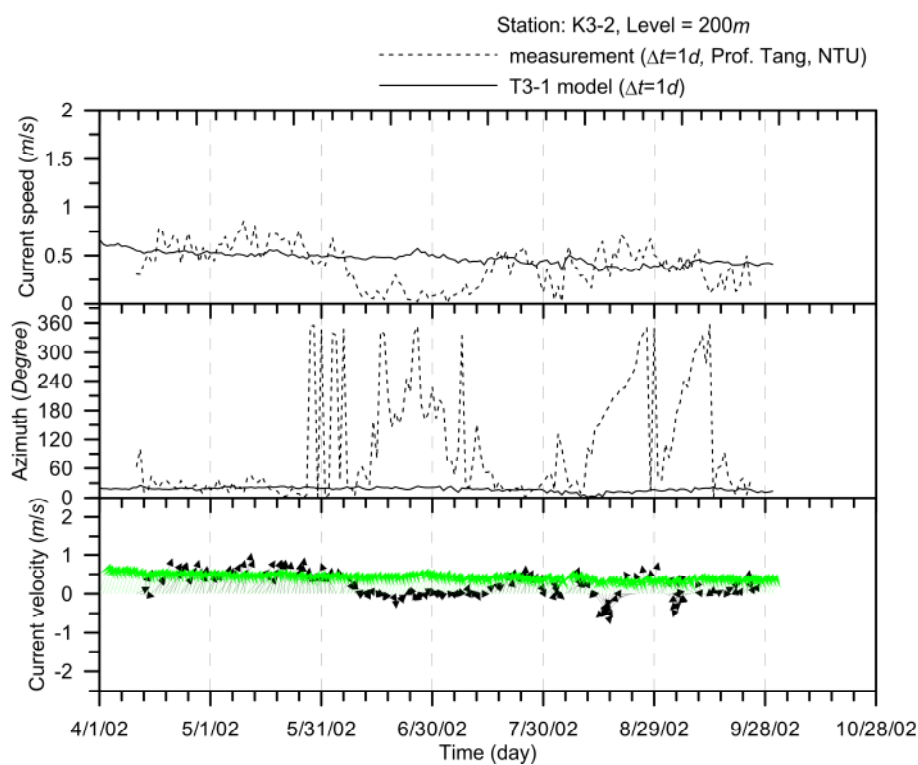
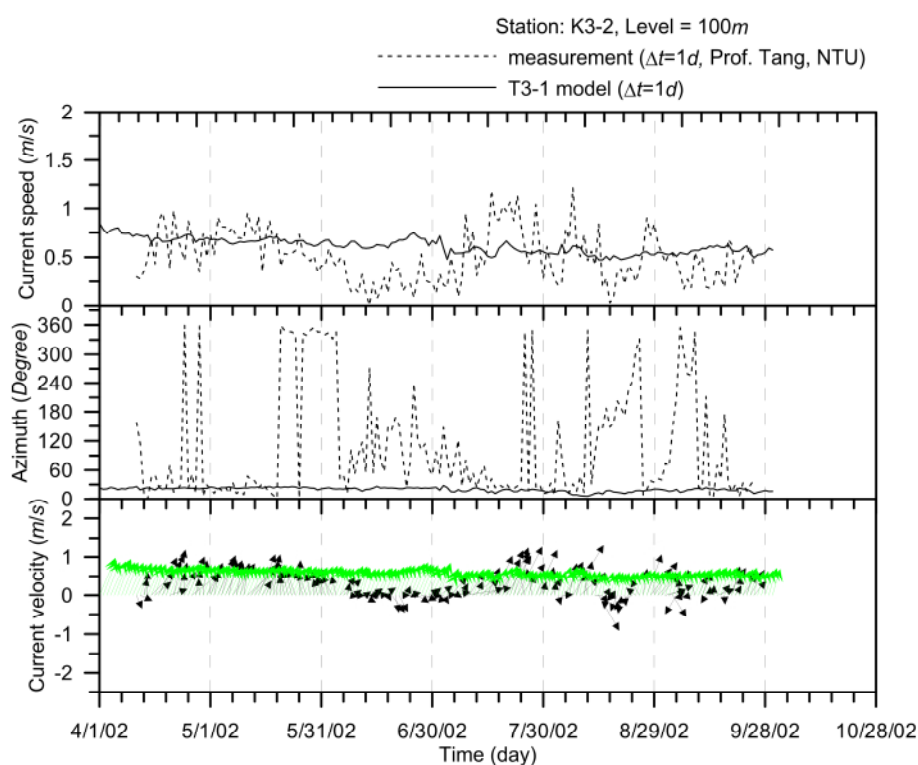


圖 4-35 錨碇海流 K3-2 測點與 T3-1 模式於 100 米、200 米處之海流比較圖(2002/04~2002/09)

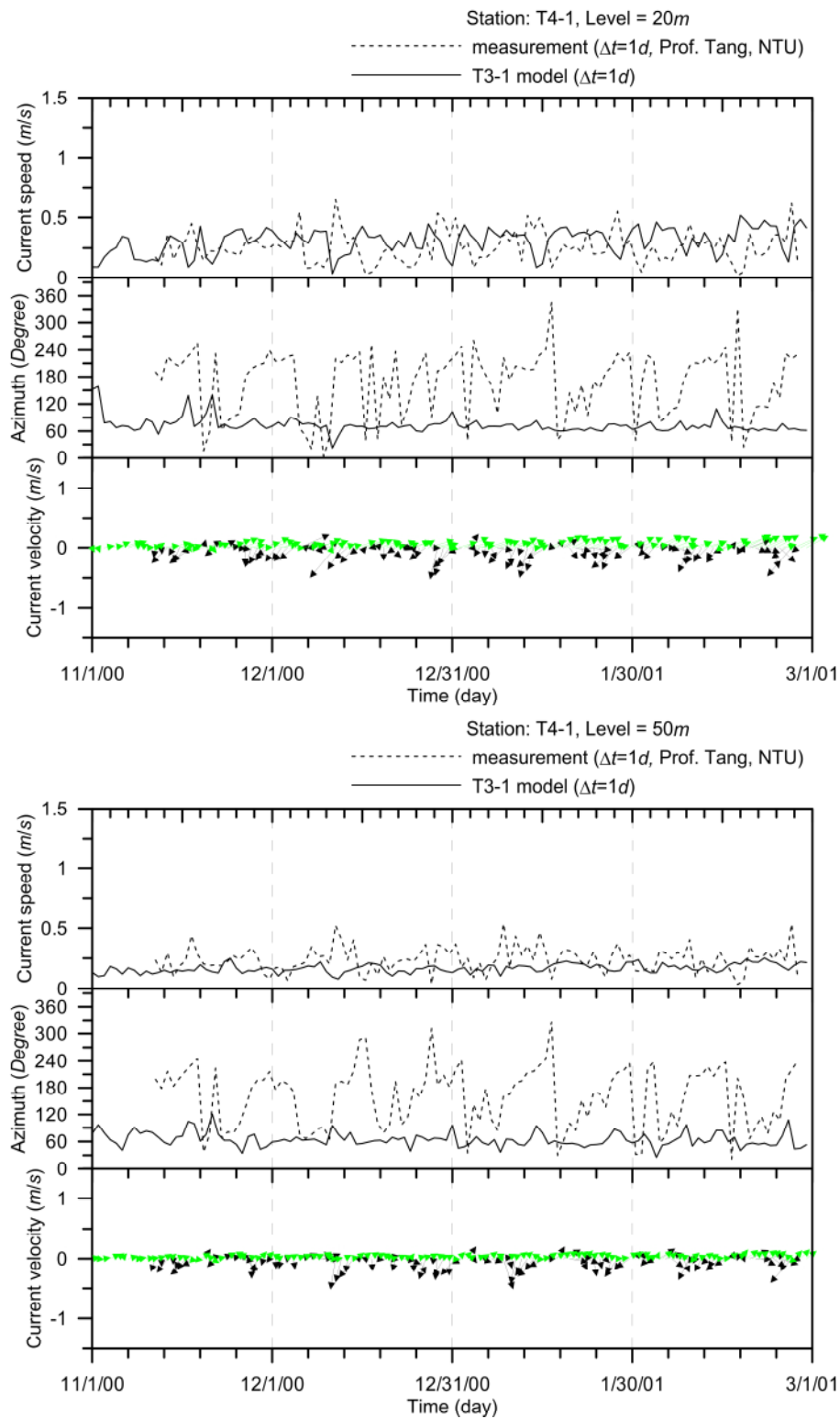


圖 4-36 錨碇海流 T4-1 測點與 T3-1 模式於 20 米、50 米處之海流比較  
圖(2000/11~2001/03)

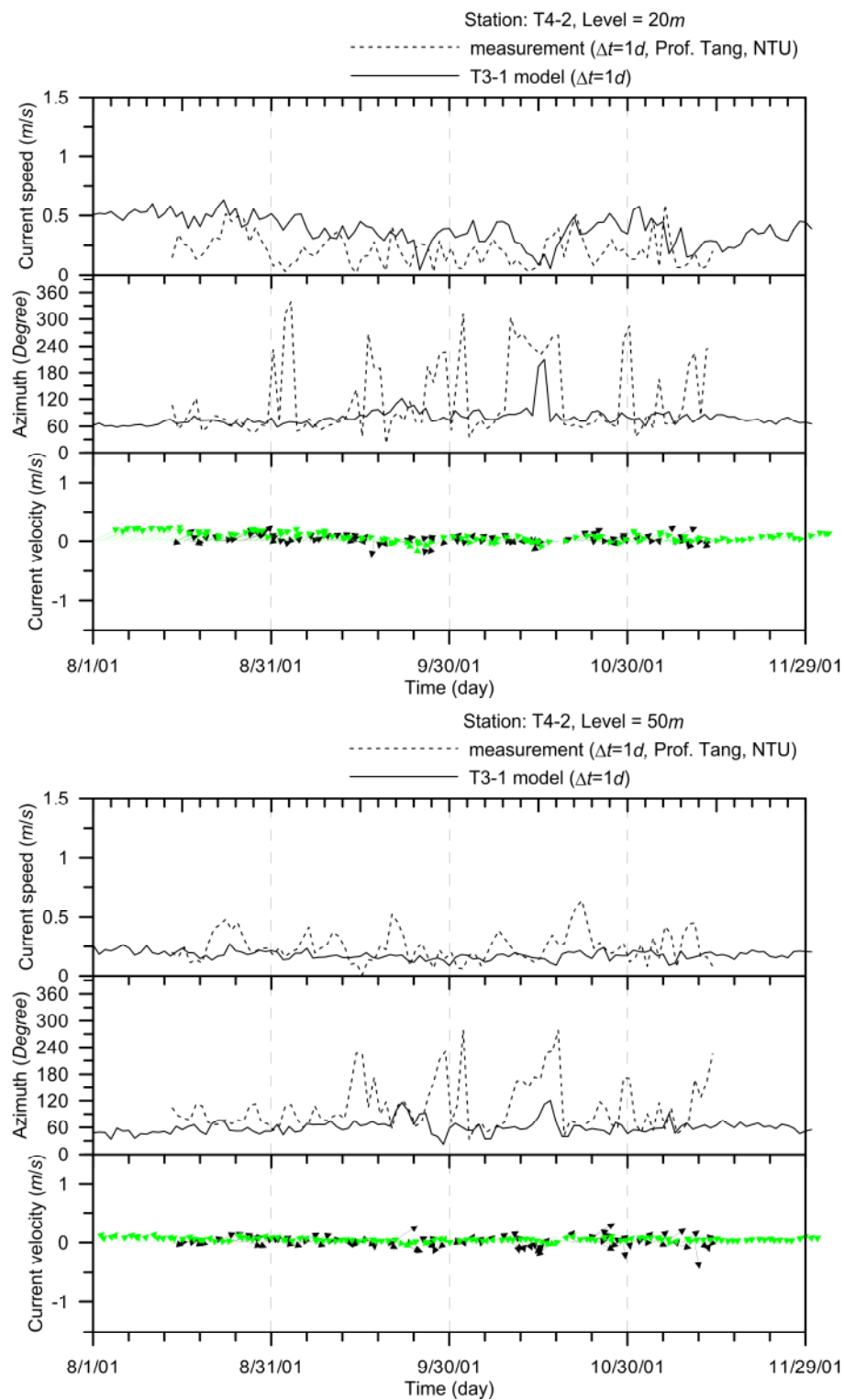


圖 4-37 錨碇海流 T4-2 測點與 T3-1 模式於 20 米、50 米處之海流比較  
圖(2001/08~2001/11)

## 4.8 以 CODAR 海面流速資料驗證

國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心(簡稱海洋中心)陸續推動建置各項海洋科技發展相關之基礎設施及觀測平台，其中在台灣四週海域表面海流觀測方面，已在 98 年於台灣東部海岸完成三座長距離岸基高頻測流雷達站 (Coastal Ocean Dynamics Application Radar, CODAR)，能提供黑潮海流研究應用等服務。其岸基測流雷達天線發射出的電磁波在接觸海面粗糙構造時會產生散射，利用雷達可偵測海面粗糙度所造成之布拉格散射(Bragg Scatter)，由於海流的相對運動所造成電磁波都卜勒效應，因而產生頻率位移，於是雷達所測得發射波與回波頻率差，可反算表面海流的運動速度。

圖 4-38 為 2010 年 2 月之岸基測流雷達之流速流向月平均值與 T3-1 模式之月平均比較圖，由圖中可看出，岸基測流雷達於台灣東部海岸之流速值約為每秒 0.6~0.8 公尺，而模式模擬之流速有較大之趨勢，其可達每秒 1.2 公尺，且岸基測流雷達所呈現之黑潮寬度約為 60 公里，模擬值之黑潮寬度可達 100 公里左右，但兩者之流向具有一致性。該實測資料為台灣東岸三座岸基雷達量測合成每小時之台灣東部海面海流流況，再由每小時資料進行月平均之統計分析計算。由於岸基測流雷達所量測到之流速為以雷達為中心之軸向速度，現其量測角度約與黑潮流向成垂直，可能造成流速有偏低之可能性。由於海洋中心尚未完成該岸基測流雷達之校驗，故現階段其資料僅供參考，並未進入最後實用階段。

據此岸基測流雷達實測值與模式模擬值之比較，於台灣東部海域黑潮流動描述上具有定性之一致性，但其流速尺度仍具有差距。由於岸基測流雷達具有短時間內量測大範圍海面流況之能力，其資料具有高度應用性，可做為數值模式資料同化之實測值最佳來源，如未來進行台灣海域海流預報作業時，為模式預報準確性之關鍵性資料。

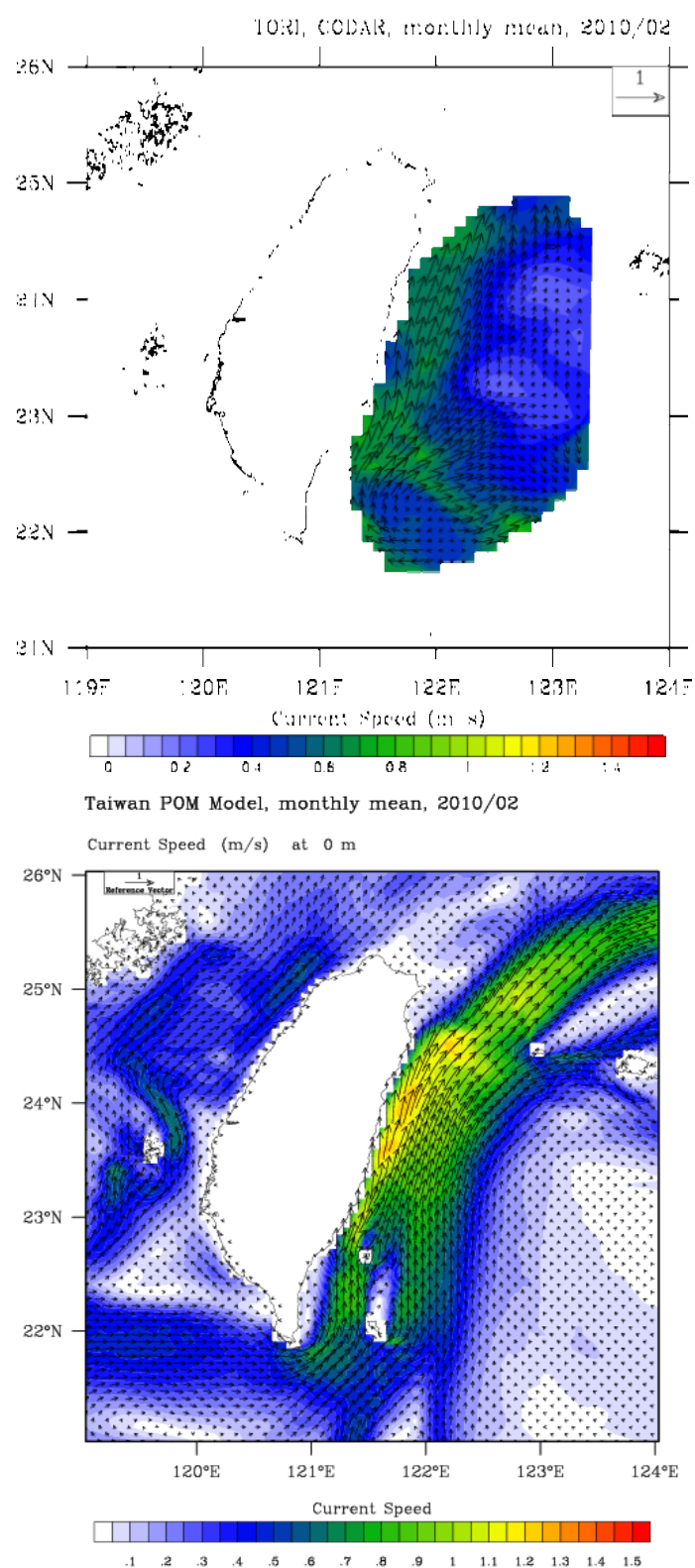


圖 4-38 國研院海洋中心岸基測流雷達之海表面月平均流速與 T3-1 模式結果比較圖(2010/02)

## 4.9 綜合洋流與潮流效應進行台灣海域之海流模擬

為了瞭解本計畫所建置之模式於近岸海域之適用性，故模擬台灣海域洋流與潮流同時存在之流況，利用台灣海域洋流模式(T3-1 模式)為基礎，採用 Matsumoto 等人(2000)所提出的 NAO99b 模式輸入天文潮位邊界，以 NAO99b 的輸出結果做為驅動天文潮推算所需的動力邊界條件，配合西北太平洋海域模式(N2-1 模式)提供台灣海域模式所需的洋流邊界條件進行模擬，其計算模擬流程如圖 4-39 中所示。為了進一步討論模式格網對於模擬近岸海域海潮流的影響，故利用更高解析度格網的台灣西南海域(T-SW)模式巢狀至台灣海域(T3-1)模式來進行模擬與討論，其格網解析度為 1/64 度，約為 1.5 公里，其格網地形水深圖如 4.2 節中所述，其解析度已可約略描述外海高屏峽谷之地形變化。

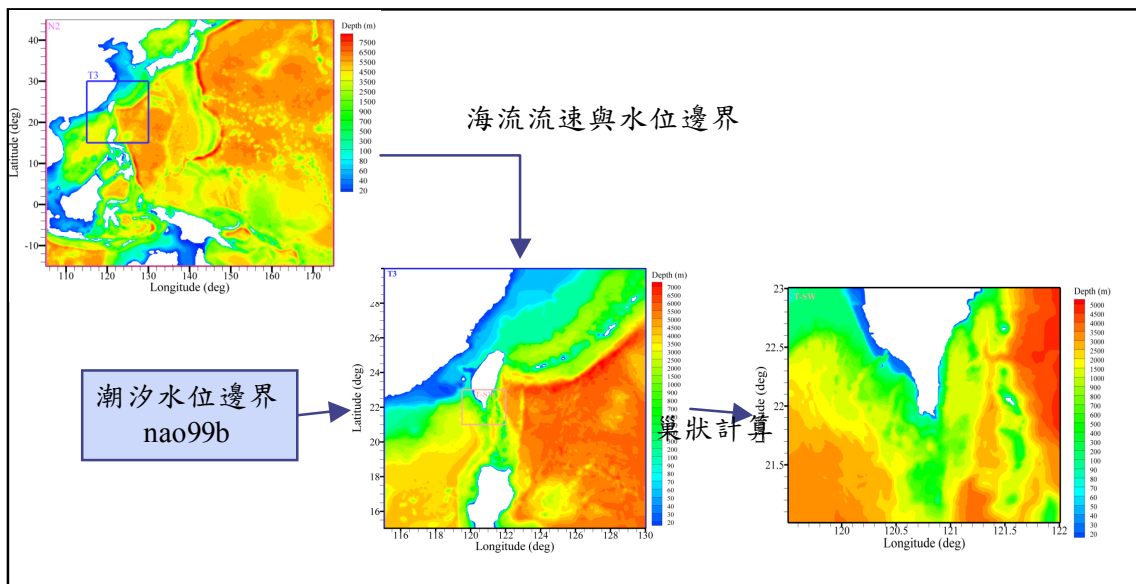


圖 4-39 海潮流模式模擬流程示意圖

為了驗證模擬結果，承蒙國立中山大學海洋環境及工程學系提供高雄中洲海域所放置的 ADCP 流速資料進行驗證(李等人，2010)。該次海流調查採用美國 RD Instruments 所製之底碇式都卜勒海流剖面儀

(ADCP)進行海流監測，作業模式於現場儀器佈放前，於實驗室內以工業電腦設定自計式海流儀之參數；佈放儀器時以漁船作業，使用 DGPS 定位方式配合潛水人員進行。於儀器回收後再於實驗室內以工業電腦讀區資料。底碇式都卜勒海流剖面儀(ADCP)以平滑之不銹鋼外殼架底碇於海床之上。驗證資點位於監測點 C3 處(座標：TWD67 系統 (2497840,173500) = 經緯度(120.256E, 22.579N)；水深為 20 公尺)，如圖 4-40 中所示。本計畫收集三段量測時間，分別為 2006/11/14 11:40 至 2006/11/30 09:50、2007/05/15 10:30 至 2007/06/01 07:00 及 2008/12/02 10:10 至 2008/12/18 09:10，每 10 分鐘 1 筆資料。

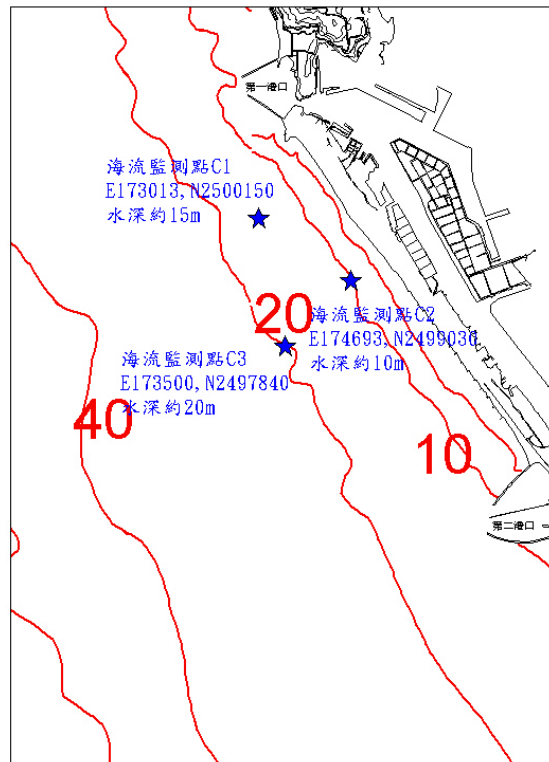


圖 4-40 高雄中州海域海流監測站位置圖(李等人，2010)

由調查報告中指出(李等人，2010)：本測區潮汐為以全日潮型為主混合半日潮型，由數據顯示可發現此處海流流向與潮汐變化之關係，本測區之海潮流於全日潮型時，其海潮流流向與潮汐水位變化有較明顯之關係，漲潮時其流向主要為 SE 及 SSE 方向(以 SSE 為主)，而在退潮時其流向主要為 NW 及 NNW 方向(以 NNW 為主)。而於半日潮型時



期相互關係則較不明顯。另一方面，本測區因受沿岸及地形影響，於部分潮段交換期間，其海流流向之轉換可能產生時間遲滯現象，亦即海流流向未能立即反應潮段之變化。

圖 4-41、圖 4-42 及圖 4-43 分別為不同洋流與潮流模擬組合測試結果與高雄海域 C3 點位實測資料比較圖，其模擬時間為 2006 年 11 月份，圖中實線為觀測資料，三角點線為模擬結果，由上而下分別為海流流向、流速、流矢及水位高之時序列比較圖。而圖 4-41 為 T3-1 模式加入潮汐水位所得之結果，模式水位之高低潮出現時間與實測值相吻合，但模式之流向週期性的於高潮段向北流動、低潮段向南流動，與實測資料在較高潮段向北流動一致，而較低高潮段略有所偏差，而流速有明顯低估情況。圖 4-42 為僅有潮汐邊界作用下 T-SW 模式之結果，由圖中看出水位模擬與實測值具有一致性，但流速流向隨著高低潮呈現規律的週期性，與實測值有相當差距。圖 4-43 為潮汐與洋流邊界作用下 T-SW 模式之結果，如圖中所示，大幅改善上述兩種組合之模擬結果，不論是流向或流速與實測值皆有合理之一致性，由流矢圖中之比較更可確信利用潮汐與洋流混合邊界於高解析度格網 T-SW 模式中，可合理模擬台灣西南海岸之海潮流變動特性。

圖 4-44、圖 4-45 及圖 4-46 則為 2007 年 5 月份，相對於 2006 年 11 月份之模擬結果，圖 4-46 亦為利用潮汐與洋流混合邊界於 T-SW 模式中之結果，其結果與實測值相較下具有一致性，不論大潮或小潮段皆可合理模擬台灣西南海域海潮流變動現象。圖 4-47、圖 4-48 及圖 4-49 則為 2008 年 12 月份，亦如上述結果，仍是圖 4-49 潮汐與洋流混合邊界於 T-SW 模式之結果與實測值最為符合，由圖中亦可看出，模式亦可模擬出大潮時段流速較強，小潮時段較弱之現象，其與實測值所呈現之現象一致。而圖 4-50 為高雄海域 C3 測點之實測與模擬海流  $U$ 、 $V$  分量之比較圖，圖中橫軸代表為實測值，縱軸代表模擬值，由圖中符號分布成扁平狀可知，模式值仍有偏低趨勢，但圓形空心點之含潮流與洋流混合邊界之 T-SW 模式結果分布較成帶狀分布。而表 4-5 為各模擬方案結果與實測之海流  $U$ 、 $V$  分量相關係數統計表，由表中可知，含

潮汐與洋流邊界之 T-SW 與 T3-1 模式結果優於未考慮洋流邊界之 T-SW 模式，而格網解析度較高之 T-SW 模式結果亦較優於格網解析度較低之 T3-1 模式結果。

圖 4-51 至圖 4-62 分別包含潮汐與洋流邊界之 T-SW 模式之表面流速分佈於高雄海域之放大圖、包含與未包含洋流邊界之流速差異比較圖，及相對應時刻之高雄海域潮汐水位時序列圖。由於台灣海峽有向北流動的黑潮分支，其與潮流相疊加後造成海峽南端退潮流速減小，反之的情況也出現在漲潮段，台灣海峽南端海域之漲潮流速增加。由圖中亦可見在較低低潮段之流向複雜，甚至在小琉球海域以北區域海流為向北流動，以南區域為向南流動(如圖 4-60)。

由以上結果可知，利用巢狀計算方式縮小計算範圍至台灣西南海域，提高台灣西南海域模擬的解析度，並同時加入潮汐與洋流邊界條件進行海潮流模擬，其結果與高雄海域單點測站之水位、流速、流向具有合理之一致性，表示欲模擬台灣西南近岸海域之海潮流現象，高解析度格網與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件。

**表 4-5 模擬與實測之海流  $U$ 、 $V$  分量相關係數統計表**

模擬時間	方案	$U$ 分量相關係數	$V$ 分量相關係數
2006	T-SW(潮汐、洋流)	0.210	0.210
	T-SW(潮汐)	0.070	0.008
	T3-1(潮汐、洋流)	0.230	0.131
2007	T-SW(潮汐、洋流)	0.139	0.272
	T-SW(潮汐)	-0.025	-0.072
	T3-1(潮汐、洋流)	0.243	0.202
2008	T-SW(潮汐、洋流)	0.434	0.496
	T-SW(潮汐)	0.084	0.081
	T3-1(潮汐、洋流)	0.299	0.184

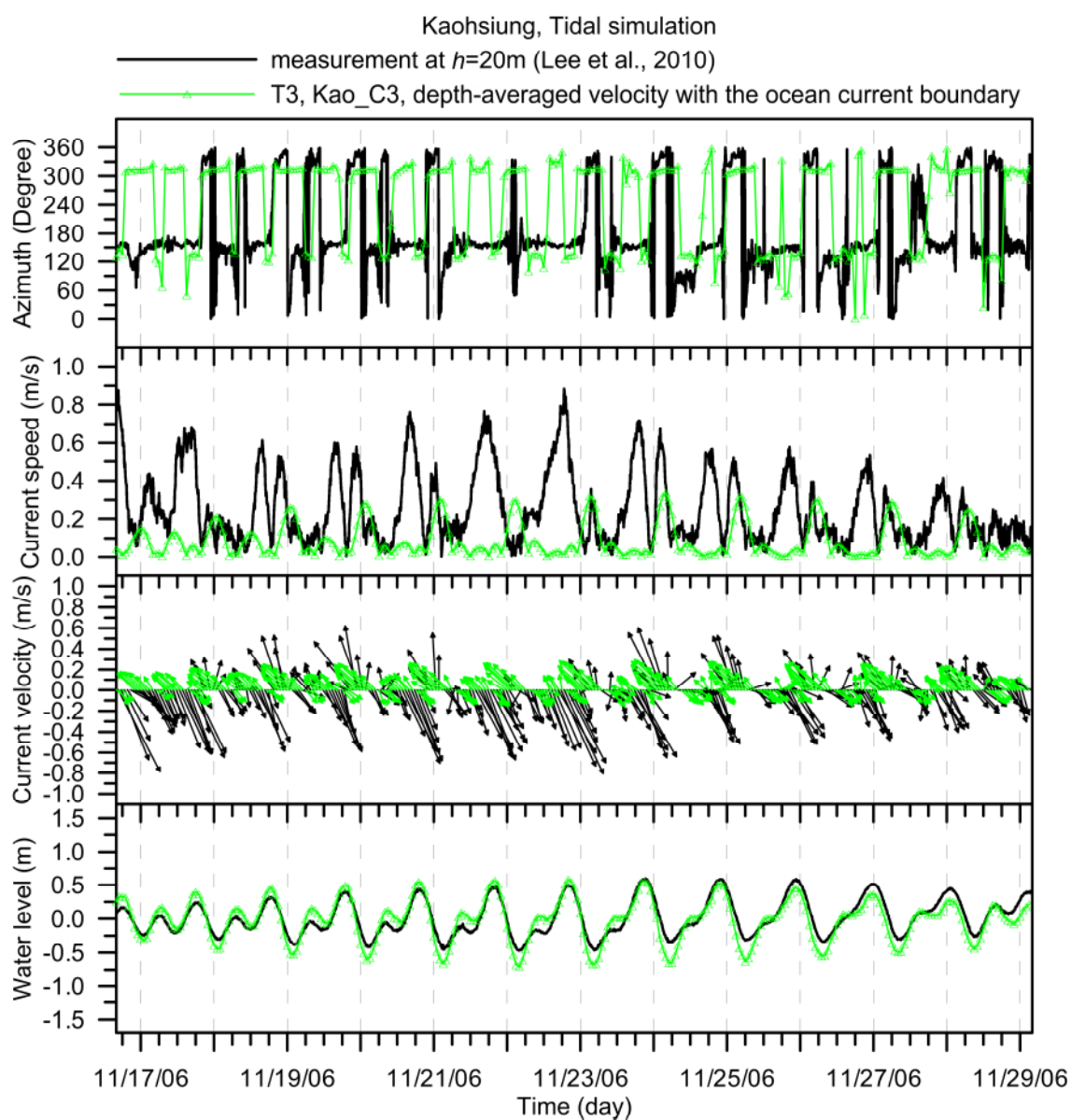


圖 4-41 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2006 年於高雄海域之比較圖(T3；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

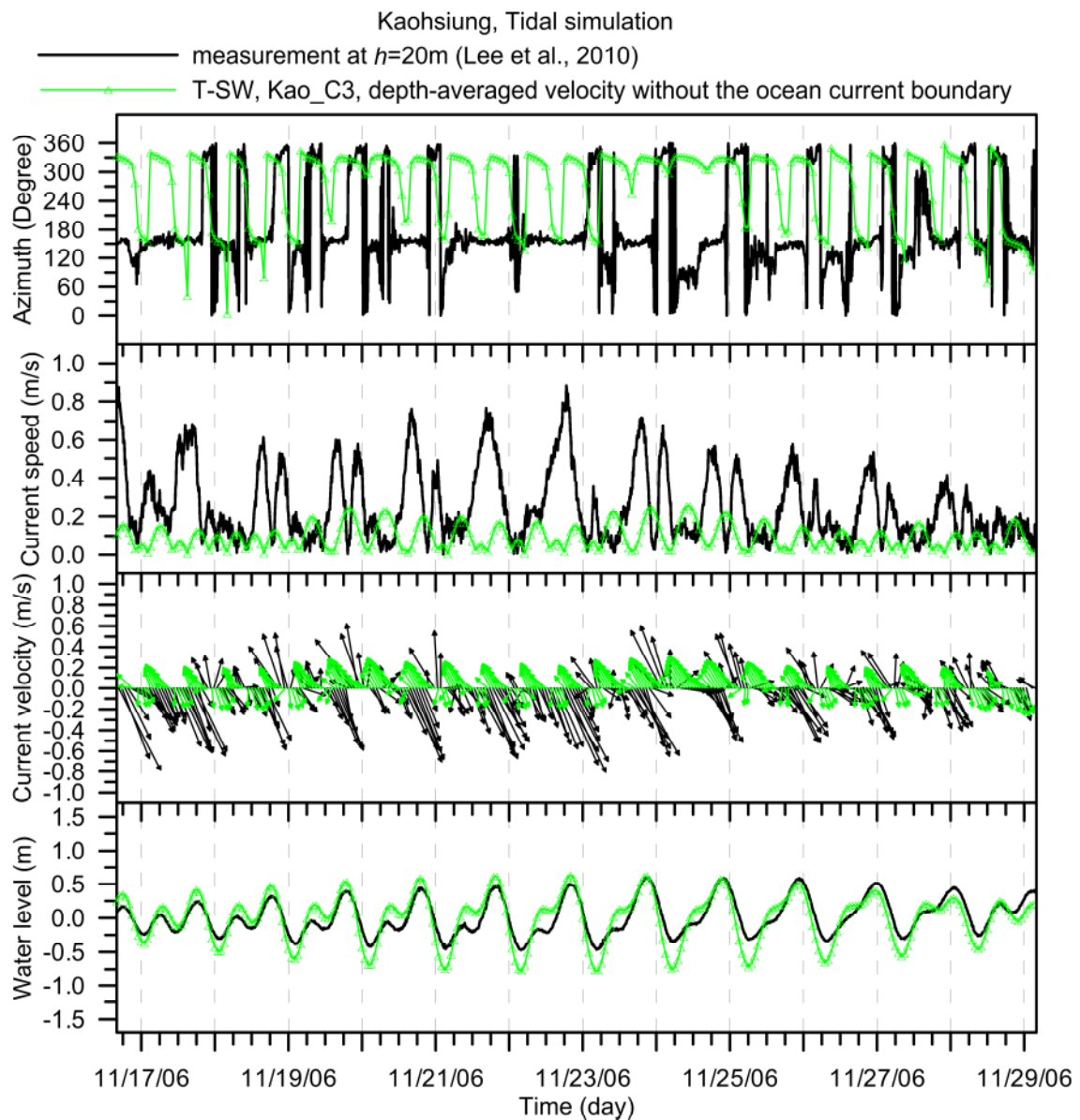


圖 4-42 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2006 年於高雄海域之比較圖(T-SW 模式；未含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

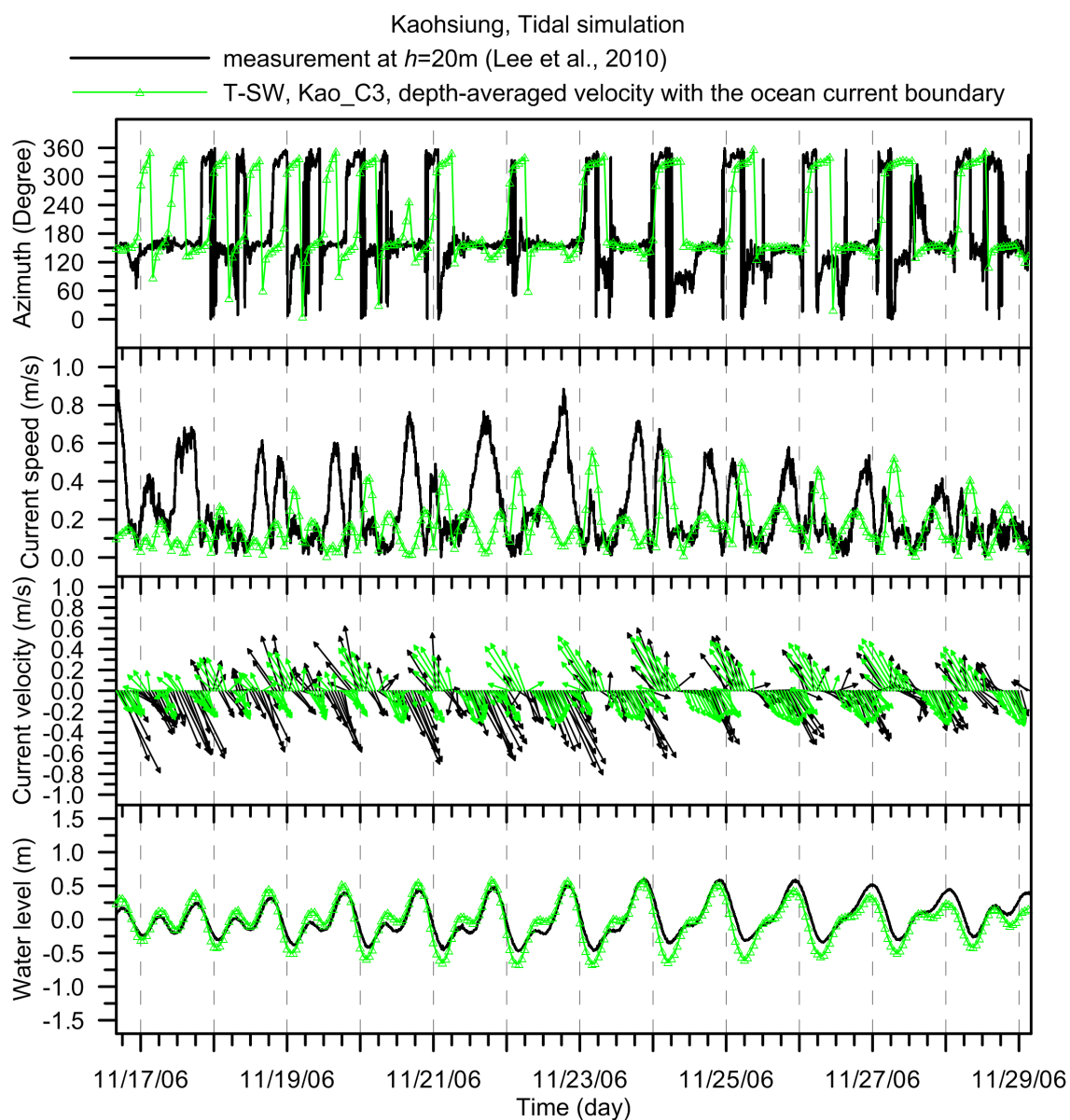


圖 4-43 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2006 年於高雄海域之比較圖(T-SW 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

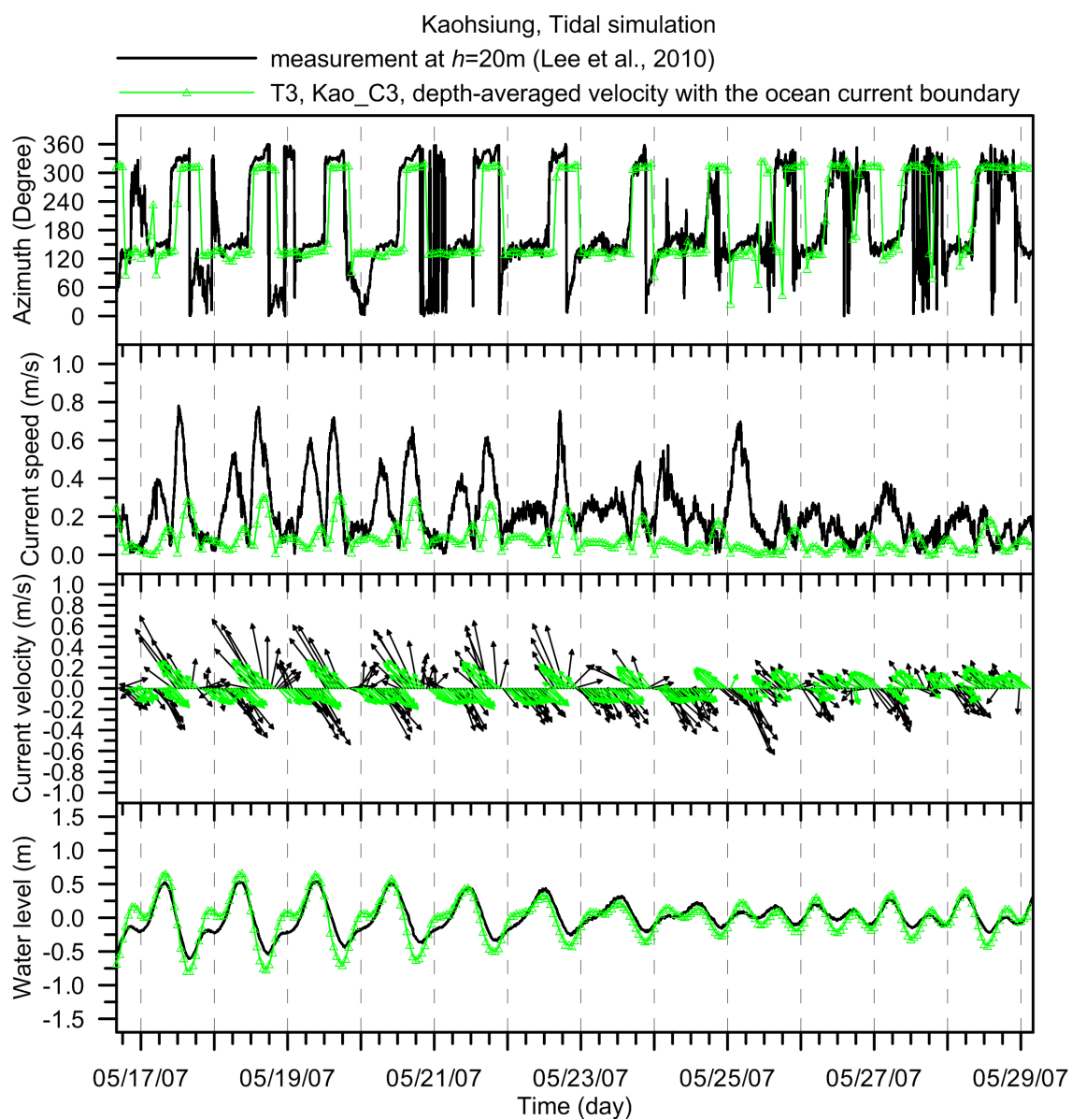


圖 4-44 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2007 年於高雄海域之比較圖(T3 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

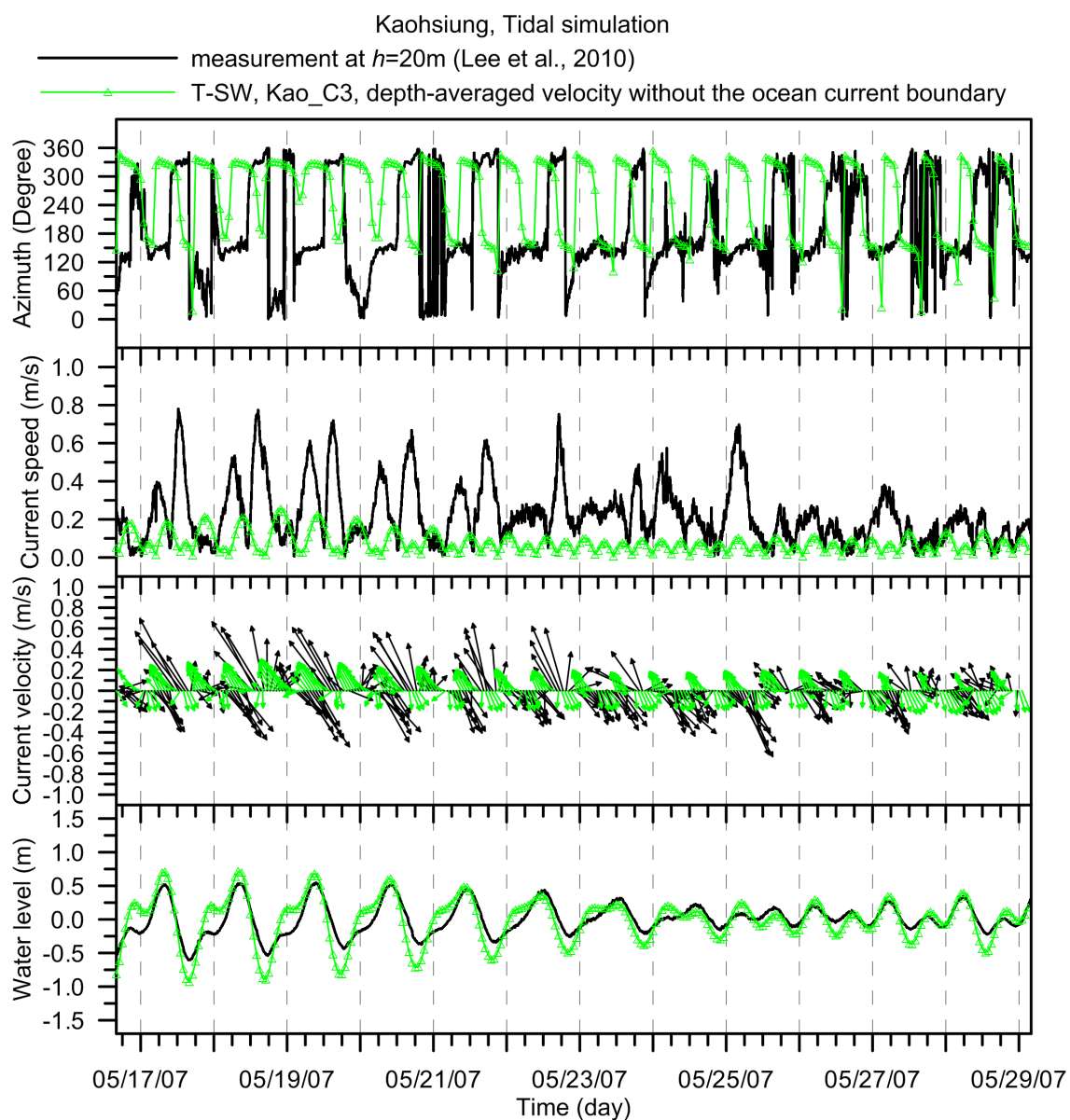


圖 4-45 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2007 年於高雄海域之比較圖(T-SW 模式；未含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)



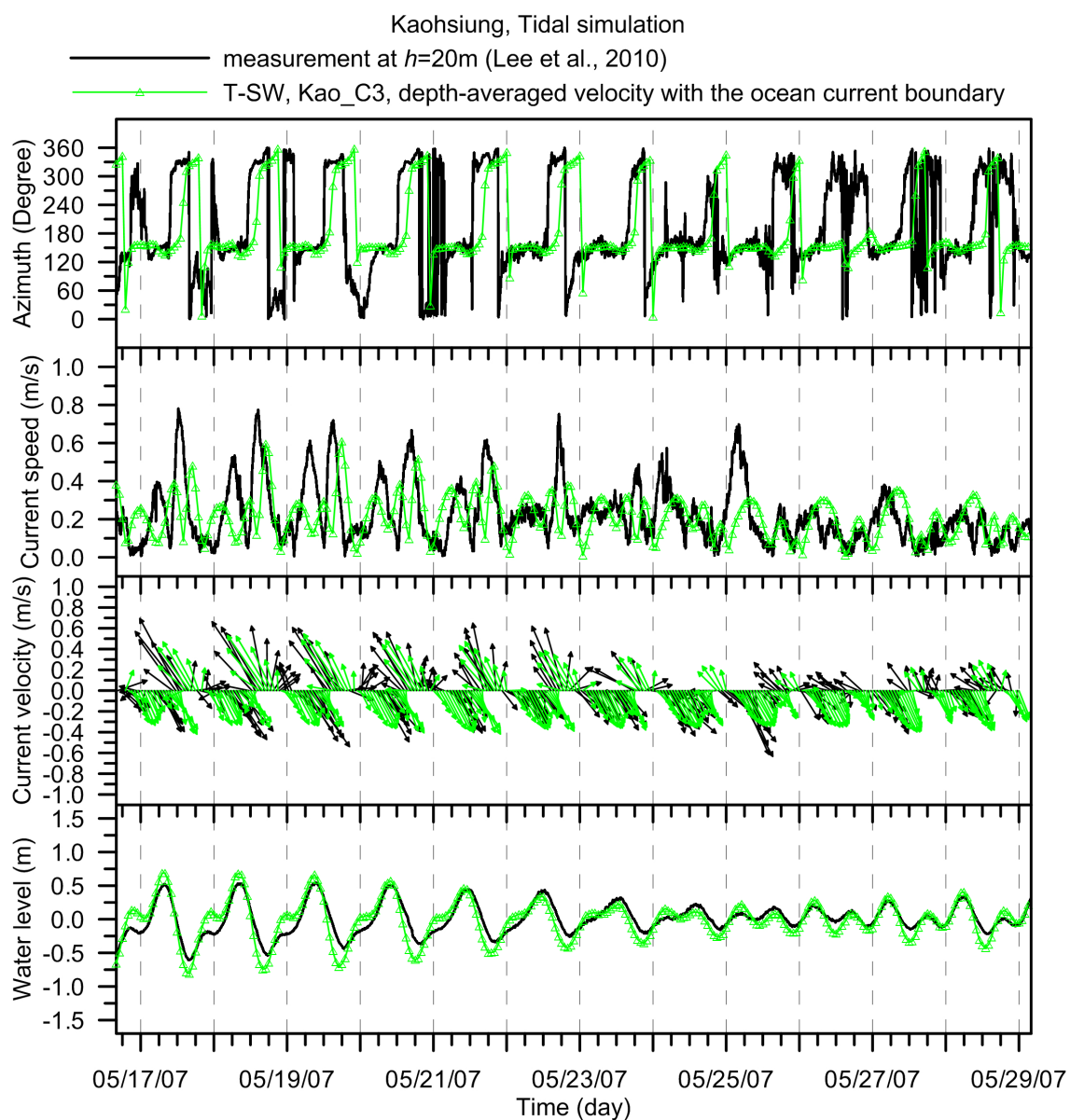


圖 4-46 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2007 年於高雄海域之比較圖(T-SW 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

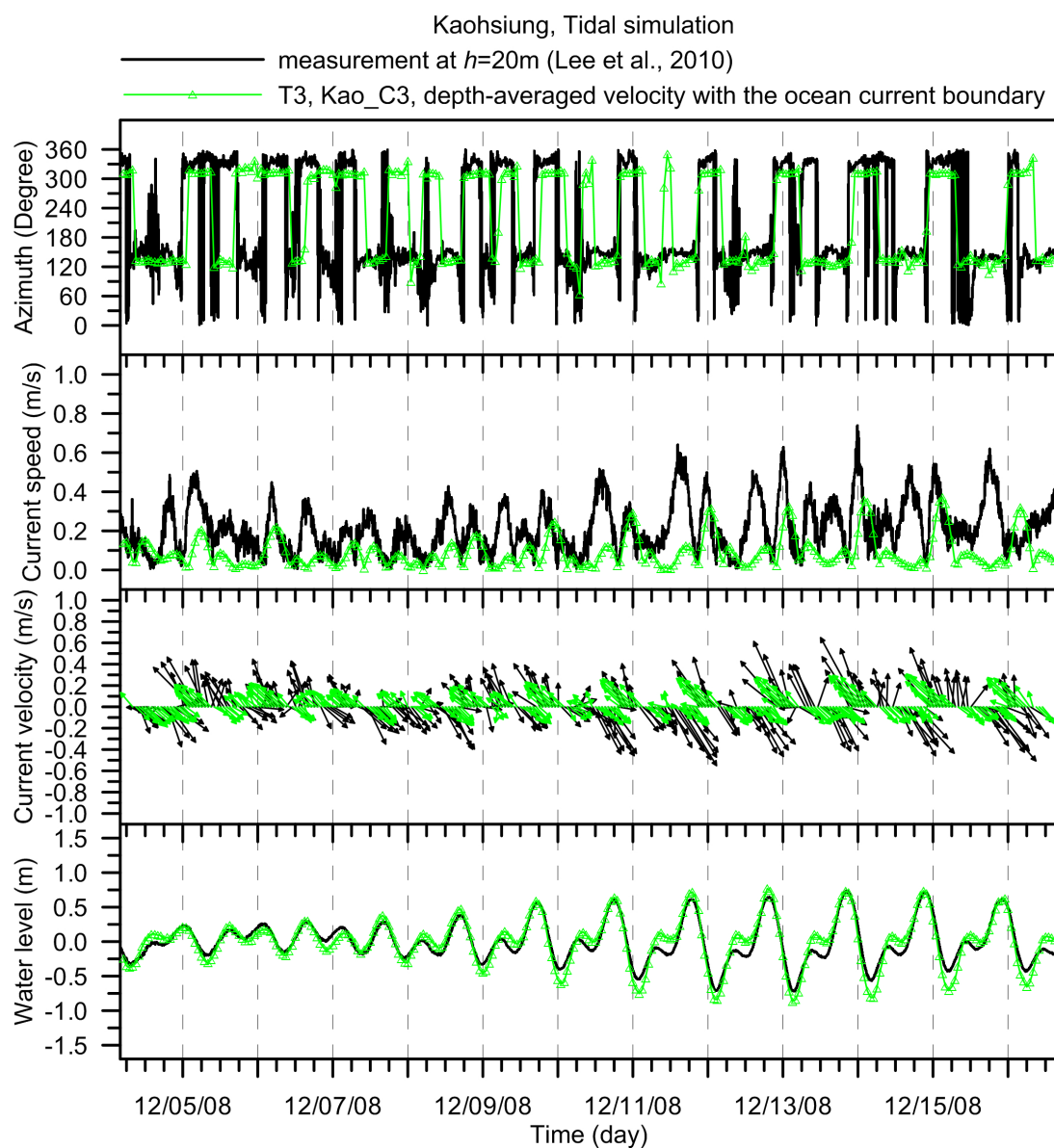


圖 4-47 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2008 年於高雄海域之比較圖(T3 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

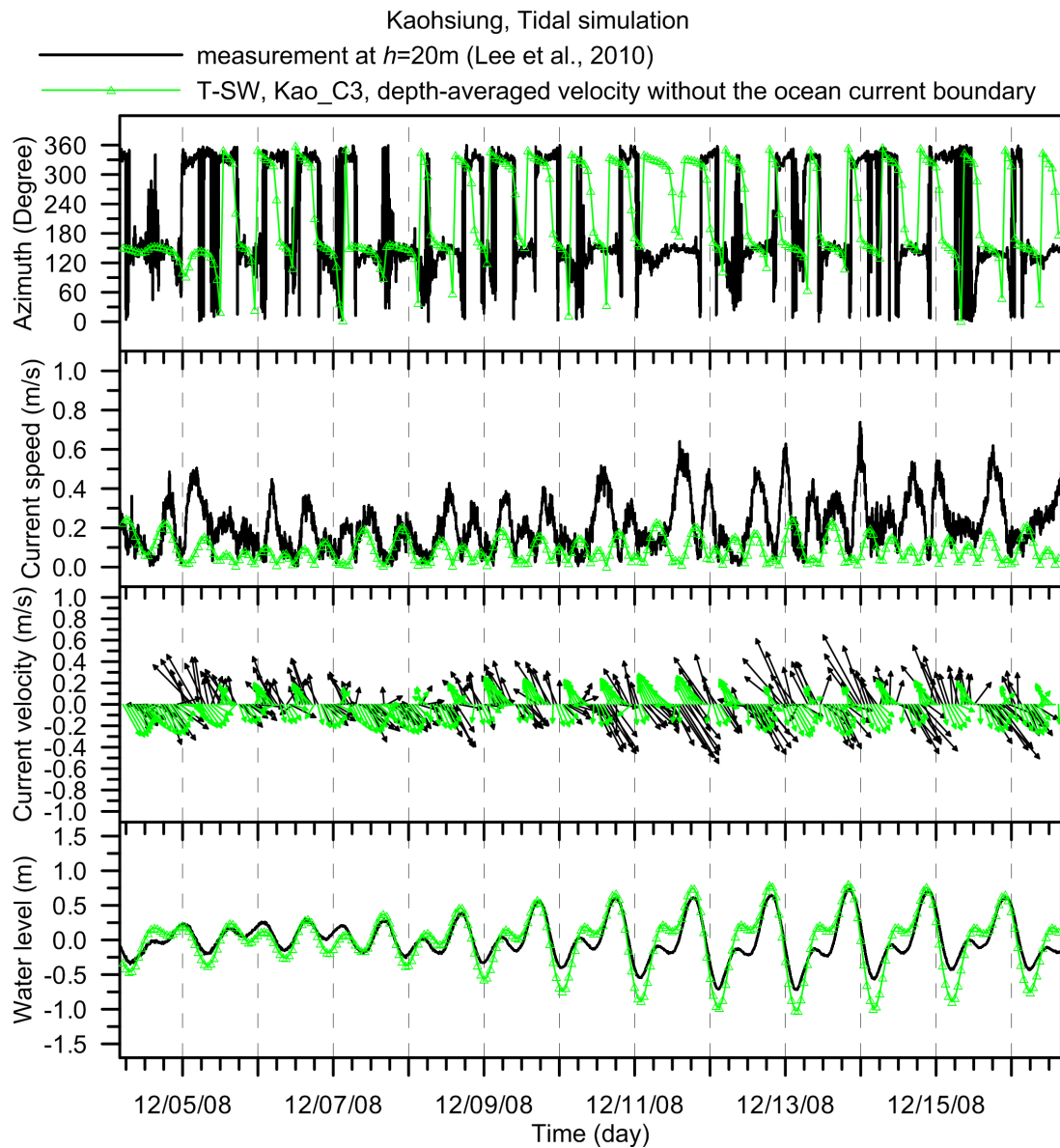


圖 4-48 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2008 年於高雄海域之比較圖(T-SW 模式；未含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

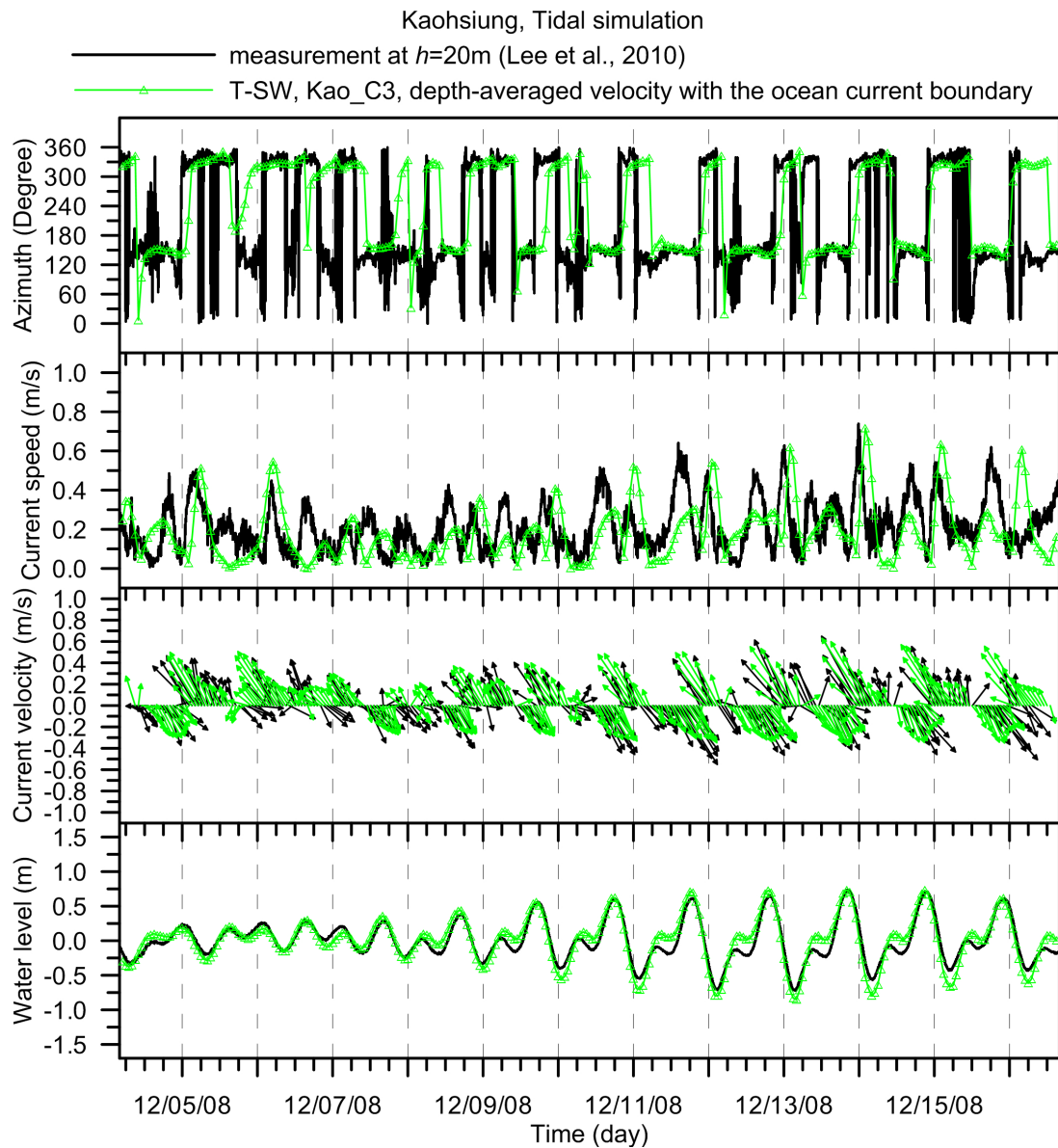


圖 4-49 台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料 2008 年於高雄海域之比較圖(T-SW 模式；含海流邊界；流向、流速、流矢及水位高圖)

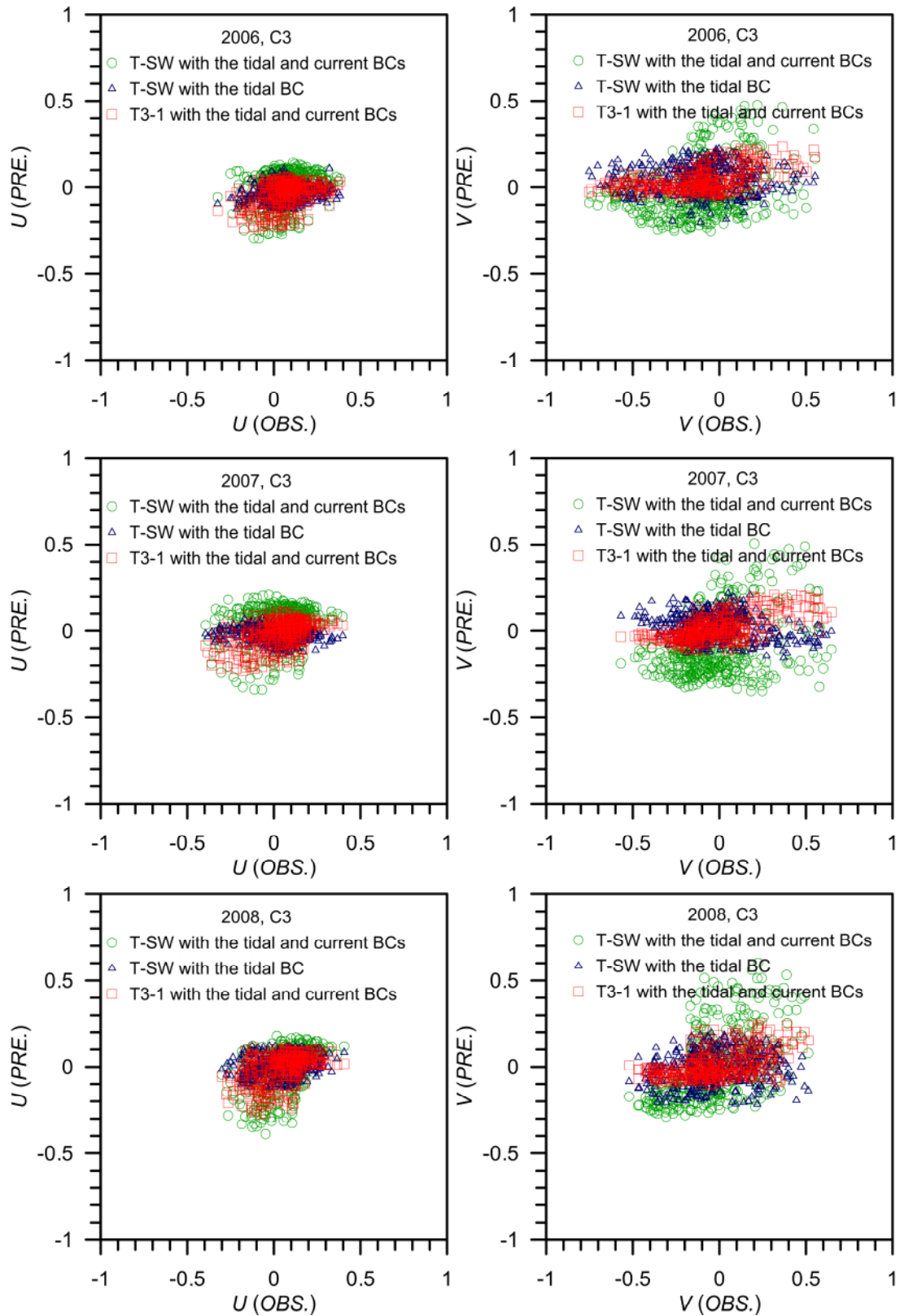


圖 4-50 高雄海域 C3 測點之實測與模擬海流 U、V 分量之比較圖



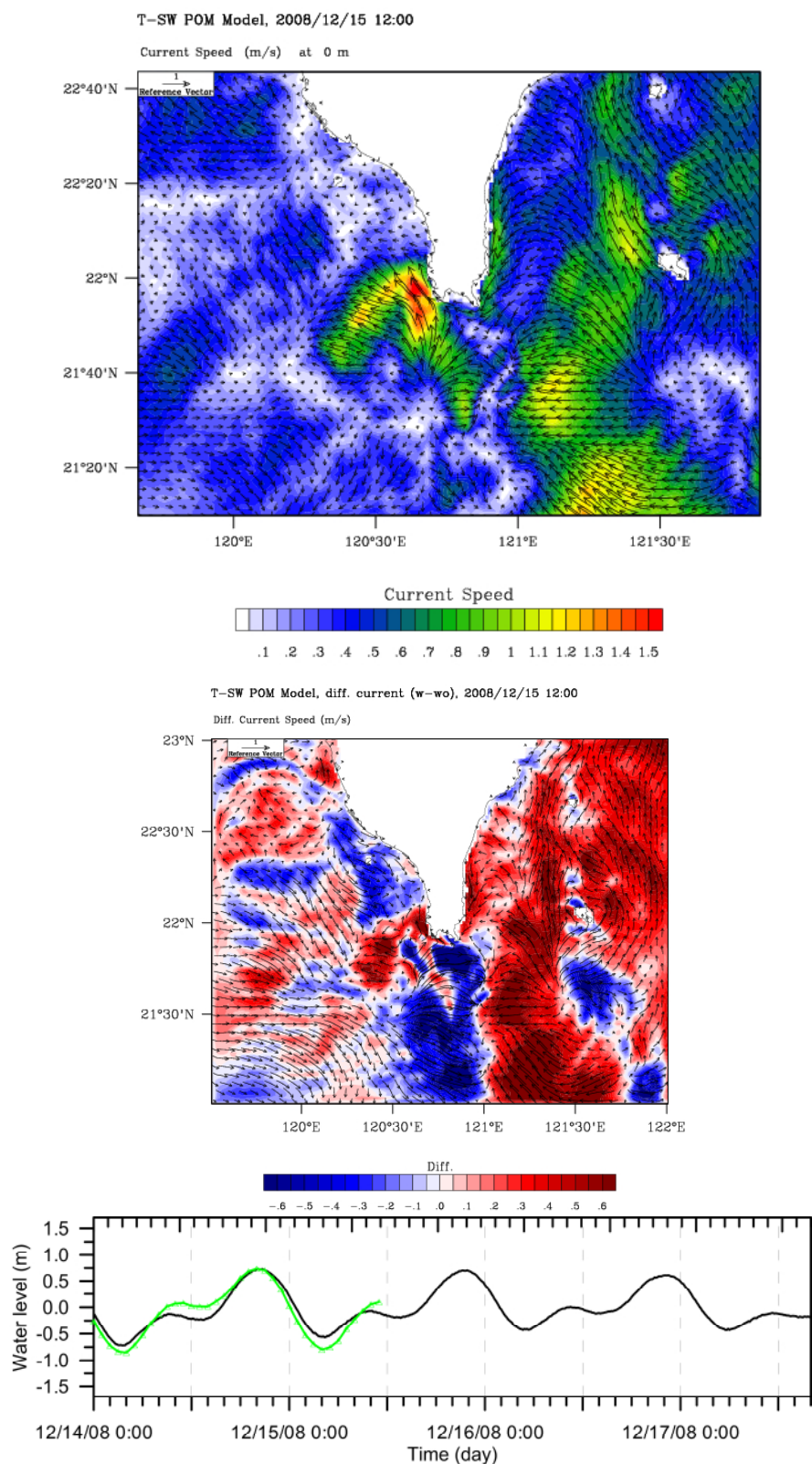


圖 4-51 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/15 12:00)

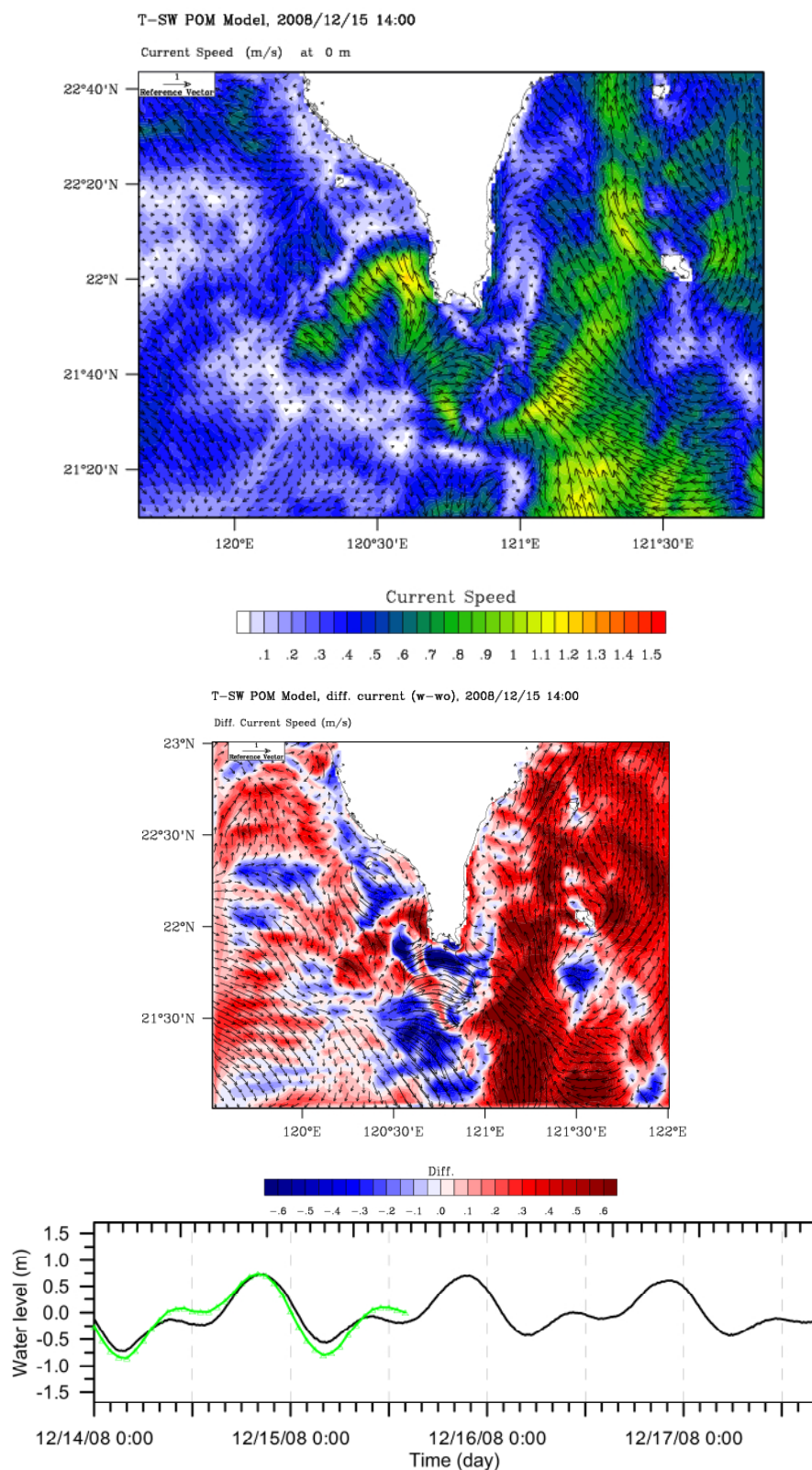


圖 4-52 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/15 14:00)



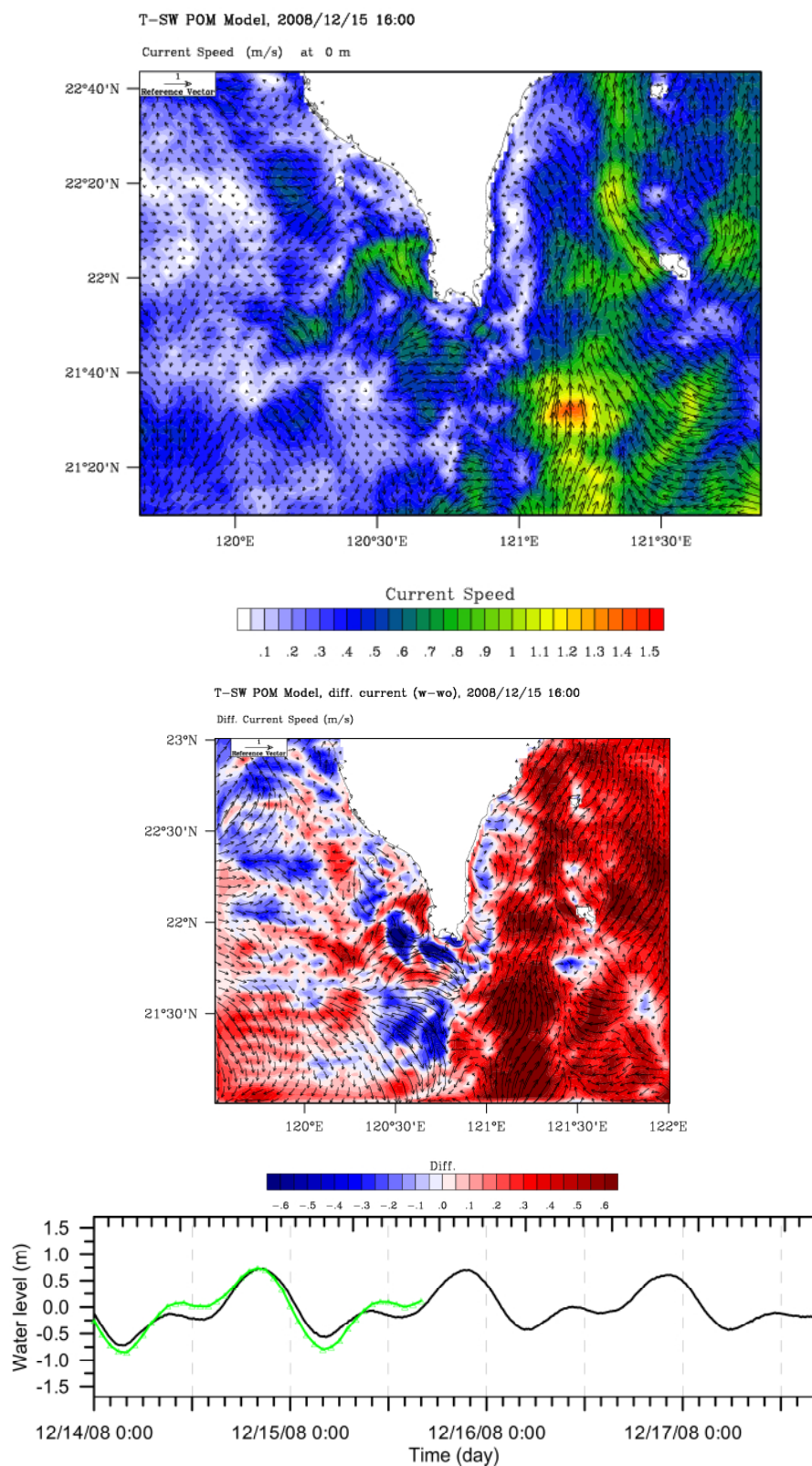


圖 4-53 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/15 16:00)

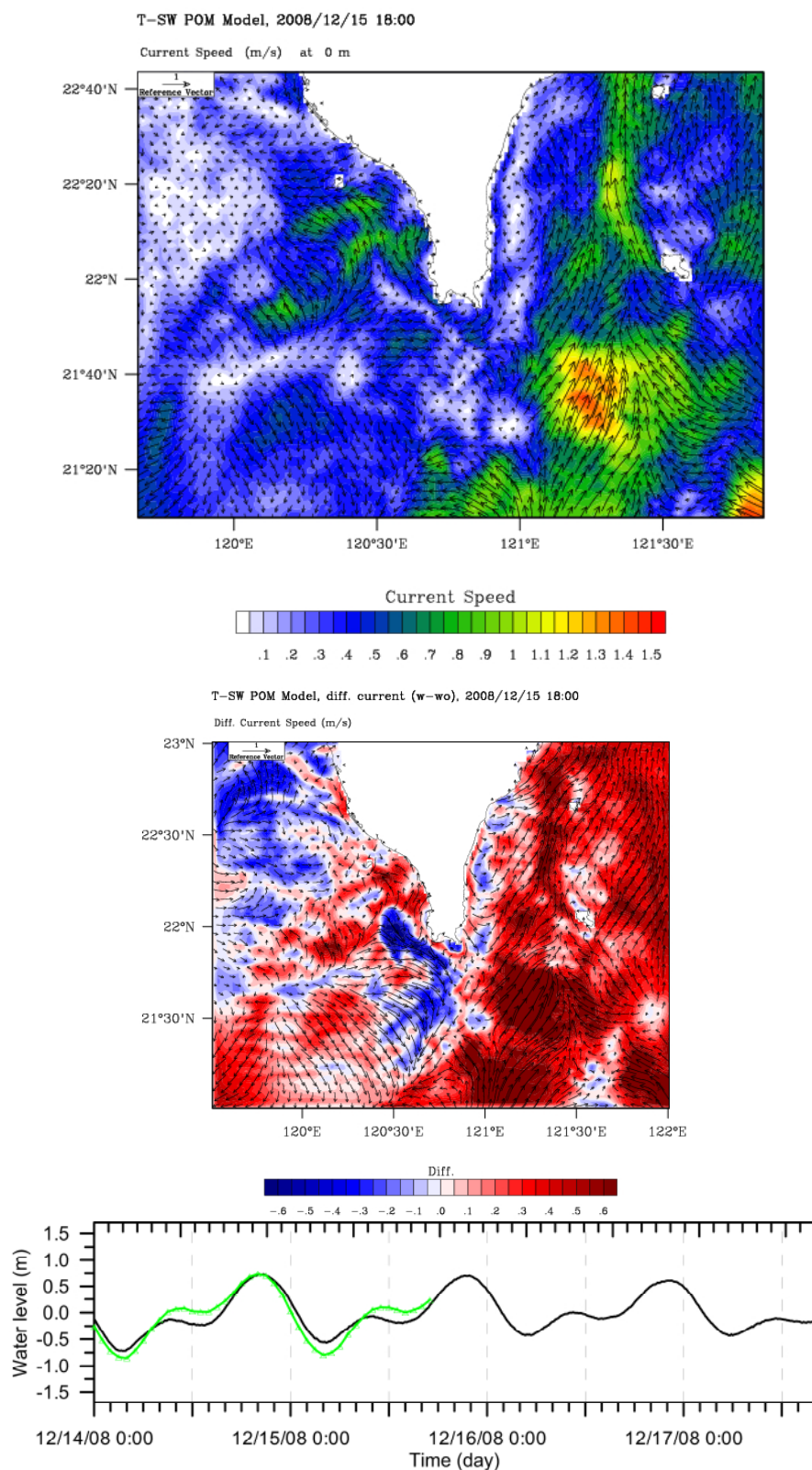


圖 4-54 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/15 18:00)

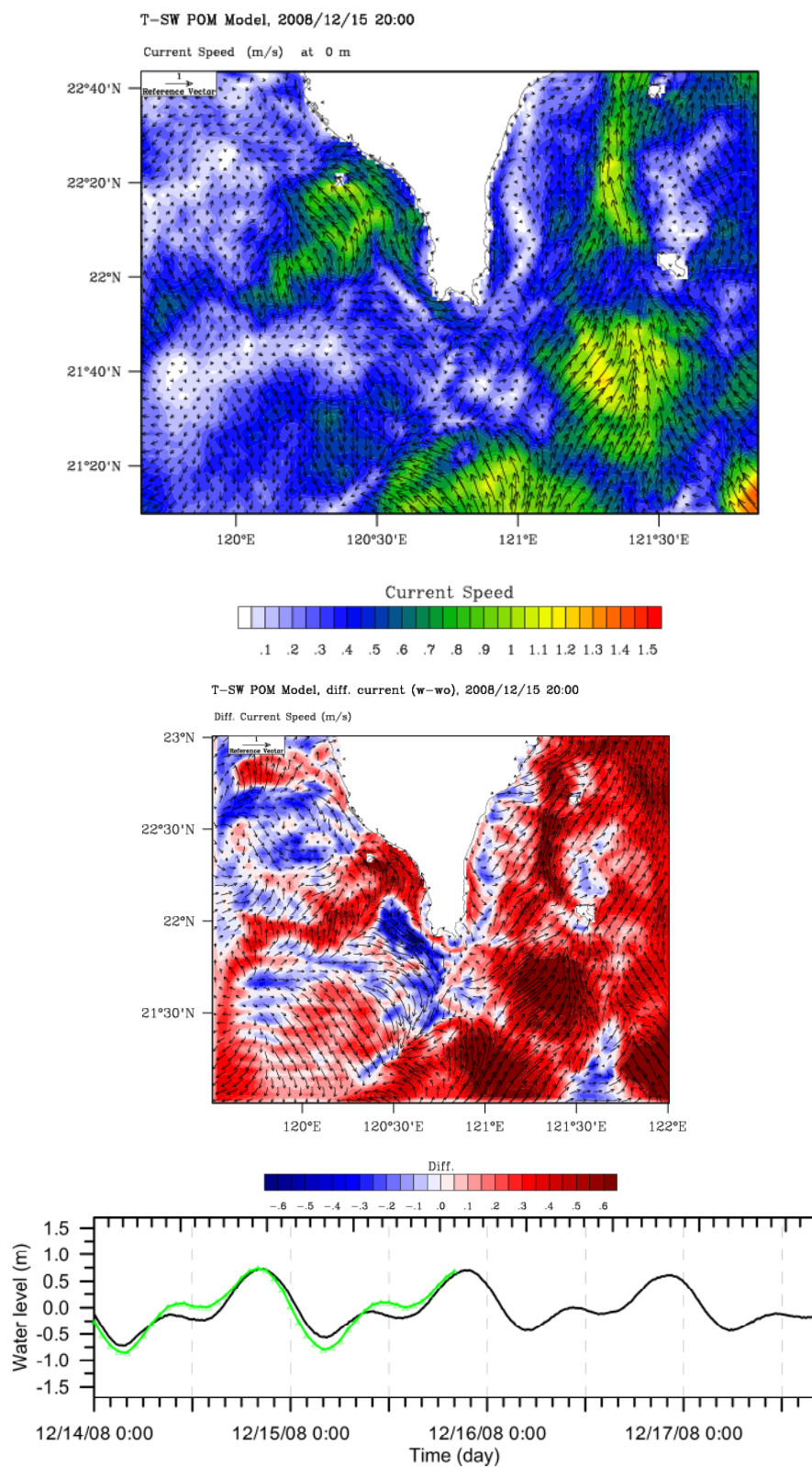


圖 4-55 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/15 20:00)



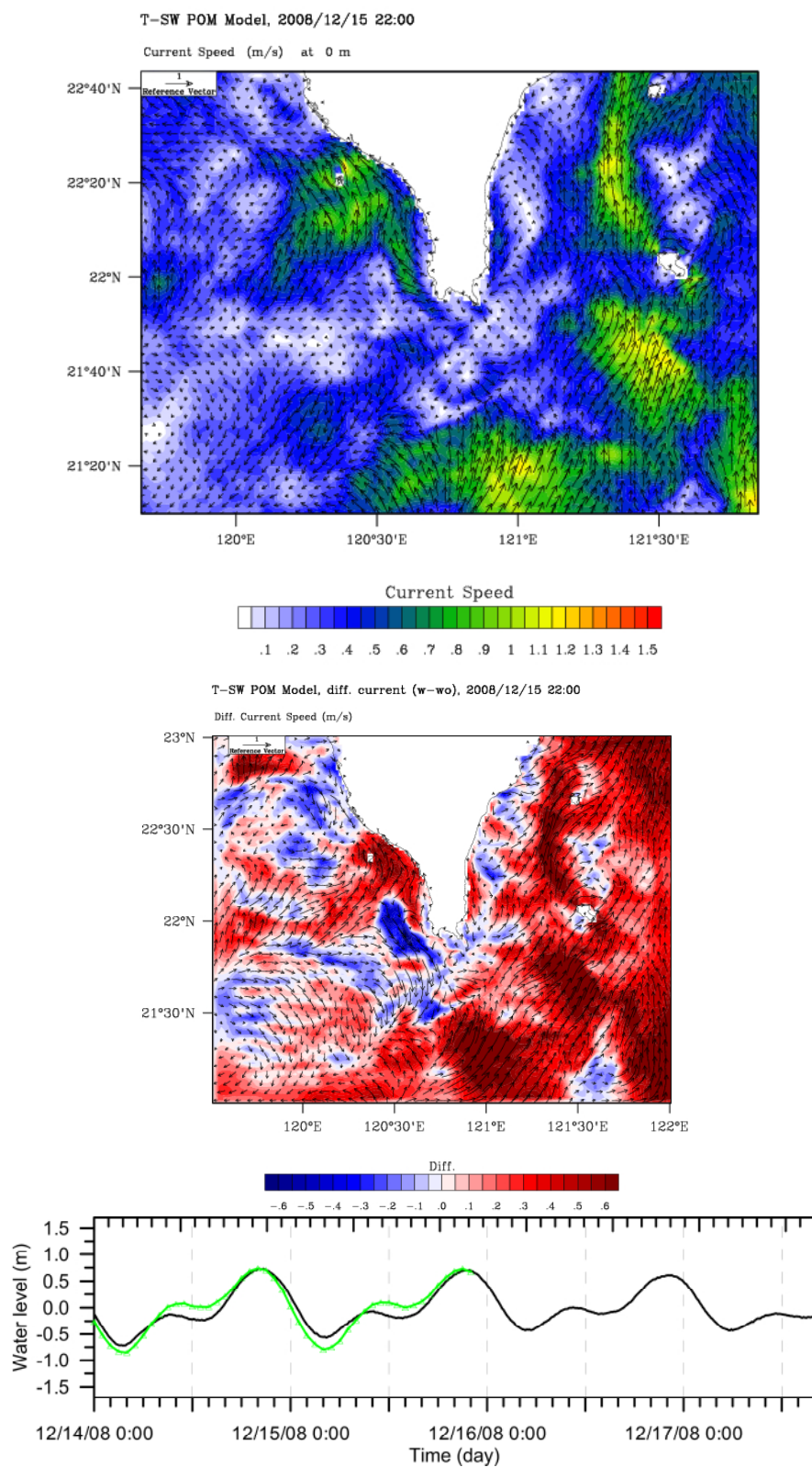


圖 4-56 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/15 22:00)

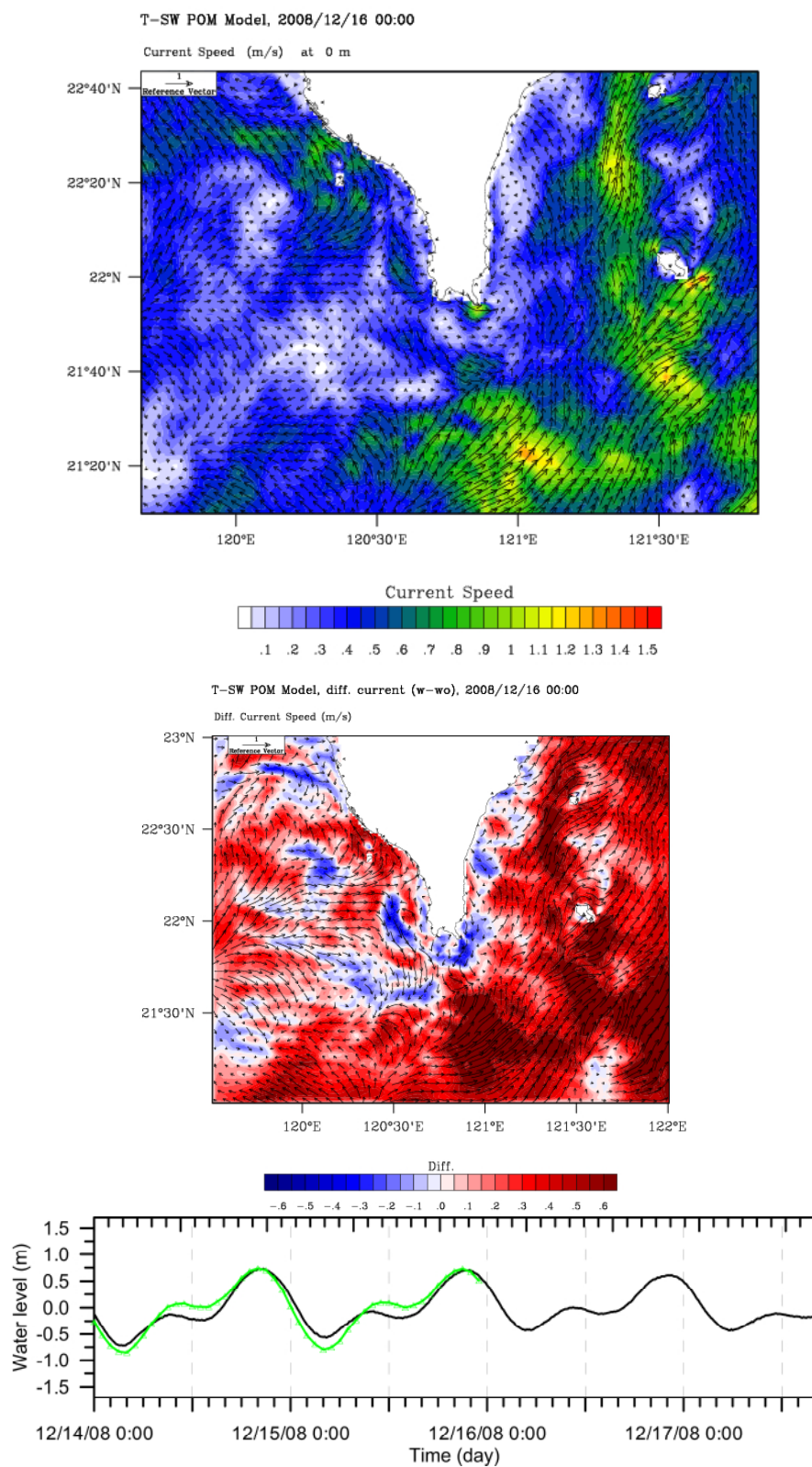


圖 4-57 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/16 00:00)

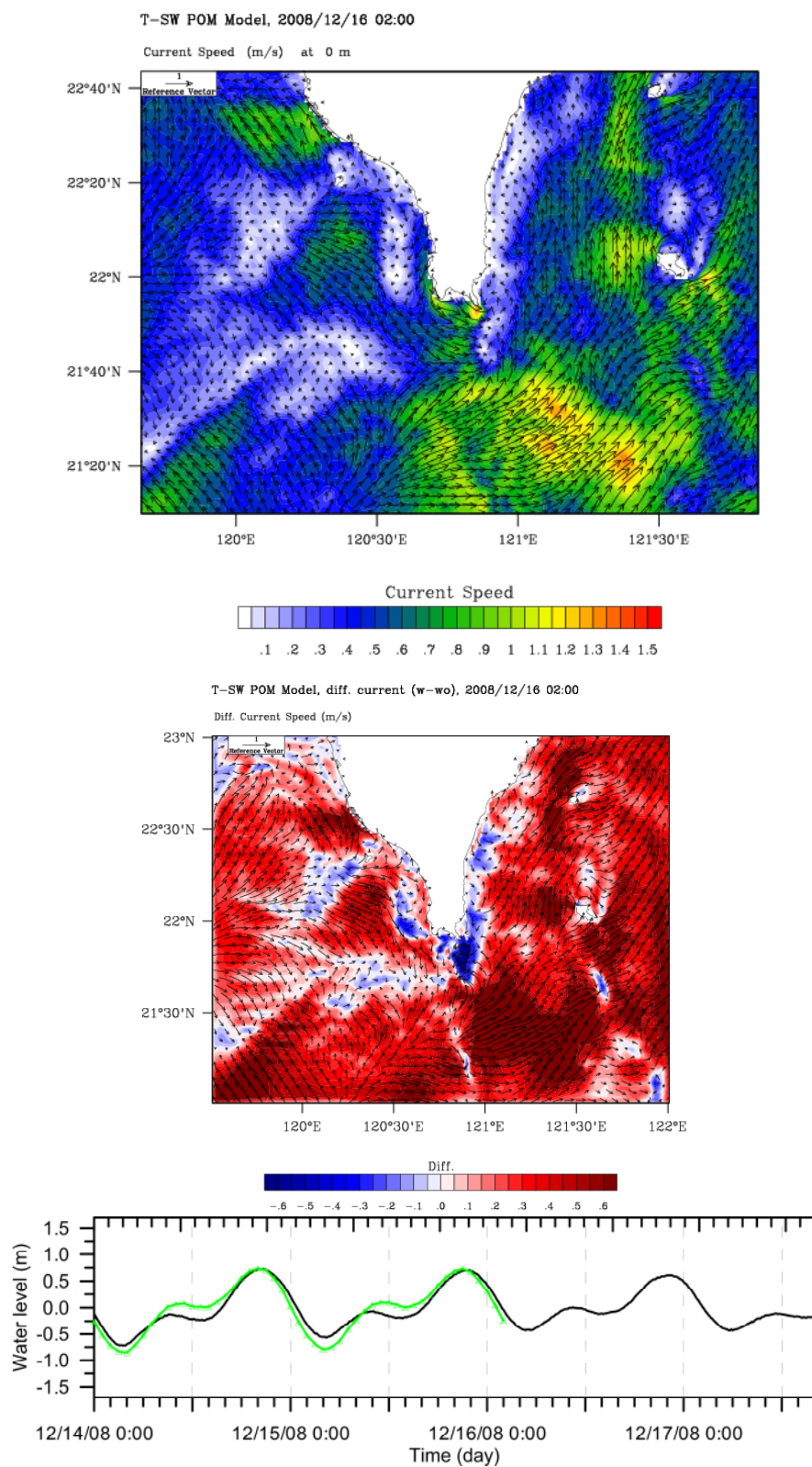


圖 4-58 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/16 02:00)



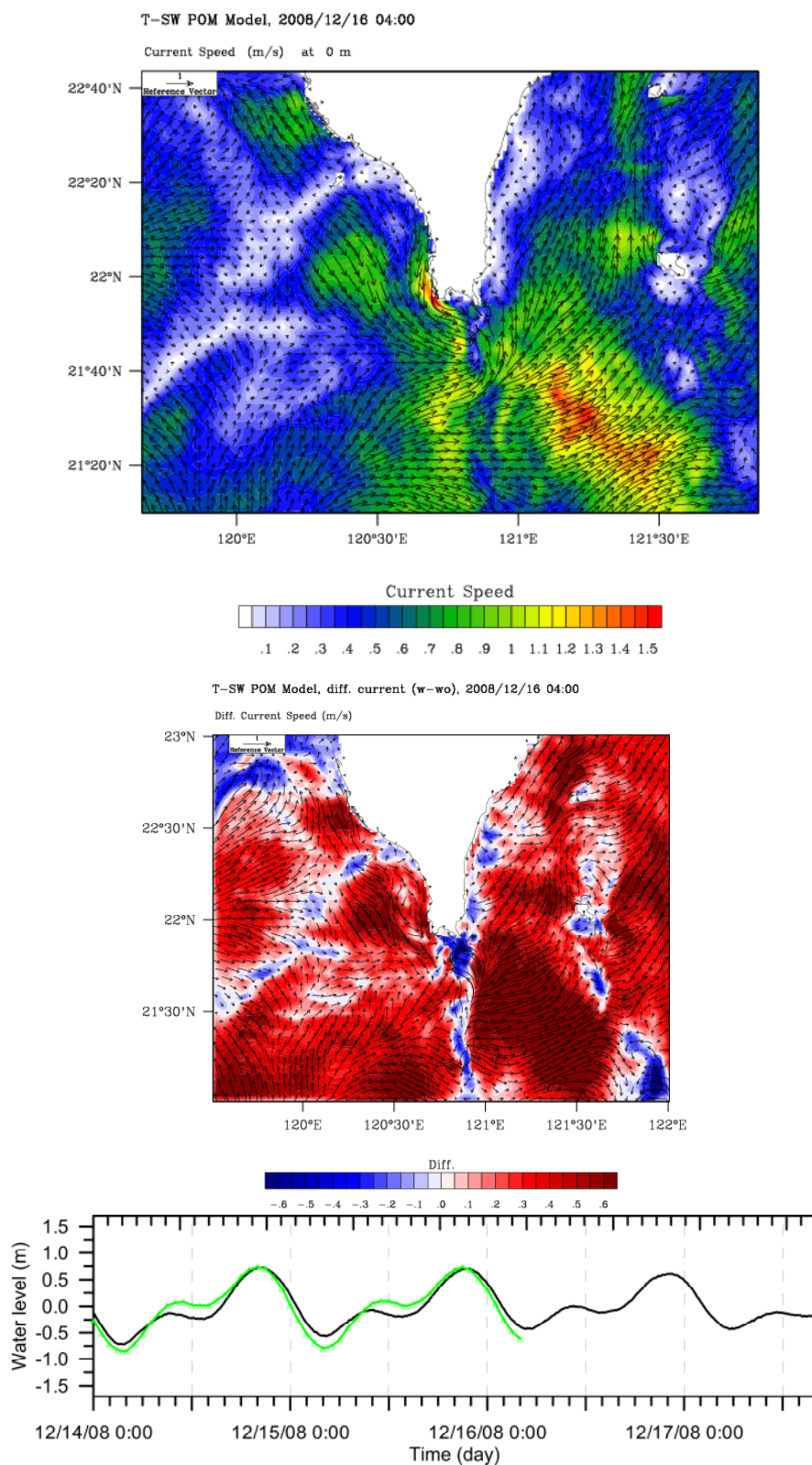


圖 4-59 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/16 04:00)



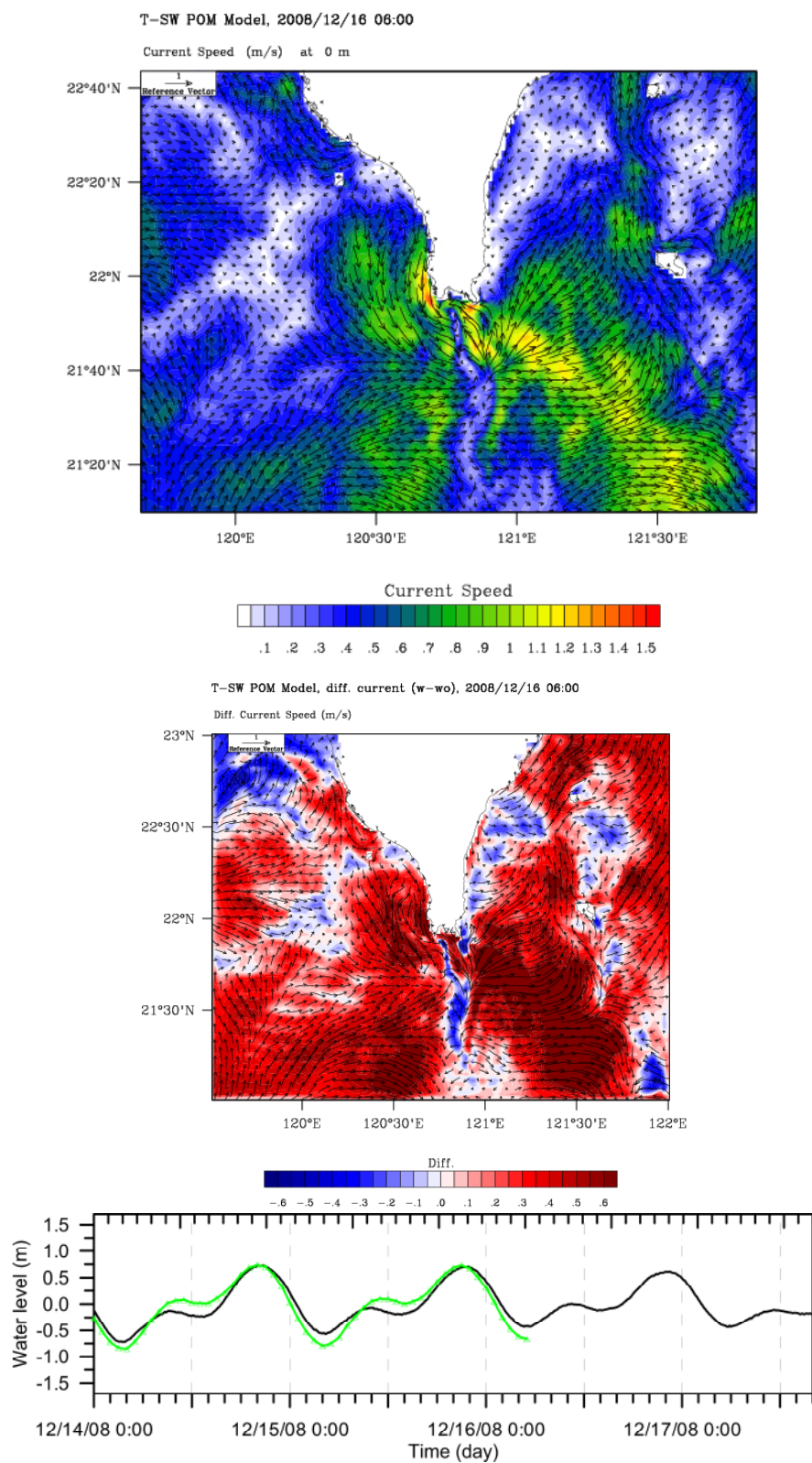


圖 4-60 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/16 06:00)

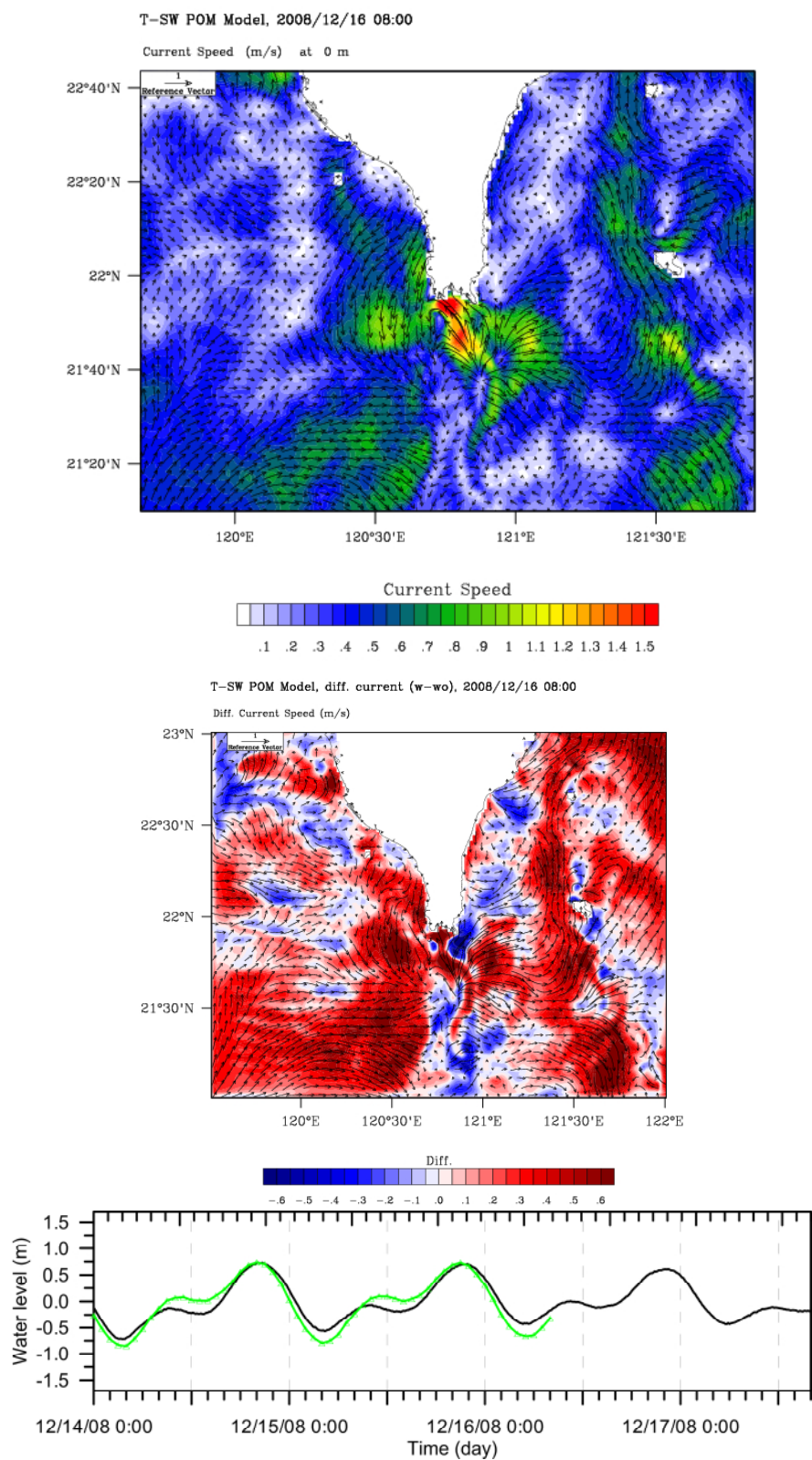


圖 4-61 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/16 08:00)

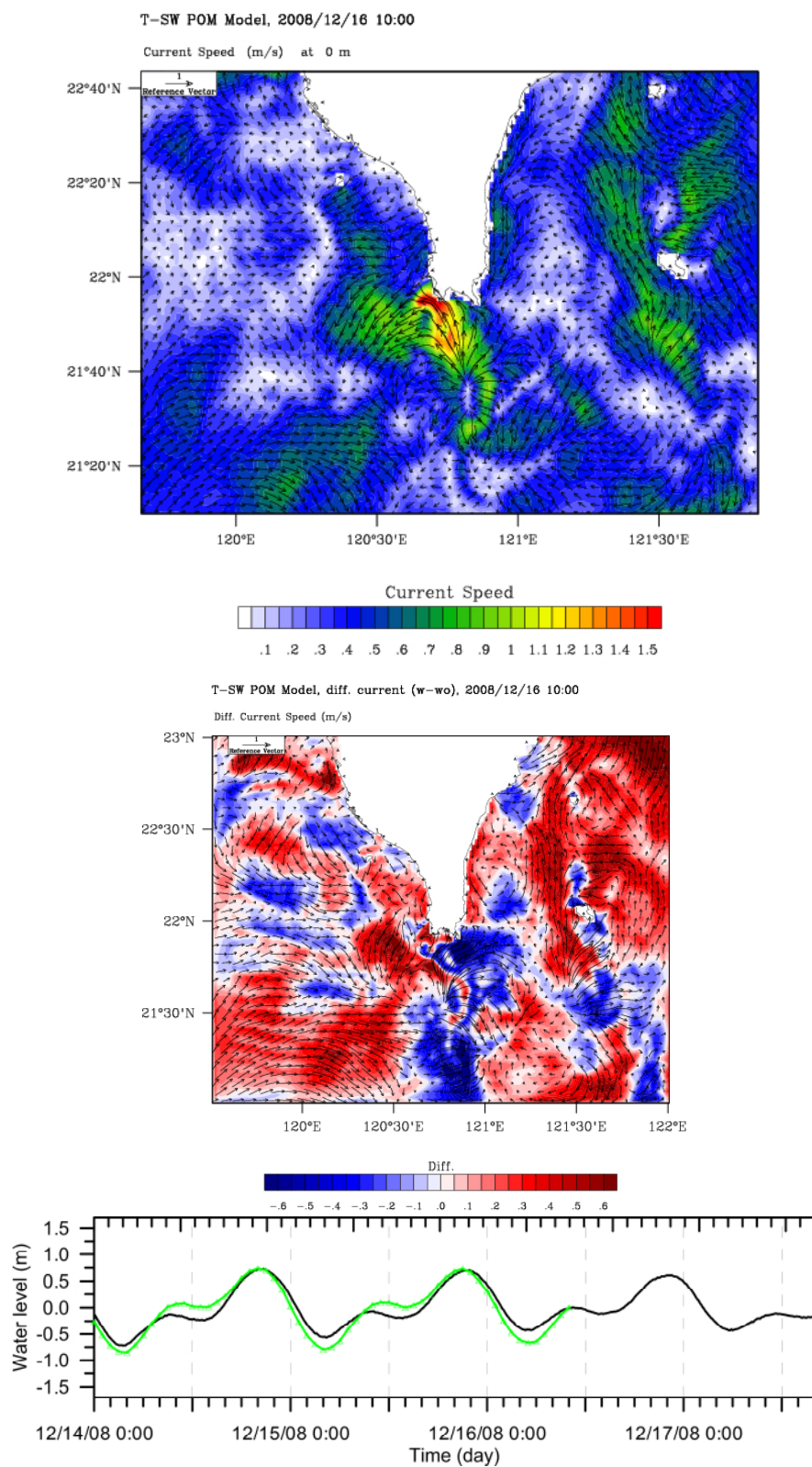


圖 4-62 台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速分布(表面流速分佈、流速差異分佈、高雄海域水位變化；台灣時間 2008/12/16 10:00)

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本計畫針對台灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，建置台灣海域洋流模擬系統。本年度計畫在已經建置之模式基礎上，利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度，並簡化前置與後置處理軟體與流程，強化系統與結果呈現方式，利用模擬結果分析台灣東部海域洋流與深層海水年季月特性。

1. 在模式建置方面，改善更新第一年計畫完成的作業流程與前後處理程序。在資料蒐集方面，蒐集模擬洋流所需的高時空解析度的海氣象資料，應用於模式邊界條件的海面風場、大氣壓力、溫度等。
2. 在模式測試方面，格網解析度不同可產生的洋流特性之可分辨性亦不同，利用高解析度格網來描述台灣海域洋流特性是必須的。而高解析度海洋模式須搭配高解析度海氣象資料庫，兩者解析度的同時提升有助於改善模擬結果。
3. 本年度計畫提高海氣象資料庫時空解析度之後，黑潮套流現象在各季節內皆會於模擬結果中出現，春冬季兩季所形成的套流流速略大於夏秋，其現象與一般所認知之黑潮特性相符。
4. 比較模擬結果與國科會海洋學門海流資料庫之資料，於花蓮外海之表面流速皆介於每秒 1 公尺至 1.5 公尺之間，黑潮於台灣東部海域出現流速最大值的位置相近，且流速與流向也具有合理的一致性。而透過斷面流速比較結果，台灣東岸黑潮主流於深度 300 公尺以上，不論是流速、東西及南北分量之模擬結果與實測資料於黑潮主流軸位置與流速深度分佈都具有合理之一致性。



5. 由 1991 至 2009 年之月平均流量分析，台灣東部海域黑潮流量穩定，平均流量為  $23.2 \pm 5$  Sv，冬季時最小夏季最大。而台灣海峽流量平均為  $3.1 \pm 1.5$  Sv，冬季流量可小於 1 Sv 以下。
6. 利用國科會海洋資料庫之水文資料的驗證下，模式於溫鹽度之年、季分布與特性均具有合理之一致性，但鹽度值略有偏小之現象。由台灣東部花蓮外海溫鹽度特性分析，20 米深度之溫度於夏秋之間出現最高值約為  $25 \sim 26^{\circ}\text{C}$ ，隨著深度增加，月平均最高溫度則略晚出現於秋季，至 500 米深度以下溫度月季變化則趨於不明顯。而鹽度變化方面，表面鹽度變化於黑潮流量最低之秋冬時節為最高，至水深 50 米深以下鹽度變化則趨於不明顯。
7. 關於浮標追蹤模擬結果，若要進行浮標追蹤模擬，高時空解析度的模式結果是必須的。而透過不同位置所施放浮標之軌跡模擬亦顯示，本計畫所建置的 POM 洋流模式具有定性定量上的可信度。
8. 由錨碇海流實測資料之驗證，不論是台灣東部海域或台灣海峽，模式雖未能準確模擬其觀測點位之流速變化，但其流速大小尺度並未嚴重偏差仍具有合理性。
9. 由岸基測流雷達實測值與模式模擬值之比較，於台灣東部海域黑潮流動描述上具有定性上一致性，但其流速尺度仍具有差距。由於岸基測流雷達具有短時間內量測大範圍海面流況之能力，可做為數值模式資料同化之實測值最佳來源，為模式預報準確性之關鍵性資料。
10. 由高雄海域近岸單點實測資料與模擬結果之比較，其結果與高雄海域單點測站之水位、流速、流向具有合理之一致性，表示欲模擬台灣西南近岸海域之海潮流現象，高解析度格網與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件。

## 5.2 建議

1. 本計畫利用四層巢狀計算方式，縮小計算範圍提高模擬的解析度，但巢狀格網計算方式之缺點為計算步驟繁複、需要大量資料儲存空間與計算時間，未來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。
2. 海氣交互作用邊界條件尚未完整測試與納入模式模擬流程之中。
3. 洋流與潮流混合模擬僅對台灣西南海域進行驗證，其餘台灣附近海域是否具有相同特性仍須進行探討與驗證。

## 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 1/8° 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. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
8. 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.
9. 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.



10. 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.
11. 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.
12. Kalnay et al. (1996) "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, pp.437-470.
13. 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.
14. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation," RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
15. Liu, C. S., S. Y. Liu, S. E. Lallemand, N. Lundberg and D. Reed. (1998) "Digital Elevation Model Offshore Taiwan and Its Tectonic Implications," *TAO*, 9 (4), pp. 705-738.
16. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans," *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.
17. Martin, P.J. (2000) *Description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0*, NRL Report No. NRL/FR/7322/00/9962, 45pp.
18. 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.
19. 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.
20. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.

21. 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*, Pinardi, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
22. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982) "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems," *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, pp. 851-875.
23. 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>.
24. 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.
25. Oey, L. Y. (2005) "A wetting and drying scheme for POM," *Ocean Modelling*, 9, pp. 133-150.
26. Oey, L. Y. (2006) "An OGCM with movable land-sea boundaries," *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.
27. 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.
28. 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.
29. 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.

30. 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.
31. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
32. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
40. 吳仁友 (1997), 「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」, 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。

41. 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。
42. 林政偉 (1999)，「感潮河段之計算研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
43. 莊文傑 (2000)，「台灣海峽潮波協振盪之研究」，國立台灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。
44. 黃良雄、吳仁友、曾鈞敏 (2001)，「感潮河口之水理計算—以鹽水溪為例」，中國土木水利工程學刊，第十三卷，第三期，533-541。
45. 葉姍霈 (2002)，「台灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」，國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。
46. 盧鴻復、吳朝榮 (2005)，「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」，海洋技術季刊第十四卷第四期，12-18。
47. 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」，四年期計畫執行中，國立中山大學。
48. 行政院國家科學委員會，海洋學門資料庫，<http://www.odb.ntu.edu.tw/wordpress/>。

## 附錄一 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

# 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

委託單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

承辦單位：國家實驗研究院

中華民國九十九年十一月

## 一、前言

本計畫透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性完成台灣海域的海潮流模擬。並建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續計畫所需的分析程式，以提供一有效工具模擬分析台灣海域之海潮流特性。本操作手冊「港灣技術中心研究中心 POM 模式操作手冊」詳細介紹本計畫所建置之「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式 IHMT-POM」的模式架構與操作流程，以提供使用者操作的依據。

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

## 二、模式架構

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

### 1. 模式檔案與目錄架構

在目錄架構方面，在使用者家目錄下首先建立一個模式運算目錄

IHMTpom，目錄中所應該包括 **bin**、**data**、**src**、**NCLscripts** 與模擬方案名稱如 **global**、**ncpo**、**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「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」第三章中所收集的海氣象與地形資料庫，**src** 目錄中則是放置程式的原始檔案可供使用者編譯與修改。而模擬方案名稱則是隨使用者自行建立，可依照模擬的方案命名。

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

f、for、f90：Fortran 程式語言檔。

sh：Linux 作業系統中 BASH 環境之命令腳本檔。

inp：為程式執行所需的輸出入的資料，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。

而各目錄中所包含的程式與目錄用途則分別說明如下，

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

*prepom.exe*：為 IHMT-POM 模式前置處理程式，目的為處理地形



與海氣象資料將其內插至模式格網上，其需要附檔名 *in* 之文字檔控制需要內插資料類別，其執行後會產生 *pomin.nc* 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。

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

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

**NCEP\_NCAR\_Reanalysis**：目錄中為 NCEP/NCAR 海氣象資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面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 IHMT-POM 模式的溫度與鹽度初始資料。

**C. src** 目錄：包含各種程式的原始碼。

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

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

**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 *ncmean.exe* 程式。

D. **project**：為計算方案主目錄，其名稱可由使用者隨計算方案而命名(如 *global*)，其中包含 **bin**、**include** 與 **inp** 等目錄架構，而計算模擬後的 NetCDF、pm 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. 編譯與安裝

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

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

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

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

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

```
> createproj.sh project
```

其中參數 `project` 為計算方案的目錄名稱，必須依照所建立的計算方案目錄名稱而更改，執行後會自動設定計算所需目錄架構。執行後會出現交談式使用者介面，使用者可依據計算方案之需求輸入計算方案的格網資訊、選擇所需的海氣象資料庫、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 IHMT-POM 模式參數檔，其中 **bin** 目錄會存放 `pom2k.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。在 `createproj.sh` 命令腳本執行後，會自動進行相關程式的編譯，並將程式安裝於指定的目錄中。

### 三、程式說明

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

## 1. 前置處理程式

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

```
#
# 計算方案起始時間
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
19981201.000000
#
# 模擬時間，單位為天
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
31
#
# 計算領域設定。第一與第二參數(115.0，15.0)為計算領域左下角經緯
# 度座標，單位為度。第三參數(0.05)為格網間距，單位為度。第四與第五參數
# 為 x 與 y 方向格網點數，第五參數為垂直方向格網點數，第六參數表示格網座標型式。
# 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
#
# IHMT-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
#
# 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_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
#
# 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_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
#
# 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_ersst_mon sst.inp 31
#
# 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)
#
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
#
```

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

## 2. 主程式 pom2k.exe

IHMT-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
!ihalo 為巢狀格網連接格網數
!C -- myproblem (iproblem=5)
      parameter(im= 301, jm= 301, kb= 21)
      parameter(ihalo = 10)
```

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

```
&params
```

```

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=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 重力加速度，預設值為 9.806
C
C      grav=9.806e0        ! gravity constant (S.I. units)
C-----
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
C      kappa=0.4e0         ! von Karman's constant
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 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
C      cbcmin=.0025e0      ! Minimum bottom friction coeff.
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 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      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      Background viscosity used in subroutines profq, proft, profu and
C      profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C      umol=2.e-5
C-----
C
C      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      vmax1=100.e0
C
C-----
C
C      Maximum allowable value of:
C
C      <difference of depths>/<sum of depths>
C
C      for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C      slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:
C 地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
C      slmax=2.e0
C
C-----
C
C      Integers defining the number of logarithmic layers at the
C      surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C      logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
C      at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C 垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C 數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定
C
C      kl1=6
C      kl2=kb-2
C
C-----
C
C      Water type, used in subroutine proft.
C
C      ntp      Jerlov water type
C      1          i
C      2          ia

```

```

C          3          ib
C          4          ii
C          5          iii
C 水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
C      ntp=2
C
C-----
C
C      Surface temperature boundary condition, used in subroutine proft:
C
C          nbct      prescribed      prescribed      short wave
C                   temperature      flux          penetration
C          1          no              yes             no
C          2          no              yes             yes
C          3          yes             no              no
C          4          yes             no              yes
C 海面溫度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
C      nbct=3
C
C-----
C
C      Surface salinity boundary condition, used in subroutine proft:
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

```

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

而執行 *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 *pom2k.exe* 放置於計算方案中 **bin** 目錄中，如欲單獨執行 *pom2k.exe* 程式，則在計算方案主目錄中輸入下列指令：

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

則會依照相關設定進行 *pom2k.exe* 的執行。模式執行後會輸出 *pom.prn* 與 *fort.71* 與 *pom2k.nc* 等檔案。*pom.prn* 為程式輸出於螢幕的資訊，*fort.71* 檔案為程式執行完成後所留存的重新啟動資料檔，若程式啟動時若有 *restart.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 *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. 後置處理程式

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

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



```

220.0, 230.0, 240.0, 250.0, 260.0,
&END
#
# NESTOUT 為巢狀格網輸出選項，可利用該選項輸出子格網的流速與水位邊界條件
# NGRID 為子格網地形格網，與母網格使用相同格式
# IM 為子格網 x 方向格網點數
# JM 為子格網 y 方向格網點數
# KB 為子格網 z 方向格網點數
# IUA 表示是否輸出流速邊界，1 表示輸出，0 表示不輸出
# DELT 表示輸出時間間距，單位為天
# NGFILE 為輸出之邊界檔名
#
&NESTOUT
  NGRID = 'topo.inp'
  IM = 201,
  JM = 201,
  KB = 16,
  IUA = 1,
  DELT = 31,
  NGFILE = 'nested.inp',
&END

```

則執行時請於命令模式下輸入，

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

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

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

其中 -I 參數後為輸入之資料檔名，-O 參數後為輸出檔名。

## 4. 命令腳本

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

```
> runpom.sh project 20010101 12 mother-nested-project
```

其中 *project* 為欲進行之計算方案名稱，20010101 為計算起始時間格式為 YYYYMMDD，12 表示計算模擬時間為 12 個月，*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)
#
115.0 15.0 0.05 301 301 21 1
#
# 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_mon slp.inp DD.D
#
# WIND (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_mon wind.inp DD.D
#
# SST DATA (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME TIME_DURATION)
#
noaa_ersst_mon sst.inp DD.D
#
# 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)
#
pom2k.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 *pom2k.20010101.nc* 等以月為時間單位之模擬結果。

## 四、繪圖與分析程式

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

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

```
> ncl ncl_script.ncl
```

如此可以繪製出相對應的圖形。而 NCLscripts 目錄中之 NCL 繪圖命令腳本與報告中相對應的圖形如附表 1 中所述，使用者可以選擇相對應的命令腳本來進行圖形的繪製，而 NCL 命令腳本中的內容亦可以

參考命令腳本中的說明自行調整。

**附表 1 NCL 命令腳本與圖形對照表**

NCL 命令腳本名稱	報告中之圖號
<i>pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn2N2.ncl</i> <i>pom_pltHeight_300m_global_ZoomIn2N2.ncl</i>	圖 4-6
<i>pom_pltHeight_0m_nwpo_ZoomIn2N1.ncl</i> <i>pom_pltHeight_300m_nwpo_ZoomIn2N1.ncl</i>	圖 4-7
<i>pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl</i> <i>pom_pltHeight_300m_taiwan.ncl</i>	圖 4-7
<i>pom_pltSection_taiwan_current_N.ncl</i>	圖 4-16
<i>pom_pltHeight_taiwan_ctd.ncl</i>	圖 4-21
<i>pom_pltSection_taiwan_ctd.ncl</i>	圖 4-22
<i>pom_pltHeight_t3_sw_vel_serial.ncl</i>	圖 4-51

## 附錄二 期中報告審查意見處理情形表

### 交通部運輸研究所合作研究計畫 ☒期中 ☐期末 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣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

計畫編號：MOTC-IOT-99-H3DB007

執行單位：財團法人國家實驗研究院

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
<b>一、陳陽益 委員</b> 1. 外側邊界條件 $\bar{U}_n = \bar{U}_n^0 + \sqrt{g/H}(\eta - \eta^0)$ 的線性化近似過於簡單，而未呈現更真實情況，非純網格的精度問題。 2. 建議浮標追蹤的 Lagrangian 方式，要以同一顆粒子轉換成 Eulerian 方式的本文之模式。 3. 以高雄港外海的海潮流計算的結果來驗證，才會有更準確的精度。	<b>意見答覆</b> 1. 巢狀格網邊界之近似方式是過於簡單，需要更多測試結果才能判定其對於模式之影響。 2. 期末報告將會增列兩種轉換方式所產生的影響。 3. 期末報告將以更多的外海資料來驗證，其可避免格網解析度不足所產生的影響。
<b>二、林銘崇 委員</b> 1. 數值模式驗證及相關資料處理分析相當詳盡。 2. 計算精度提高可改善計算結果物理特性，說明欠清晰。 3. 洋流與潮流之共同或分開處理，應可更加適切說明。	<b>意見答覆</b> 1. 謝謝委員的肯定。 2. 期末報告將增列說明海氣象資料庫與模式精度提高所產生的影響。 3. 期末報告將會加強說明此一部份的處理過程。
<b>三、蔡清標 委員</b> 1. 本研究主要以巢狀網格技術，進行全海域、中、及局部(東部)海域之洋流模擬，因此入流邊界條件給定的精度，影響模擬結果之精度，建議對入流邊界條件做深入的檢討。 2. 第 4-3 節各圖，本研究模擬結果與既有資料之比較，差異性原因建議加強檢討。另國科會資料庫網址應列出。 3. 圖 4-21 及 4-22，流速差異原因，可能與邊界條件的設定有關，應加強探討。 4. 本計畫之預期成果，包括對近岸潮流	<b>意見答覆</b> 1. 期末報告將會調整巢狀格網入流條件的更新頻率，採用日平均入流量代替期中報告中的月平均入流量，探討其對於模擬結果產生的差異。 2. 期末報告會透過更多驗證結果加強說明模式結果與實測資料之差異，資料引用出處亦會增列說明。 3. 圖 4-21 與 4-22 之流速差異可能與格網解析度或邊界條件之設定有關，期末報告亦會針對此模擬結果加強說明。 4. 現建置之模式解析度尚無法達成此一目標，希

<p>及海岸變遷潛勢之影響，但依目前的解析模式是否可達成？</p>	<p>望能透過更高解析度之巢狀格網模擬達成對於近岸流場之解析。</p>
<p><b>四、滕春慈 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成長時間海流模式積分，積分結果比較也表現合理。</li> <li>2. 幾點重要結論，在期末報告中宜加強論述：提高氣象解析對流模式的改善，是否意含有再增加解析度又會有不同結果，想要瞭解的研究題目，在何解析度已足夠，何者又不可為。</li> <li>3. 浮標追蹤軌跡實驗，不同模式解析度，結果不同，宜增加海流差異圖，增加論述的可信度。</li> <li>4. 由浮標追蹤軌跡實驗，是否意含有流模式的外力，可以使用較長時間的平均環流即可。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定，期末報告將會提出更完整之長時間積分結果。</li> <li>2. 在現有海氣象資料庫的限制下，提高海氣象外力之解析度，對於高格網解析度海流模式之模擬結果具有改善其合理性之效果。兩者之間的解析度具有何種關係，則有待於取得更高解析度之海氣象資料庫才有辦法判斷。</li> <li>3. 期末報告將增列更多驗證圖表，說明論述的可信度。</li> <li>4. 由現有結果看來，使用較高格網解析度海流模式結果來計算浮標追蹤，可以獲得較好之結果，故浮標追蹤實驗應需要更高時空解析度之模式結果。</li> </ol>
<p><b>五、毛正氣 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告 P4-7 中表 4-1 內 G1 模式範圍說明為 70°N~75°S，但是 P4-4 中說明為北至北緯 65 度，表 4-1 內之說明應有誤，請修正。</li> <li>2. 報告 P4-15 內敘述模式採用 1991 至 2000 年之模式結果計算年、季平均值。但又提到截至期中報告之前，模式尚未完成執行，故採用 1991 至 2000 年之結果與海流資料庫之 1991 至 2009 年實測資料進行比較，惟既然模式尚未完成 1991 至 2000 年之模式結果計算，如何有 1991 至 2000 年之模式結果進行年、季平均值計算？請說明。</li> <li>3. 報告 P4-19 中屬第三行「黑潮實測流速」應為「黑潮實測流量」，請修正。</li> <li>4. 報告 P4-27 提到所使用之浮標筆數眾多，為何僅比對 1 筆浮標追蹤軌跡模擬？請說明。</li> <li>5. 報告題目為「台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」，重點應在東部海域，為何報告 P4-30 中洋流與潮流混合模擬分析比較係採用高雄中洲海域之資料？請說明。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. P4-4 中說明有誤，期末報告將會更正此一說明。</li> <li>2. 此一說明未盡完善導致誤解，期末報告將會提出完整積分時間之結果，現預計積分時間為 1986 年至 2009 年，扣除模式穩定所需之 5 年時間，採用 1991 年至 2009 年之模擬結果與國科會海洋學門資料庫之 1991 至 2009 年之實測資料進行驗證與探討。</li> <li>3. 應為「黑潮實測流量」，期末報告將會修正此一錯誤。</li> <li>4. 期末報告將會以更多浮標追蹤結果來驗證模式合理性。</li> <li>5. 由於台灣東岸潮流流動現象並不明顯，為了探討潮流與洋流混合模擬結果之合理性，故採用水深較淺之台灣西部海岸實測資料進行驗證。</li> </ol>

<p>6. 報告題目為「台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」，但是報告 P5-2 建議第 2 項，僅提到要對模式之溫鹽變化進行驗證與比較，深層水質月季變動特性是否要進行分析？請說明，如不進行分析，則報告內容將與題目有所偏差。</p> <p>7. 報告題目為「台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」，報告 P5-2 建議第 3 項提到「針對台灣西南海域提高模式解析度，期望可大幅改善模式模擬能力」，但依據報告題目重點應在東部海域，為何要針對台灣西南部海域提高模式解析度？請說明。</p> <p>8. 報告 P5-2 建議第 4 項提到「海氣交互作用邊界條件尚未完整測試與納入模式模擬流程之中」，僅提到一個事實，建議作為並未說明，請修正。</p>	<p>6. 台灣東部海域溫鹽特性為本計畫重點項目之一，期末報告將蒐集台灣海域之溫鹽資料進行模式驗證，針對台灣東部海域之海水溫鹽特性進行探討。</p> <p>7. 根據潮流與洋流混合模擬於台灣西南海域之模擬結果，可能由於模式解析度導致無法獲致較佳模擬結果，希望透過提高模式解析度來探討此一問題。由於近岸海流模擬之可行性亦為本計畫重點，故以不同角度探討台灣東西部海域海流模擬之特性差異。</p> <p>8. 本年度計畫僅提出作法，預計明年度計畫進行海氣交互邊界條件的執行與驗證。</p>
<p><b>六、蘇青和 委員</b></p> <p>1. 模式驗證 P4-32 圖 4-21 高雄近海模式與觀測比對，流向甚為一致說明潮位相位邊界引用合理，但流速比對不管僅考慮潮汐外力，或潮汐外力加洋流比對誤差皆甚大，雖然加上洋流誤差減小，但近岸洋流之影響應甚微小，應不符精確改進要件，此現象應進一步檢核是否為其他因素造成，因為觀測有大小潮，但模式則無此現象。</p> <p>2. 本計畫探討台灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性，宜取東部海域較遠域觀測資料驗證(洋流特性應較顯著)，取圖 4-21 高雄靠近海岸觀測比對似較不宜，因為本模式目前引用之網格或水深等解析度，應不足探討有複雜地形之近岸流場問題。期末也建議加強洋流及深層海水水溫水質月季變動特性探討。</p> <p>3. 報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入中英摘要。</p>	<p><b>意見答覆</b></p> <p>1. 近岸海域是否受到洋流影響，驗證模式是否可合理模擬近岸海域之海潮流特性亦為本計畫研究重點之一。由於台灣西南海域流況複雜，故本計畫選擇台灣西南海域進行潮流與洋流混合模擬之探討，嘗試多種模擬方式希望能得到合理結果。</p> <p>2. 由現有結果可知，格網解析度不足以模擬台灣西南近岸海域海流特性，期末報告將提高巢狀格網解析度探討此一現象。同時將會增加台灣東部海域海水溫鹽度之模式驗證與特性探討。</p> <p>3. 期末報告將依規定增加中英文摘要。</p>



七、簡仲璟 委員	意見答覆
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工作項目與預期成果請針對本計畫說明，勿全部引用本中心主計畫「台灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之內容。</li> <li>2. 格網範圍及其邊界條件，格網解析度對模擬結果的影響，建議再作詳細探討及說明。</li> <li>3. 模式計算結果之驗證，建議增加觀測資料(非僅高雄港實測或浮標追蹤)作更進一步的比較。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將於期末報告中區分總計畫與本年度計畫工作項目與預期成果。</li> <li>2. 格網範圍已於去年度計畫進行探討，故選定本年度計畫模式範圍，而期末報告將針對格網解析度與邊界條件進行說明與探討。</li> <li>3. 期末報告將增加更多單點實測資料與模式結果的比較與驗證。</li> </ol>

## 附錄三 期末報告審查意見處理情形表

### 交通部運輸研究所合作研究計畫 □期中☑期末 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣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

計畫編號：MOTC-IOT-99-H3DB007

執行單位：財團法人國家實驗研究院

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形
<p><b>一、 陳陽益 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開放邊界流速邊界條件(2-48)至(2-50)式中之 BC 由使用者自行指定之值為何？而此三式之合理性如何？(2-87)式建議把 <math>\eta</math> 改成以 <math>a \cos(kx \cos \theta + ky \sin \theta - \sigma t)</math> 方式來表示較好。</li> <li>2. 密度分佈有落差表示有密度層非均勻分佈，故使用連續式(2-1)式與壓力式(2-4)(含 2-5 式)或有改進的空間。</li> <li>3. POM 模式中的各係數如何定出應說明其為何？同時，把它作垂直斷面平均下，其可達到的精度為何？</li> <li>4. 浮標追蹤的 Lagrangian 方式轉換成同一顆粒的 Eulerian 方式，在考量純黑潮潮流(因其有垂直 z 方向的流速分佈)時，需考慮 z 方向的流速分量，而非只純如本人做潮汐長波的潮流時可把 z 方向流速分量忽略掉。</li> <li>5. 海流加潮汐(含潮汐長波與潮流)是含有不均勻流與(長)波的交互作用，那很複雜，尤其是三度空間的隨時變化。</li> <li>6. 高雄港附近的海流，除有第 5 點因素外，還包含邊界效應及斜坡對波流的影響，很複雜，建議以特性趨向相似來說明即可。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 式(2-48)至(2-50)之 BC 值為邊界水位或流速值，其為巢狀格網上層邊界水位或流速給定，或由潮汐模式 NAO99b 所給定，已加強文中說明。</li> <li>2. 模式假設為靜水壓力與 <math>\sigma</math> 座標系統，有許多研究已指出在地形坡度極大的地方，有密度分布上的問題。</li> <li>3. 本計畫所使用模式參數如表 4-3 中所示，本計畫所使用的垂直分層數為 21 層。</li> <li>4. 本計畫中作為浮標追蹤的流速為模式中表層流速，現階段並未考慮垂直方向的變化。</li> <li>5. 如委員所述海流與潮汐間的交互作用應相當複雜，本計畫僅考慮以線性方式疊加海流與潮汐邊界條件進行模擬，仍有許多討論與改善的課題。</li> <li>6. 本計畫於高雄港附近海域的海流模擬在定性上具有合理性，但仍有許多精度改善的課題有待克服。</li> </ol>
<p><b>二、 林銘崇 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 洋流與潮流混合模擬計算，處理過程可作適度說明。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 於 4.9 節中增加圖 4-39 與補充說明於文中。</li> </ol>

2. 傳輸量之探討，除流量外，動量與能量通量變化亦有其分析探討之重要性。	2. 動量與能量變化的探討有其重要性，明年度計畫中可增加探討，以了解更多海流變化的特性。
3. 浮標追蹤計算，質點速度似取自 POM 模式結果，其可能誤差為何？	3. 浮標追蹤計算之誤差除了模式速度模擬的誤差外，模式資料之時空間距大小亦可能產生內插時的誤差。
<b>三、 蔡清標 委員</b> 1. 本計畫重點在於以實測資料進行 POM 模式中邊界條件設定及參數校驗，並探討臺灣海域洋流水動力特性及深層海水物理性質之年、季、月變動特性，研究成果優良。 2. (2-5)式， $\eta$ 未定義。 3. 2.6 節中，以 (U, V) 符號表示為 Lagrangian 流速，但由 2.2 節，(U, V) 卻為 Eulerian 流速？而本節 Lagrangian 與 Eulerian 流速之轉換為線性關係，其假設條件應說明。 4. 各月季變動模擬特性之模擬結果所代表的物理意義，建議有所探討。 5. 4.4 節中，實測流速小於模擬結果之原因探討，請再檢討。 6. 圖 4-24 月平均溫度之最大值，每年似呈現在不同月份，其原因何在？ 7. 圖 4-29，No.62305（文中誤植為 63205）浮標與實測流向之差異，是否與地形特性或模擬網格有關，值得進一步探討。 8. 國科會海洋學門資料庫，應列於參考文獻中。 9. 中文摘要，應敘述模擬之重要結果。 10. 建議 4 年之分年工作項目，於 1.3.1 中全部列出。	<b>意見答覆</b> 1. 謝謝委員肯定。 2. 已增加說明於式(2-5)之後。 3. 已重新定義符號表示，以示區隔。而本計畫假設 Lagrangian 與 Eulerian 之間為線性關係之轉換，且假設 $\Delta t$ 時間內流體速度無變化。 4. 已於文章中增加對於模擬結果的特性分析。 5. 已重新描述黑潮套流現象不明顯之可能原因。 6. 已修正，原因為繪圖軟體操作錯誤造成座標軸位置混亂。 7. No.62305 浮標模擬無法合理預測方向，可能是格網解析度造成無法合理表現出此區域之地形特性所產生之海流變化，建議未來計畫可以持續探討此現象。 8. 謝謝委員指正，已增列。 9. 已重新編寫中英文摘要，增列重要結果。 10. 本計畫為一年期計畫，計畫來源為委託單位之四年期總計畫，四年度之分年工作項目委託單位並未說明，故僅列出本年度工作項目。

<p><b>四、 滕春慈 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>計畫內容及工作項目和計畫一致。計畫工作分量充足，結果非常令人滿意，尤其是浮標追蹤的實際位置和式結果非常一致，效果非常成功。</li> <li>模式校驗工具使用很多，結果又具有一致正確性，模擬的結果效果非常成功。</li> <li>圖 4-32~4-37，建議觀測資料，修改為每日一筆，使觀測和模式資料比較時，減少資料時間頻率不一致所引起的問題。</li> <li>圖 4-49~4-60，建議增加時間差異圖，以便更清楚表示潮流方向及流場的變化。</li> <li>浮標編號 63200、63205 似乎有誤，請檢查。</li> <li>請考慮 codar 資料比對是否有必要放入，尤其最後文提出資料沒有被檢定。</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>謝謝委員肯定，浮標追蹤仍有某些位置之海流特性無法掌握，未來將持續探討改善。</li> <li>謝謝委員肯定，本年度蒐集許多實測資料進行模式驗證，從各種實測資料面向進行探討與校驗，其成果有助於改善模擬合理性。</li> <li>謝謝委員指教，將所有錨碇觀測資料以日平均值繪製觀測資料時序列圖，提供相同基準下之比較。</li> <li>期末報告將增列有無海流邊界影響之差異圖，說明驗證結果。</li> <li>兩者實測資料無誤，其為模式尚無法準確模擬每一處之流場特性所致。</li> <li>CODAR 資料尚未校驗，故本計畫僅提供一種資料校驗的可能性，並探討兩者海流資料特性之差距。</li> </ol>
<p><b>五、 毛正氣 委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>P3-8 至 P3-9 中的 ETOPO2 及 ETOPO1 地形水深資料庫格式內空間資訊之緯度為 0.0S~0.0N，應為 90.0S~90.0N；ETOP01 地形水深資料庫格式內空間資訊之網格點數請再確認；另外國科會海洋學門水深資料庫格式內空間資訊之經緯度數值及網格點數請再確認。。</li> <li>P4-3 提到「在臺灣海峽的洋流情形因受季風之影響」，而 N2、T3 模式所使用之風場資料均來自 NCEP/NCAR Reanalysis 1，依其資料顯示，臺灣海峽冬季風力大部分均在 30 節以下，但實際上臺灣海峽冬季風力常有 30 節以上，甚至 40 節以上情況發生，小區域高解析(1/16 度及 1/64 度)模式使用 NCEP/NCAR Reanalysis 1 風力資料是否恰當？</li> <li>P4-24 至 P4-26 剖面圖網格圖案是表示陸地或無資料請統一，例如 P4-25 圖 4-17，國科會資料以網格表示無資料(水深 20 公尺以上部份)，縱軸水深</li> </ol>	<p><b>意見答覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>水深資料庫之相關資訊，已於文章說明中修正錯誤之處。</li> <li>由 4.3 節之測試中發現，外力風場之解析度會隨著模式格網解析度的大小而影響模擬結果，小區域高解析度的模式需要較高解析度之海氣象外力來驅動，才可產生較佳之模擬結果，考慮本計畫中之 1/16 或 1/64 度模式使用 NCEP/NCAR Reanalysis 1 風場確實會造成局部區域海流預測不合理之可能性，未來模式會考慮採用更高解析度的海氣象資料來進行模擬。</li> <li>修正國科會海洋學門資料庫之海流資料斷面圖，使其與模式結果斷面流速分布圖具有一致的表示。</li> </ol>

<p>超過海底部分則以空白表示，模式資料則以網格表示縱軸水深超過海底部份。</p>	
<p>4. P4-27 內圖 4-19 及圖 4-20 橫軸有 2 個 92 年，請說明。。</p>	<p>4. 已修正此錯誤。</p>
<p>5. P4-27 內圖 4-20 部份月份月平均流量小於 0(例如 1995 年下半年)，此部份並不合理，請說明。。</p>	<p>5. 圖 4-20 表示台灣海峽內之流量，在冬季時期，由於東北季風盛行使海峽內流速向南，故形成流量為負值，其負值亦表示向南流動。</p>
<p>6. 建議 P4-24 至 P4-26 及 P4-33 至 P4-34 國科會海洋學門海流(海洋水文)資料庫及臺灣海域模式結果比較圖橫軸座標能統一。。</p>	<p>6. 由於繪圖軟體 NCL 所限制，其橫軸座標與模式解析度有關，將盡力於後續修改其限制。</p>
<p>7. 建議 P4-43 臺灣附近海域錨碇海流測點位置圖標示所驗證之測站位置。</p>	<p>7. 已修正圖 4-31 之表示，清楚標示所驗證測站位置。</p>
<p>8. 建議 P4-52 高雄中州海域 ADCP 位置以圖標示；另外 P4-65 至 P4-76 亦將高雄中州海域 ADCP 位置標示在圖上。</p>	<p>8. 增列高雄中州海域 ADCP 測站位置圖於圖 4-39 中。</p>
<p>9. 報告中提到「…提高海氣象資料庫時空解析度…」，但是實際使用的海氣象資料僅較前 1 年所使用的資料提高時間解析度，空間解析度並未提高，建議相關敘述予以修改。</p>	<p>9. 時間解析度於風場、海面溫度皆有提高。而 NOAA OI SST 之空間解析度為 1 度，較 NOAA ERSST 空間解析度 2 度為高。</p>
<p>10. P5-3 建議事項第 2 點「海氣交互作用邊界條件尚未完整測試與納入模式模擬流程之中」僅是闡述一個事實，並無建議事項，建議予以修正說明規劃模式模擬納入期程，另外建議 P2-19 至 P2-21 內 2.5 海氣交互介面邊界條件因本年度尚未採用，建議予以刪除</p>	<p>10. 謝謝委員指正，已刪除海氣交互作用之相關說明，以避免誤導讀者。</p>
<p>11. 建議附錄 2-7 計算領域設定之說明所使用之參數與下方實際使用參數一致，以避免造成誤解。</p>	<p>11. 已修正相關說明，避免誤解。</p>
<p>12. 相關資料處理分析相當詳盡，且由今年度長時間數值模式積分，配合數值模式驗證顯示，數值模式模擬結果表現合理。</p>	<p>12. 謝謝委員肯定，若能爭取明年度計畫將更進一步朝向更小區域海潮流模擬與模式預報化進行。</p>

六、 簡仲環 委員	意見答覆
<p>1. 深層海水水溫水質月季變動特性(本年度工作項目 6)於本報告書中無對應之研究結果說明，為符合本計畫名稱，建議補充。</p> <p>2. 此外，報告書所列其他工作項目也請一併查對。例如台灣海域海流模擬作業化系統的建立(本年度工作項目 8)、台灣海域質點追蹤系統的建立(本年度工作項目 9)等之研究工作成果如何？請補充。</p> <p>3. 由於台灣海峽有黑潮分支，故台灣中部近岸海域之海流模擬是否也應如同西南海域一樣，同時考量潮流及洋流(黑潮)？</p>	<p>1. 海水水溫鹽度變動特性於4.4節之東部海域深層海水物理溫鹽特性探討分析中說明，並重新編排章節，以凸顯內容。</p> <p>2. 透過有系統的開發前置、模式與後置程式，建立可作業化的模擬流程，並為了作業化之需求，透過技術手冊詳盡說明本計畫所使用之程式步驟、操作方式、參數設定、圖形與資料分析繪製方式，以利技術轉移至委託單位。而本年度亦開發質點追蹤程式，其成果如 4.6 節之台灣海域質點追蹤系統之建立與驗證中所示，本計畫已完成本年度預定之工作項目。</p> <p>3. 如 5.2 節建議所述，台灣海域海潮流交互作用複雜，仍需進一步測試驗證後才可知台灣中部海域之海潮流特性。</p>

## 附錄四 期末報告簡報資料

### 「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」- 期末簡報

計畫主持人：廖建明 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心 副研究員

協同主持人：許泰文 成功大學水利及海洋工程學系教授兼系主任  
何興亞 國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心 副主任

兼任助理：石棟鑫 杜佳穎 王毓麒 陳俊文  
國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心

國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

### 摘要

本計畫針對台灣東部海域之洋流特性進行探討，探討洋流與深層海水之年季月之變化特性。本計畫為四年期總研究計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第二分年研究，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性模擬海域的海流變動，利用其結果分析其洋流變動特性。

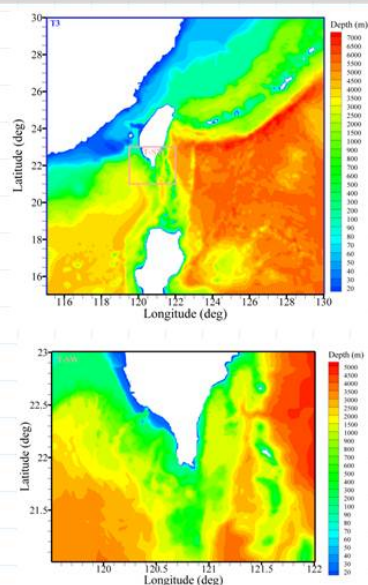
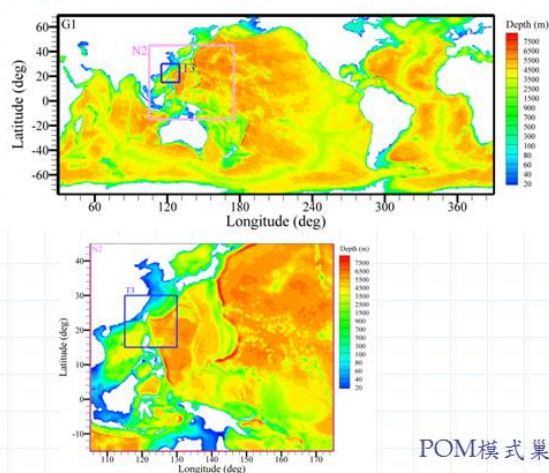
主要工作項目為延續第一年計畫成果，本年度預計持續改善POM海洋數值計算模式、資料輸出入處理系統與模擬成果展示系統、作業化模擬系統；進行模式參數調校與驗證、分析台灣東部海域洋流與深層海水水溫與水質之年季月變動特性。

P.2



## 台灣海域洋流模擬-模式設定

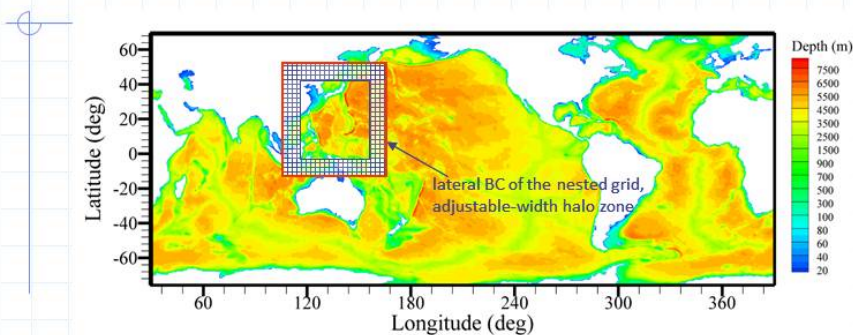
模式	模式範圍	解析度(deg)	計算時距(sec)
G1	180E~180W, 70N~75S	1/2	30
N2	105E~175E, 15S~45N	1/5	20
T3	115E~130E, 15N~30N	1/16	6
T-SW	119E~122E, 21N~23N	1/64	2



POM模式巢狀計算範圍與地形水深圖

P.3

## 巢狀格網之邊界條件



### lateral BC of nested grids

- at the boundary  $\bar{U}_n = \bar{U}_n^0 + \sqrt{\frac{g}{H}}(\eta - \eta^0)$  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  $\eta$  為水位

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial t} + U \frac{\partial(T, S)}{\partial x} = 0 \quad \text{Upstream advection scheme}$$

- in the halo zone  $U_i = U_i + \left(1 - \tanh\left(4 \frac{\Delta x_i}{L}\right)\right) \left(U_i^0 - U_i\right)$  下標i表示據邊界格網第i點處之值

P.4

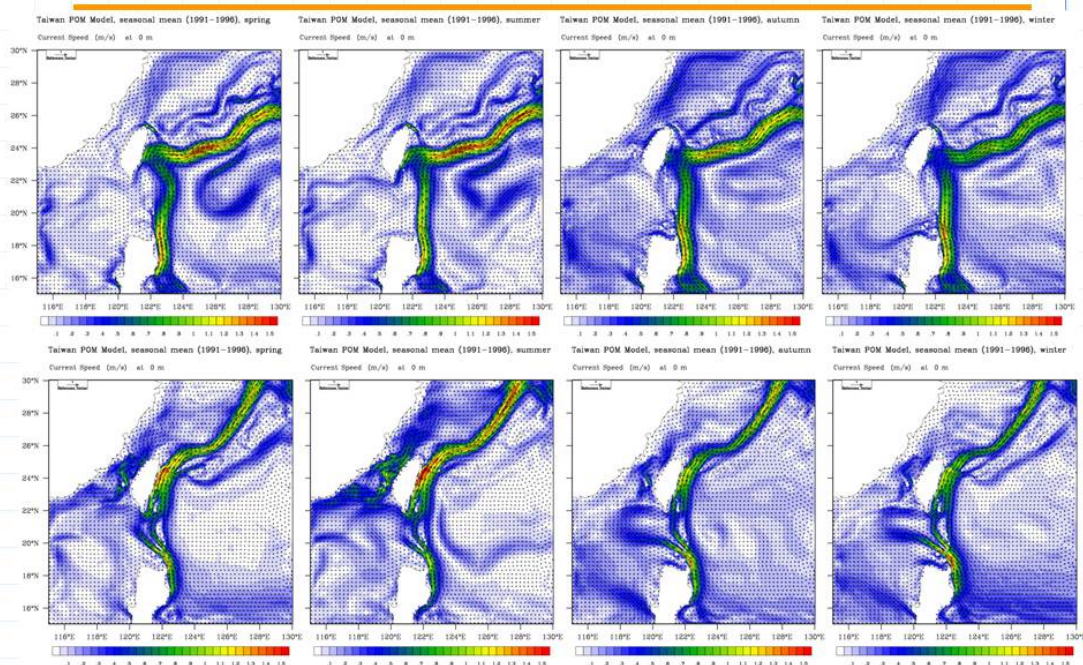
## 模式設定-模式計算背景資料

模式	地形水深	海面風場	海面溫度	計算起始時間	計算時間(註)	巢狀邊界更新時間
G1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1986/01/01	53 min	無
G1-1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01	53 min	無
N2	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1986/01/01	34 min	月平均
N2-1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01	34 min	日平均
T3	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1986/01/01	50 min	月平均
T3-1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 日平均	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01	50 min	日平均

註：以雙四核心Intel Xeon 3.0GHz電腦於SUSE Enterprise 10 Server上執行，利用OpenMP進行POM模式平行化，使用八核心計算模擬一個月所需之時間。

P.5

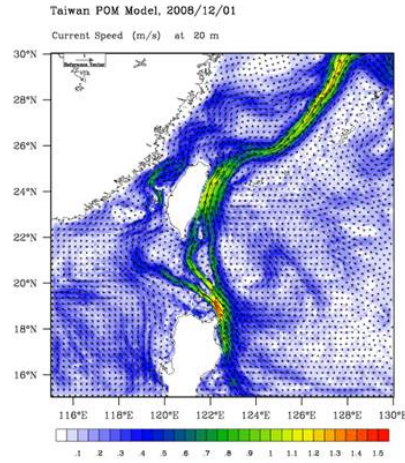
## 應用不同海氣象資料庫之測試



台灣海域模式春、夏、秋、冬季之表面流速與流向分佈(上側T3模式；下側T3-1模式；1991-1996年)

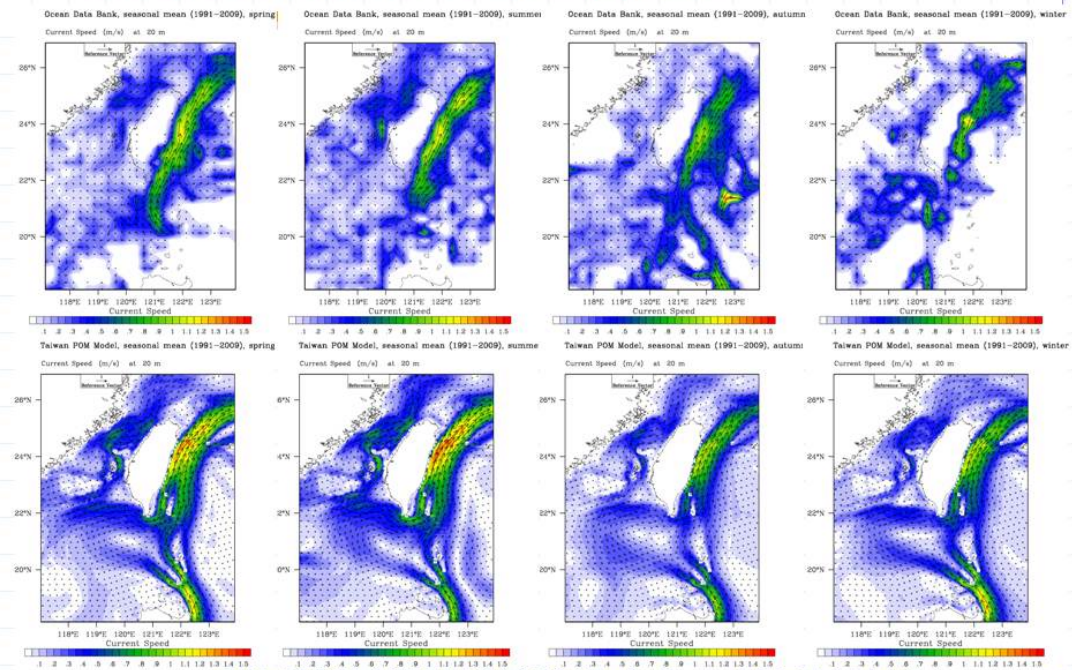


## 台灣海域洋流模式驗證 (1/10)



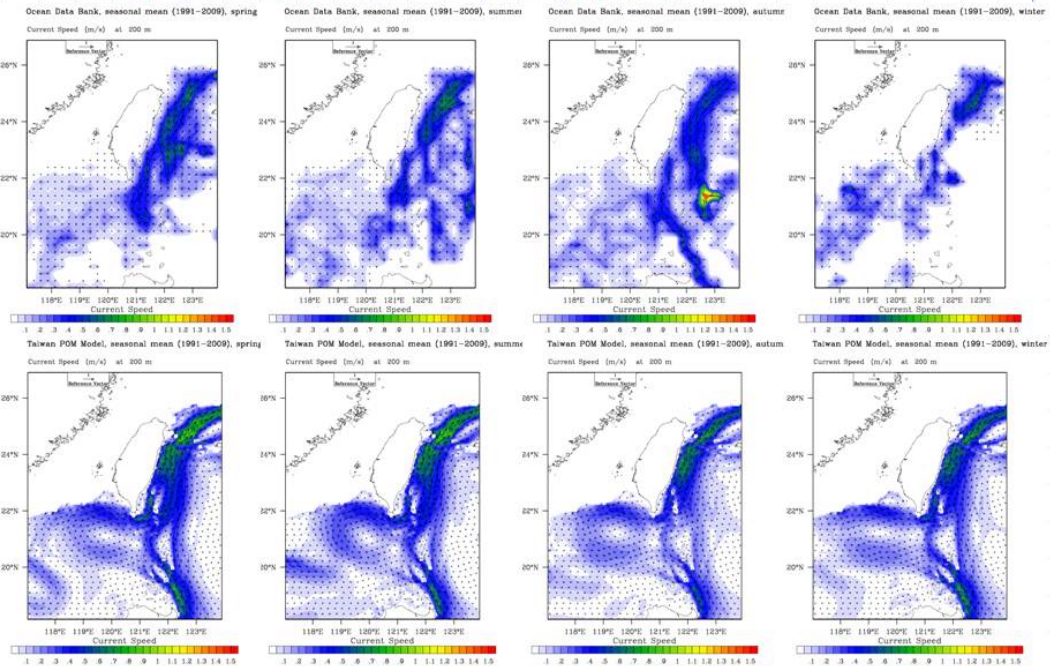
台灣海域模式結果動畫(2008年12月;日平均)

## 台灣海域洋流模式驗證 (2/10)



國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏、秋、冬季平均流速流向比較  
(上側：資料庫；下側：T3-1；水深20公尺)

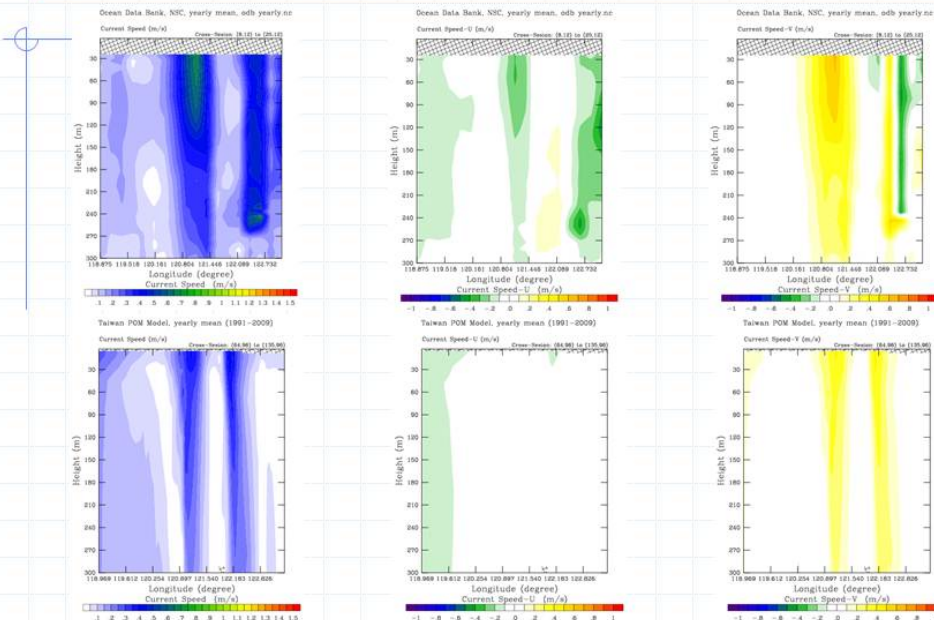
## 台灣海域洋流模式驗證 (3/10)



國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏、秋、冬季平均流速流向比較  
(上側：資料庫；下側：T3-1；水深200公尺)

P.9

## 台灣海域洋流模式驗證 (4/10)

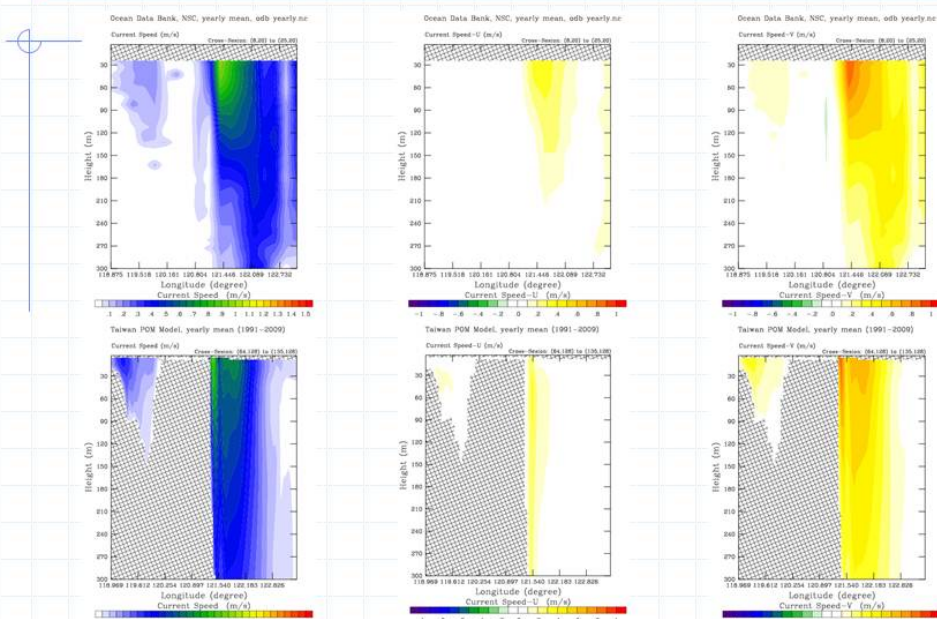


國科會海洋學門海流資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1;下側)  
結果通過21.0°N斷面之年平均流速分布比較圖

P.10



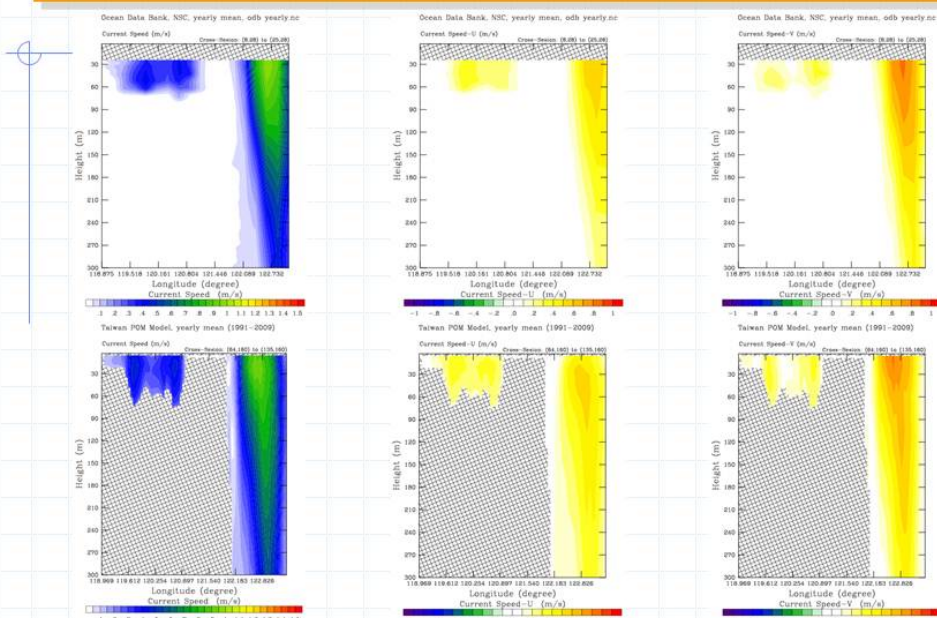
## 台灣海域洋流模式驗證 (5/10)



國科會海洋學門海流資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1;下側)  
結果通過23.0N斷面之年平均流速分布比較圖

P.11

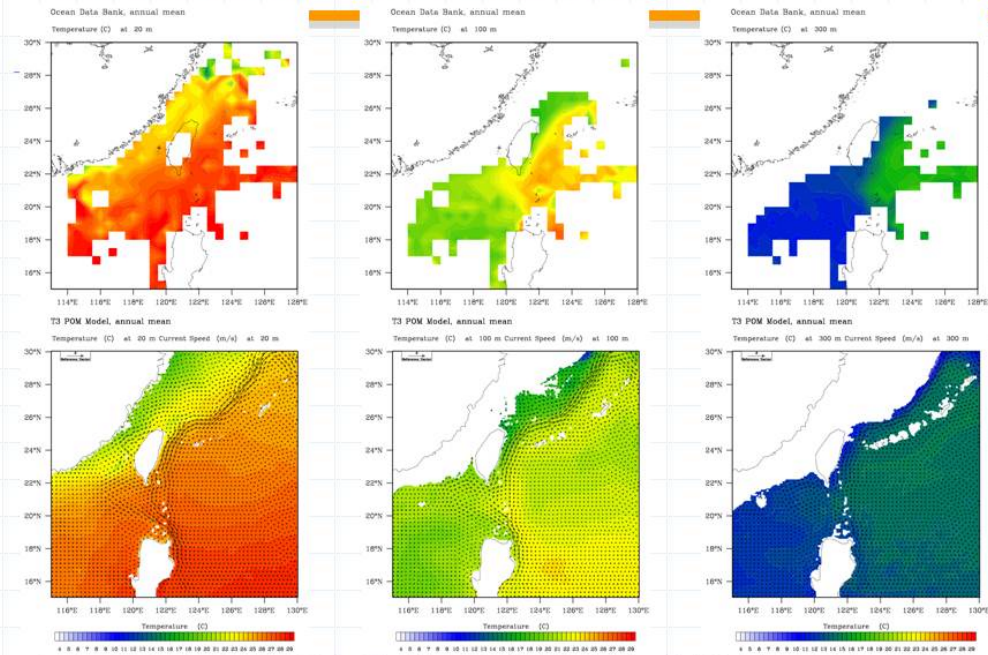
## 台灣海域洋流模式驗證 (6/10)



國科會海洋學門海流資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1;下側)  
結果通過25.0N斷面之年平均流速分布比較圖

P.12

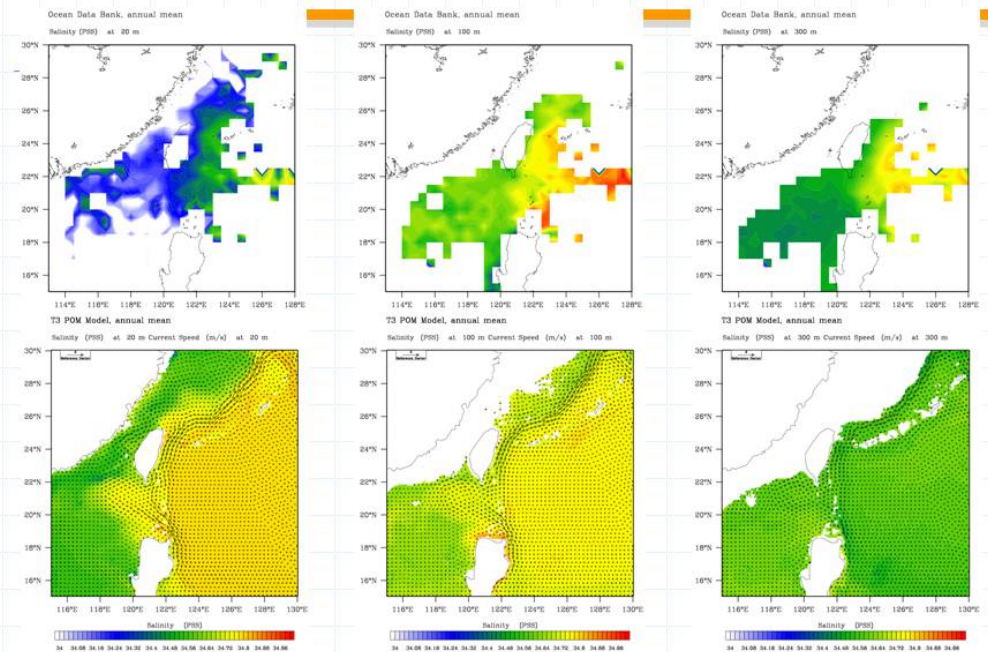
## 台灣海域洋流模式驗證 (7/10)



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

P.13

## 台灣海域洋流模式驗證 (8/10)

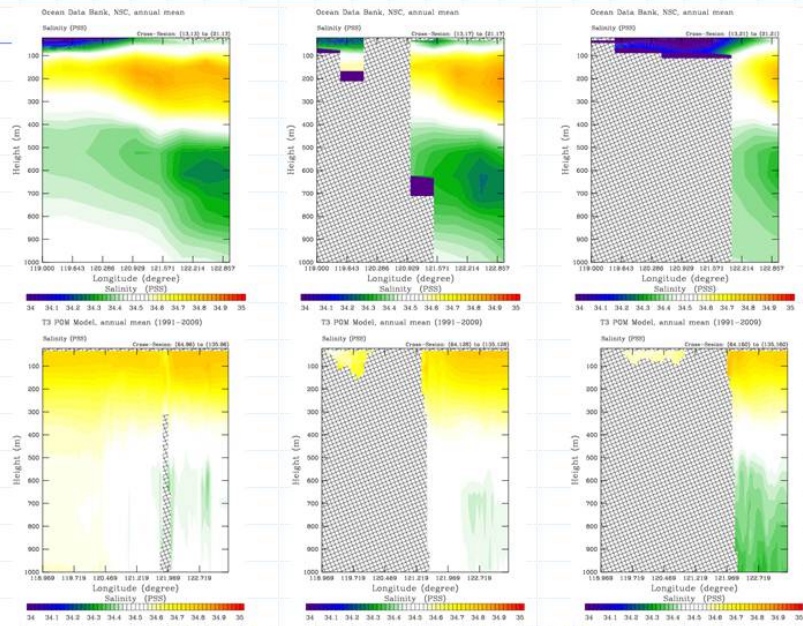


國科會海洋學門海洋水文資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1;下側)結果之年平均鹽度比較圖(水深20、100、300公尺)

P.14



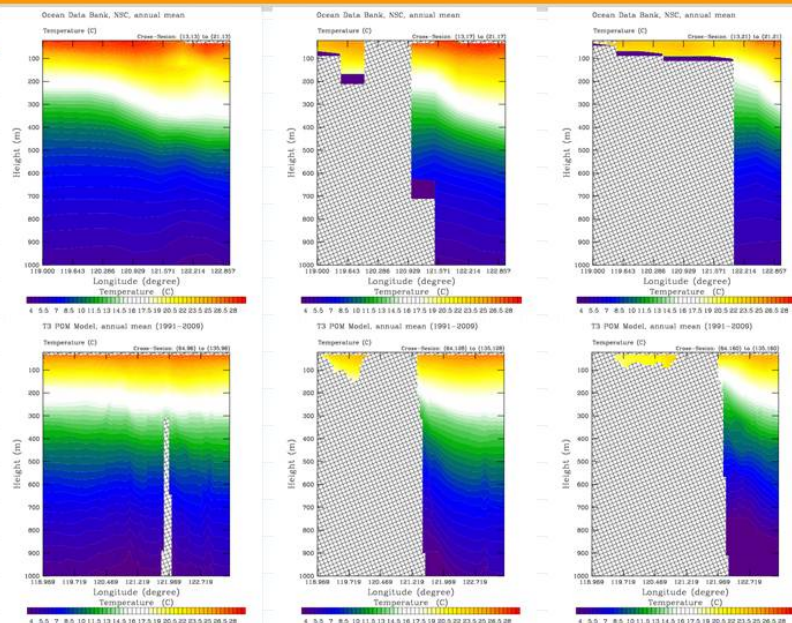
## 台灣海域洋流模式驗證 (9/10)



海洋學門海洋水文資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1;下側)結果  
通過21.0N、23N及25N斷面之年平均鹽度分布比較圖

P.15

## 台灣海域洋流模式驗證 (10/10)



海洋學門海洋水文資料庫(上側)與台灣海域模式(T3-1;下側)結果  
通過21.0N、23N及25N斷面之年平均溫度分布比較圖

P.16

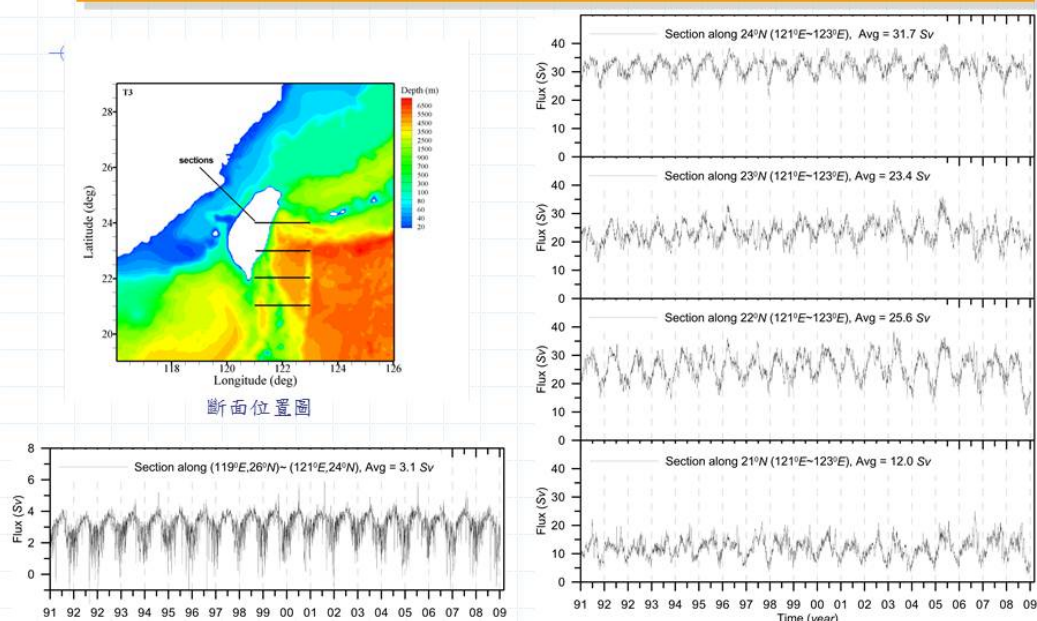


## 台灣海域海流與水文特性 (1/3)

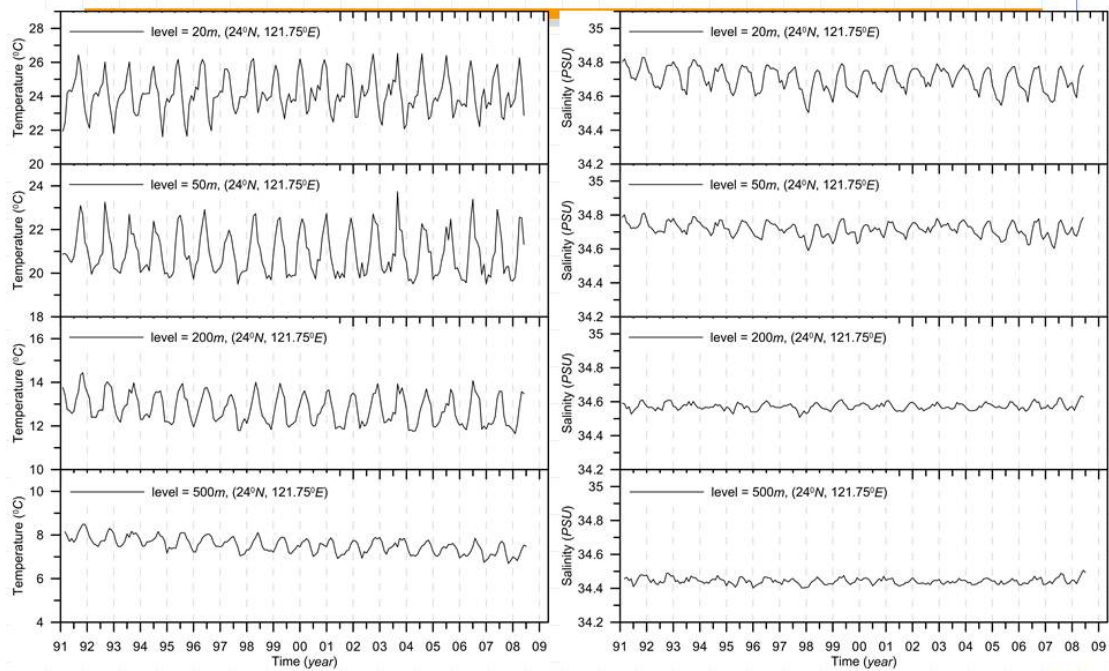
### 黑潮傳輸量之變化 (Kuroshio transport), Hsin et al. (2008)

Publication	Period	Position	Method	Mean Q, Sv
Chu (1970)	Sep 1965-May 1967 (4 cruises)	21.75-23.75N	geostrophic (RD=800 dbar)	17.5-20.4
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. (2008)	1982-2005	22-25N	numerical study (POM)	28.4±5.0, 32.7±4.4

## 台灣海域海流與水文特性 (2/3)



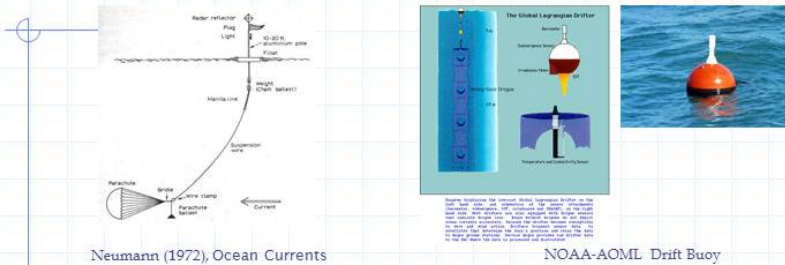
## 台灣海域海流與水文特性 (3/3)



台灣東部海域(121.75E,24N)處之月平均溫鹽度時序列圖(點位於花蓮市外海10公里處)

P.19

## 浮標追蹤驗證 (1/4)



Neumann (1972), Ocean Currents

NOAA-AOML Drift Buoy

若在同一顆流體質點之考慮下，以Eulerian與Lagrangian之流速為同值

$$x = x_0 + \int_0^t U(x_0, y_0, t') dt' = x_0 + \Delta x_0(t)$$

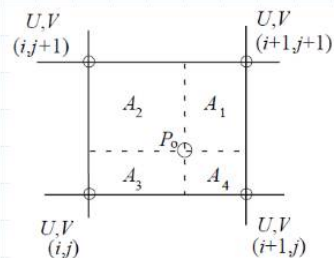
$$y = y_0 + \int_0^t V(x_0, y_0, t') dt' = y_0 + \Delta y_0(t)$$

假定質點位於 $P_0$ 點，其質點速度分別表示為

$$U_m^n = \frac{A_1 \cdot U_{i,j}^n + A_2 \cdot U_{i+1,j}^n + A_3 \cdot U_{i,j+1}^n + A_4 \cdot U_{i+1,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

$$V_m^n = \frac{A_1 \cdot V_{i,j}^n + A_2 \cdot V_{i+1,j}^n + A_3 \cdot V_{i,j+1}^n + A_4 \cdot V_{i+1,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

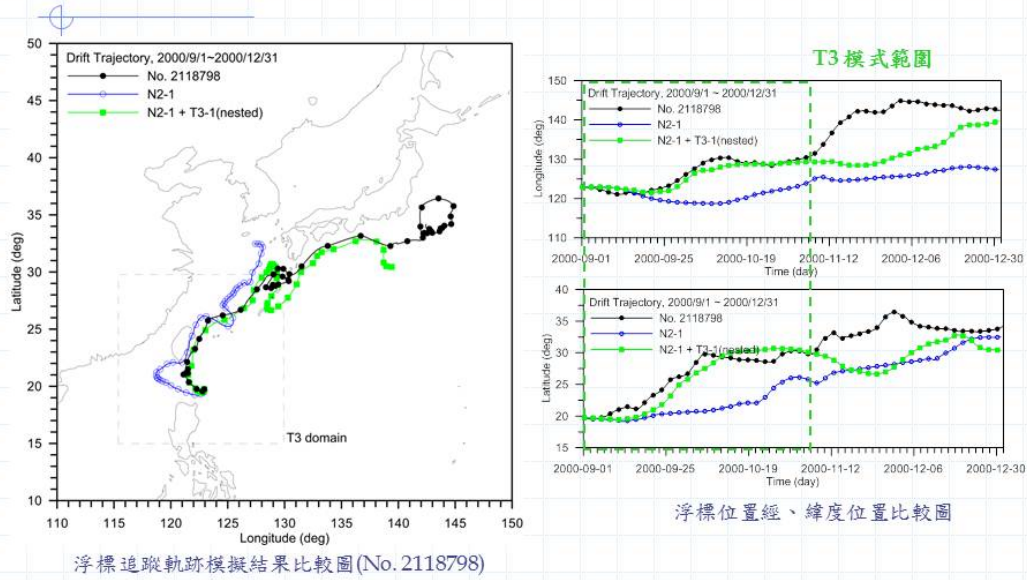
$$n+1 \text{ 時刻之流質點位置為 } x^{n+1} = x_0^n + U_0^n \Delta t \quad y^{n+1} = y_0^n + V_0^n \Delta t$$



質點位置流速內插方法示意圖

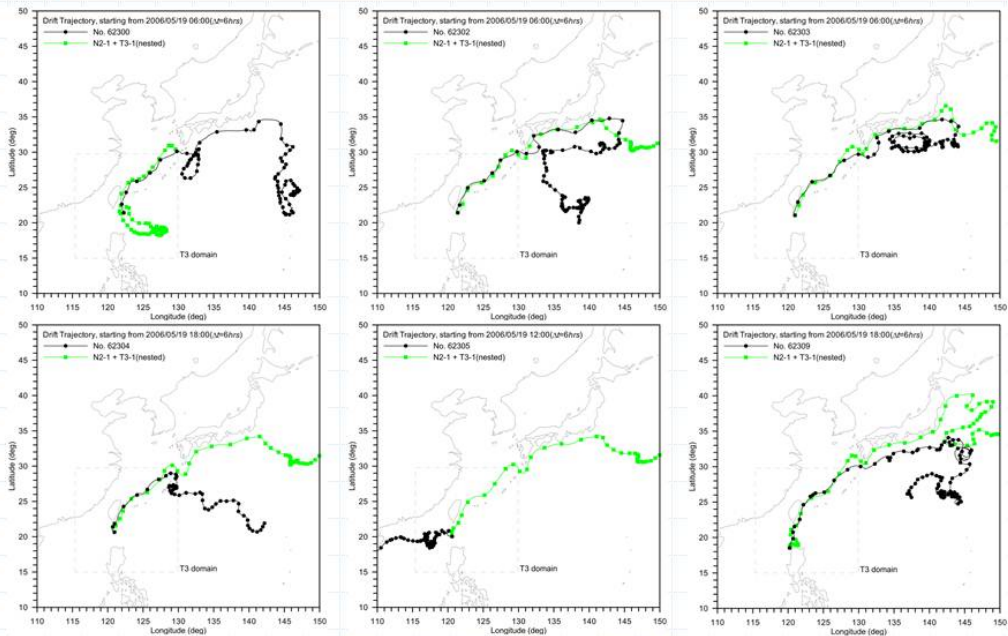
P.20

## 浮標追蹤驗證 (2/4)



P.21

## 浮標追蹤驗證 (3/4)

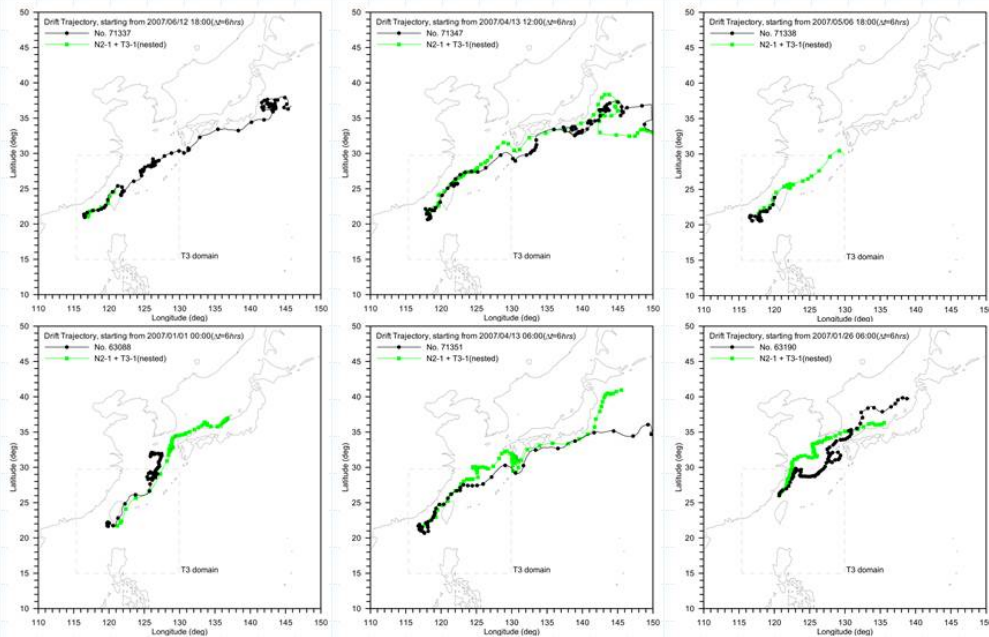


浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2006年)

P.22



## 浮標追蹤驗證 (4/4)

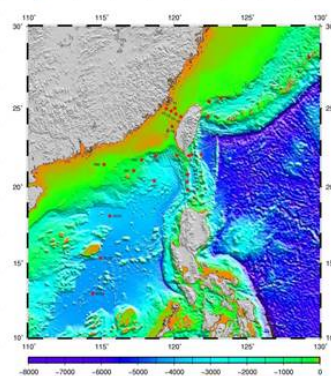


浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2007年)

P.23

## 以錨碇海流資料驗證 (1/3)

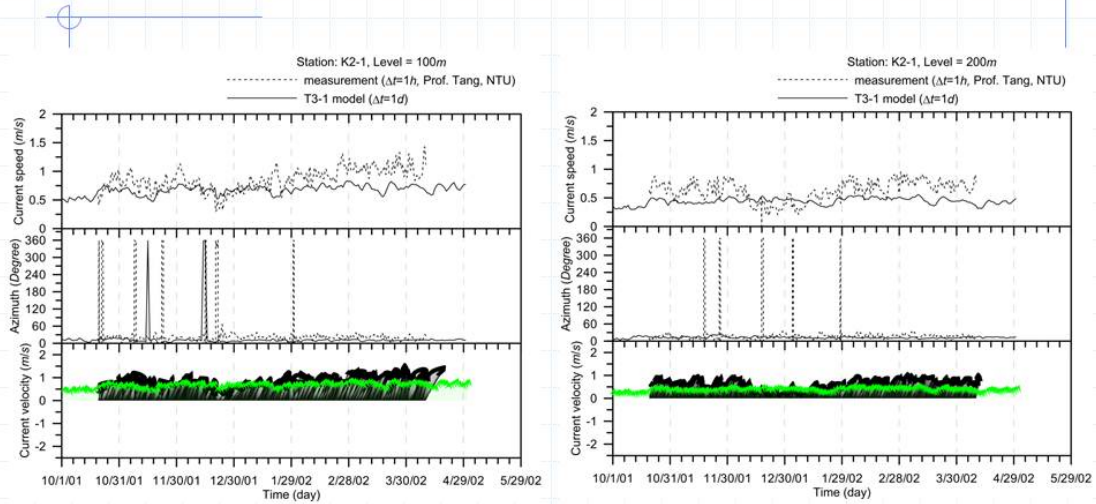
錨碇海流測點位置圖與基本資料(台灣大學海洋海研所唐存勇教授提供)



點位	位置	水深(公尺)	量測起迄時間
K2-1	121°14.20E, 22°04.66N	1276	2001/10/20 00:00 2002/04/09 06:00
K2-2	121°13.41E, 22°03.92N	1233	2002/04/10 12:00 2002/09/25 12:00
K3-1	121°52.42E, 22°05.71N	4232	2001/10/20 06:00 2002/04/08 10:00
K3-2	121°51.80E, 22°05.66N	4224	2002/04/11 00:00 2002/09/25 06:00
T4-1	120°07.88E, 24°38.97N	68	2000/11/11 13:00 2001/02/06 15:00
T4-2	120°07.69E, 24°38.73N	68	2001/08/14 08:00 2001/11/13 10:00

P.24

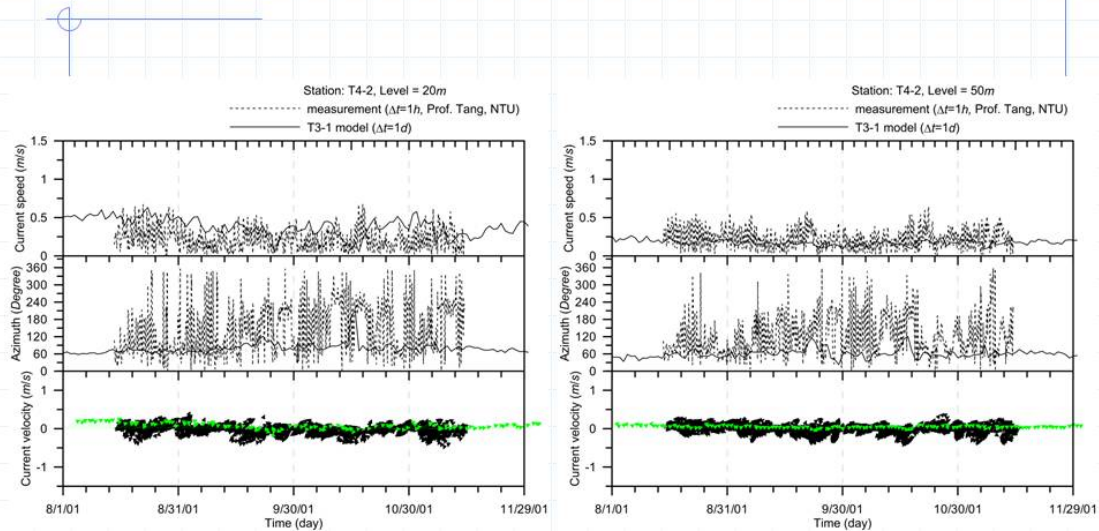
## 以錨碇海流資料驗證 (2/3)



錨碇海流K2-1測點與T3-1模式於100米、200米處之海流比較圖(2001/10~2002/05)

P.25

## 以錨碇海流資料驗證 (3/3)



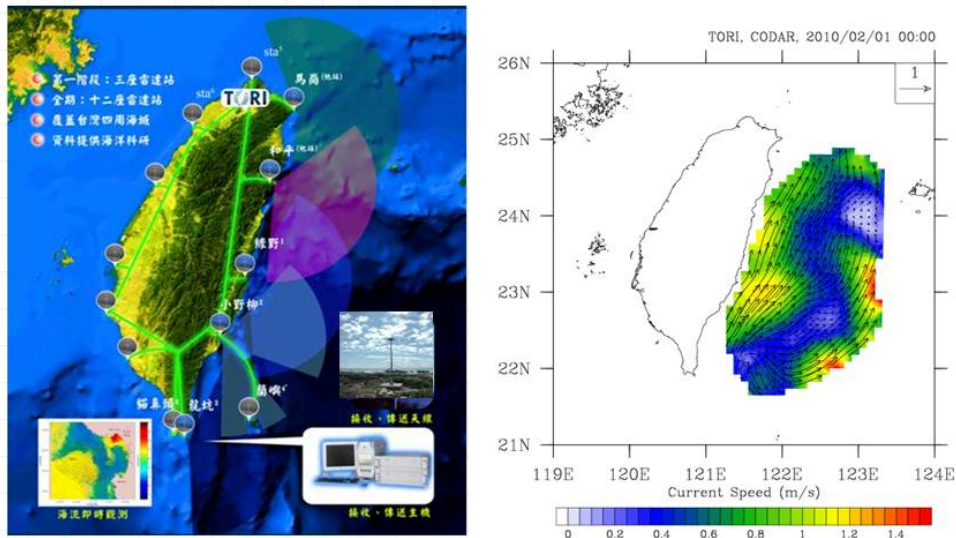
錨碇海流T4-2測點與T3-1模式於20米、50米處之海流比較圖(2001/08~2001/11)

P.26



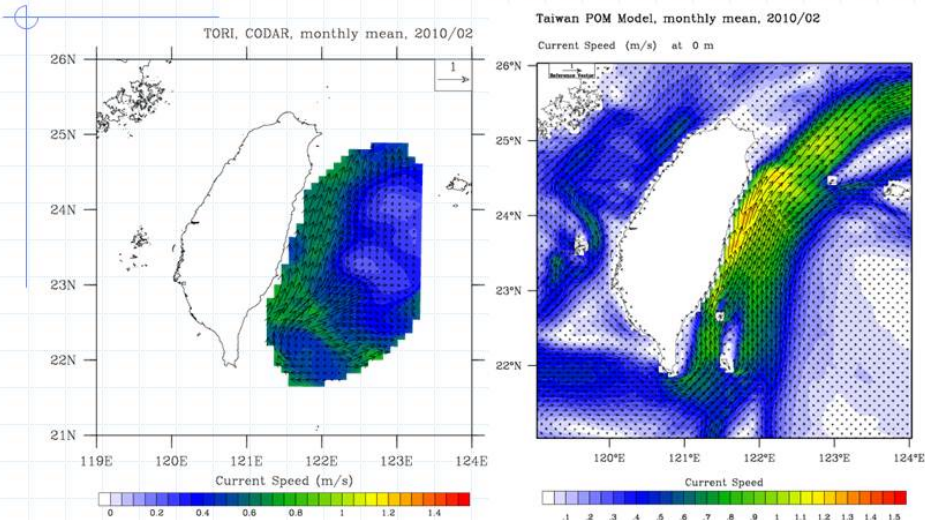
## 與岸基雷達測流比較 (1/2)

### 國研院海洋中心環台岸基雷達測流系統



P.27

## 與岸基雷達測流比較 (2/2)



國研院海洋中心岸基測流雷達之海表面月  
平均流速與T3-1模式結果比較圖(2010/02)

P.28

## 洋流與潮流混合模擬 (1/5)

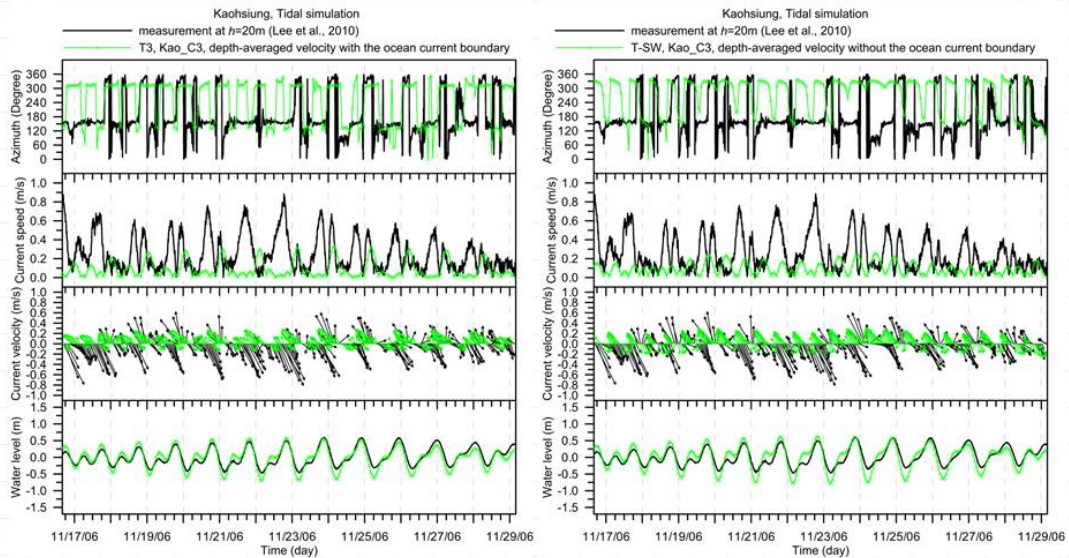
使用高雄中洲海域所放置的ADCP流速資料進行驗證



	經度	緯度
觀測位置座標	E120.256	N22.579
模式輸出座標	E120.375	N22.375

海流監測位置圖(國立中山大學海洋環境及工程學系)

## 洋流與潮流混合模擬 (2/5)

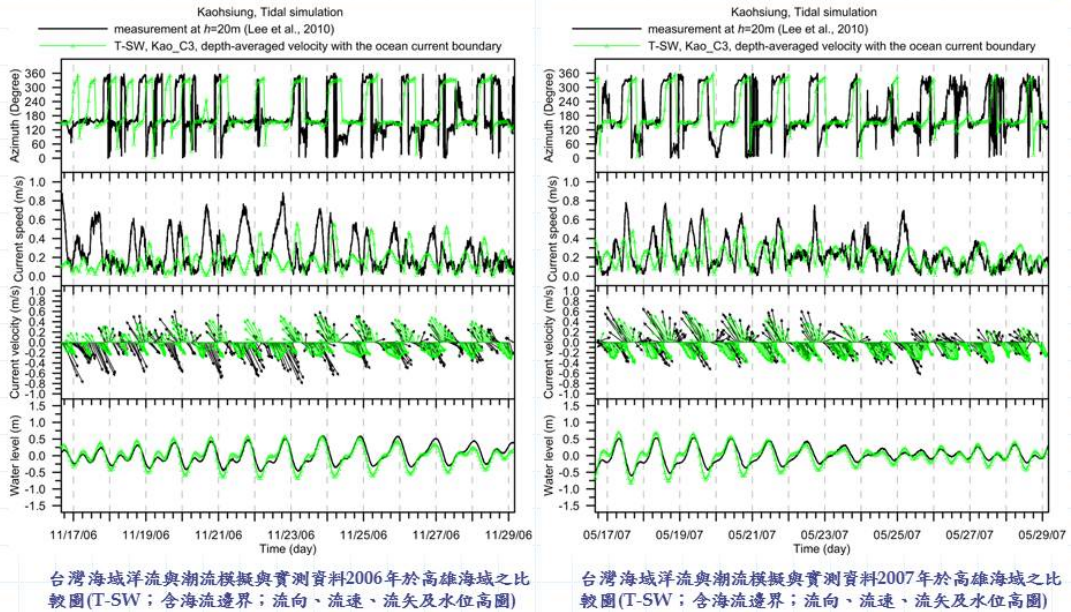


台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料2006年於高雄海域之比較圖(T3; 含海流邊界; 流向、流速、流矢及水位高圖)

台灣海域洋流與潮流模擬與實測資料2006年於高雄海域之比較圖(T-SW; 未含海流邊界; 流向、流速、流矢及水位高圖)

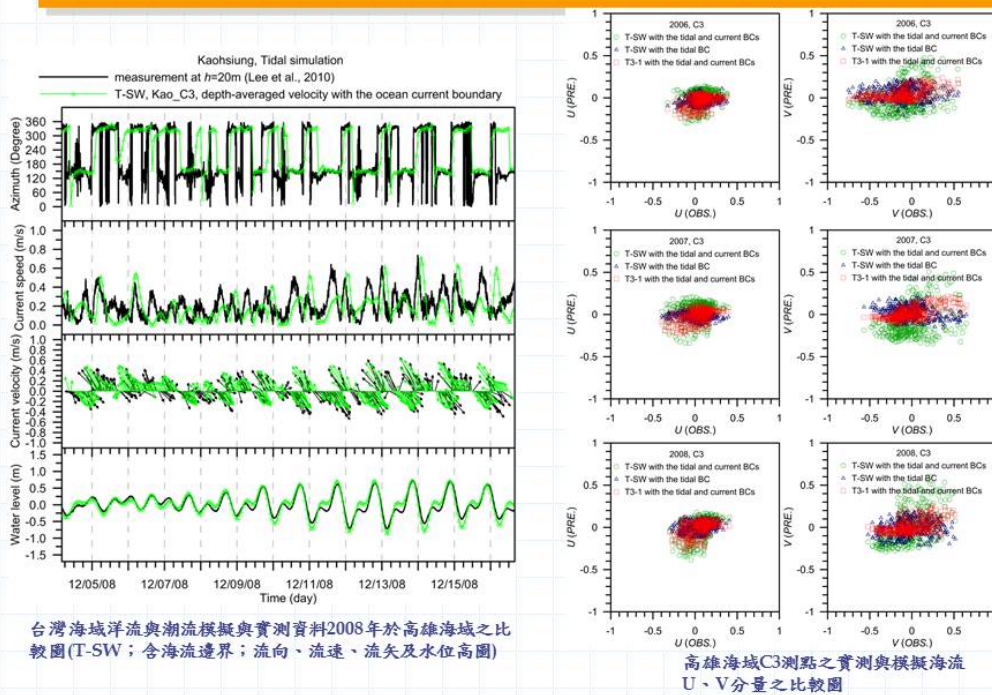


## 洋流與潮流混合模擬 (3/5)



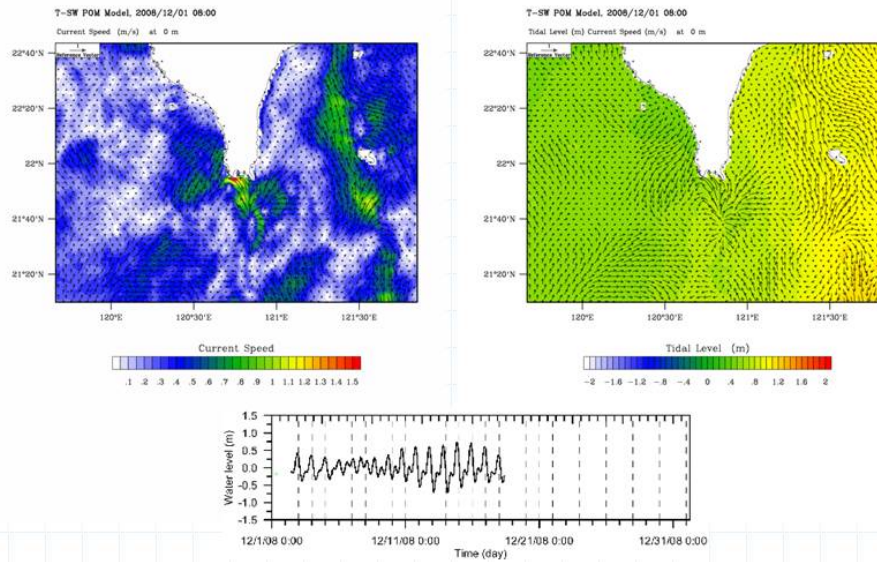
P.31

## 洋流與潮流混合模擬 (4/5)

高雄海域C3測點之實測與模擬潮流  
U、V分量之比較圖

P.32

## 洋流與潮流混合模擬 (5/5)



台灣南部海域洋流與潮流混合模擬於表面流速與水位分布(2008年12月)

## 預定進度甘特圖

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	備註
相關資料收集與分析									
改善台灣海域POM模式洋流模擬系統									
模擬範圍與格網之調整									
模式邊界條件之調整									
以實測資料進行模式驗證									
期中簡報									
整理分析台灣海域洋流特性									
報告與模式操作手冊之撰寫									
技術轉移									
期末簡報									
繳交正式報告及辦理結案									
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	70	80	100	
預定里程碑	第1季：資料收集與改善POM模式洋流模擬系統								
	第2季：驗證模式與參數校驗								
	第3季：整理分析台灣海域洋流特性、手冊與報告撰寫								

P.34



## 結論 (1/2)

- 在模式測試方面，高解析度海洋模式須搭配高解析度海氣象資料庫，兩者解析度的同時提升有助於改善模擬結果。
- 提高海氣象資料庫時空解析度之後，黑潮套流現象在各季節內皆會於模擬結果中出現，春冬季兩季所形成的套流流速略大於夏秋。
- 與國科會海洋學門海流資料庫之資料之比較，黑潮於台灣東部海域出現流速最大值的位置相近，且流速與流向也具有合理的一致性。而透過斷面流速比較結果，台灣東岸黑潮主流於深度300公尺以上，不論是流速、東西及南北分量之模擬結果與實測資料於黑潮主流軸位置與流速深度分佈都具有合理之一致性。
- 由1991至2009年之月平均流量分析，台灣東部海域黑潮流量穩定，平均流量為23.2 Sv，月平均流量變化振幅約為5 Sv，冬季時最小夏季最大。而台灣海峽流量平均為3.1 Sv，月平均流量變化振幅約為1.5 Sv，冬季流量可小於1 Sv以下。

## 結論 (2/2)

- 利用國科會海洋資料庫之水文資料的驗證下，模式於溫鹽度之年、季分布與特性均具有合理之一致性，但鹽度值略有偏小之現象。
- 關於浮標追蹤模擬結果，若要進行浮標追蹤模擬，高時空解析度的模式結果是必須的。而透過不同位置所施放浮標之軌跡模擬亦顯示，本計畫所建置的POM洋流模式具有定性定量上的可信度。
- 由錨碇海流實測資料之驗證，不論是台灣東部海域或台灣海峽，模式雖未能準確模擬其觀測點位之流速變化，但其流速大小尺度並未嚴重偏差仍具有合理性。
- 由岸基測流雷達實測值與模式模擬值之比較，於台灣東部海域黑潮流動描述上具有定性上一致性，但其流速尺度仍具有差距。
- 由高雄海域近岸單點實測資料與模擬結果之比較，其結果與高雄海域單點測站之水位、流速、流向具有合理之一致性，表示欲模擬台灣西南近岸海域之海潮流現象，高解析度格網與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件。

## 建議

- 利用四層巢狀計算方式，縮小計算範圍提高模擬的解析度，但巢狀格網計算方式之缺點為計算步驟繁複、需要大量資料儲存空間與計算時間，未來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。
- 由於岸基測流雷達具有短時間內量測大範圍海面流況之能力，可做為數值模式資料同化之實測值最佳來源，為模式預報準確性之關鍵性資料。
- 海氣交互作用邊界條件尚未完整測試與納入模式模擬流程之中。
- 洋流與潮流混合模擬僅對台灣西南海域進行驗證，其餘台灣附近海域是否具有相同特性仍須進行探討與驗證。

簡報完畢，敬請指教

