

100-66-7545  
MOTC-IOT-99-H3DA004

# 臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對 近岸海流之影響評估(2/4)

— 臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討 —



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月

100-66-7545  
MOTC-IOT-99-H3DA004

# 臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對 近岸海流之影響評估(2/4)

— 臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討 —

著 者：莊文傑、廖建明

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月



臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估

(2/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010000930

定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)  
—臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討—  
/莊文傑、廖建明著. --初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，  
民 100.05  
面 ； 公分  
ISBN 978-986-02-7643-5 (平裝)

1. 海流 2. 潮流 3. 數值分析 4. 生態模擬

351.96

100006561

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)  
—臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討—

著 者：莊文傑、廖建明  
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 5 月  
印 刷 者：良機事務機器有限公司  
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臺灣技術研究中心網站  
定 價：300 元  
展 售 處：  
交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880  
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1・電話：(02) 25180207  
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010000930

ISBN：978-986-02-7643-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                         |                           |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 出版品名稱：臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)<br>— 臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討—                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                         |                           |                                    |
| 國際標準書號（或叢刊號）<br>ISBN978-986-02-7643-5(平裝)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 政府出版品統一編號<br>1010000930 | 運輸研究所出版品編號<br>100-66-7545 | 計畫編號<br>99-H3DA004                 |
| 主辦單位：港灣技術研究中心<br>主管：邱永芳<br>計劃主持人：莊文傑<br>共同主持人：廖建明<br>研究助理：馬維倫、錢爾潔、陳正義、張麗瓊<br>聯絡電話：(04)26587185<br>傳真號碼：(04)26564415                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |                           | 研究期間<br>自 99 年 01 月<br>至 99 年 12 月 |
| 關鍵詞：洋流、海流、潮流、臺灣海域、POM、數值模式、模擬、影響評估                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                           |                                    |
| <p><b>報告內容重點摘要：</b></p> <p>海流是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源、能源、及深層海水產業「永續經營及利用」的最根本關鍵課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。</p> <p>本研究為政府科技計畫地球環境科技群組固定期程之任務導向型一般研究計畫，全程研究期間為 4 年(98 至 101 年度)，主要的研究目標在達成準確模擬計算臺灣鄰近海域之洋流，並評估其對近岸海流之影響。本年為第 2 年期之研究，研究重點主要在應用新近引進建置的 POM (Princeton Ocean Model) 三維海洋環流數值模式，利用美國 NGDC 之 ETOPO1 環球水深地形資料庫，再結合美國 NCEP/NCAR 之日平均風場與氣壓場資料庫、NOAA 之 OISST 週平均海面溫度資料庫、及 NODC 之 WOA05 水深分層長期年平均溫鹽資料庫，透過全球海域-西北太平洋海域-臺灣鄰近海域之巢狀格網配置，據以對臺灣鄰近海域的洋流，進行模擬計算，並透過實測海流紀錄之對照比較，驗證其準確性。</p> <p>相關研究結果顯示：針對臺灣鄰近海域，於巢狀格網配置下，本研究應用緩衝區推進(nudging)技術，已可克服粗細格網之邊界聯結銜接問題，再透過往昔相關研究成果及實測海流紀錄之驗證，確認現階段已可近似準確地模擬計算黑潮及黑潮套流與內潮流等顯著之海流特性；另外，結合日本 NAO99b 全球潮位資料庫之預報潮位，於綜合考量洋流與潮流效應下，本研究對臺灣西南部高屏近岸海域特殊之實測海流特性，也已可概略地予以掌握。</p> <p><b>研究成果之效益：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 學術成就：發表國內外研討會學術論文 5 篇，並出版研究報告 2 冊。</li> <li>(2) 技術創新：應用 POM 三維非線性海洋環流水動力模式，在國內透過合作研究方式，自力完成臺灣鄰近海域大尺度洋流流場的模擬計算環境建構，並進一步創新建構臺灣四周近岸海域綜合洋流與潮流效應之海流流場。</li> </ol> |                         |                           |                                    |

- (3) 經濟效益：配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海洋資源、能源、及深層海水產業「永續經營及利用」之決策資訊，敦節海岸保育監測之人力及物力投注，掌握大尺度之輸沙優勢方向，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行。
- (4) 社會影響：擴展科研成果之政策應用，充實藍色國土資訊，促進本土化海洋環境的瞭解，深化海洋水文與地球科學教育之內涵。

**可供本所或其他政府機關後續應用情形：**

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

| 出版日期      | 頁數  | 定價  | 本 出 版 品 取 得 方 式                                              |
|-----------|-----|-----|--------------------------------------------------------------|
| 100 年 5 月 | 210 | 300 | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。 |

機密等級：

☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密

(解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，

☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密)

☒普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TITLE:</b> Simulating the ocean circulation and evaluating its impacts on near-shore currents on the seas around Taiwan (2/4) — Simulation verification and hydrodynamic investigation on ocean circulation around seas of Taiwan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>ISBN (OR ISSN)</b><br>ISBN978-986-02-7643-5<br>(pbk)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b><br>1010000930 | <b>IOT SERIAL NUMBER</b><br>100-66-7545 | <b>PROJECT NUMBER</b><br>99-H3DA004                                                                                                                                                                                           |
| <b>DIVISION:</b> HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER<br><b>DIVISION DIRECTOR:</b> Chiu Yung-fang<br><b>PROJECT ADVISOR:</b> Juang Wen-jye<br><b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Juang Wen-Jye, Liao Jian-Ming<br><b>PROJECT STAFF:</b> Maa Wei-luen, Chien Er-jier, Chen Cheng-yi, Chang Lee-chung<br><b>PHONE:</b> 04-26587185<br><b>FAX:</b> 04-26564415                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                     |                                         | <b>PROJECT PERIOD</b><br>FROM January 2010<br>TO December 2010                                                                                                                                                                |
| <b>KEY WORDS:</b> Ocean Circulation; Currents; Tidal Currents; Seas around Taiwan; POM; Numerical Model; Simulation; Impact Assessment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>ABSTRACT:</b><br><br><p>Currents and circulations are the arteries of the ocean. Those mainly response not only the upwelling of generating fish farms, but also transporting the coastal and ocean material such as the coastal sedimentations, the suspended loads, chlorophylls, phytoplankton, the ocean nutrients, and so on. The study of ocean circulations adjacent to country, therefore, is the key program to promote the ocean resources into sustainable managements and utilizations.</p> <p>The total period of this study scheduled to be 4 years. The main goal is set on simulating the ocean circulation and evaluating its impacts on near shore currents on the seas around Taiwan. For this second year research, the purposes mainly focused on verifying the accuracy of simulation currents and circulation that achieved by applying the 3-D model of POM, the Princeton Ocean Model. On modeling, three layers nest grids scheme composed of the global ocean, the Pacific Ocean, and the seas around Taiwan is implemented. A nudging technology that modifying the flow velocities among grid interfaces of boundaries is adopted. The ocean databases such as the global topography of ETOPO1, the wind and atmospheric pressure of NCEP/NCAR, the sea surface temperature of NOAA/OISST, and the climatologically fields of in situ temperature and salinity of NODC/WOA05, are successfully linked.</p> <p>From the comparison between simulations and investigations which were collected from relating researches and field measurements, it is found that all of the variety and subtle circulation patterns exhibiting on seas around Taiwan, such as the Kuroshio associated with its loop currents and the internal tides, can be clearly presented and simulated in good accuracy. Moreover, cooperating with the tidal database of NAO99b to include the synthetic effects of both the tides and ocean circulation, the peculiar currents that observed and known on Kao-Ping coastal sea, southwest sea of Taiwan, can also be roughly caught and simulated.</p> |                                                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>DATE OF PUBLICATION</b><br>May 2011                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>NUMBER OF PAGES</b><br>210                       | <b>PRICE</b><br>300                     | <b>CLASSIFICATION</b><br><input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL<br><input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET<br><input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                               |

# 目錄

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 目錄 .....                  | IV   |
| 圖目錄 .....                 | VIII |
| 表目錄 .....                 | XVI  |
| 第一章 緒論 .....              | 1-1  |
| 1.1 研究緣起 .....            | 1-1  |
| 1.2 文獻回顧 .....            | 1-4  |
| 1.3 工作項目 .....            | 1-7  |
| 1.4 研究成果之預期應用 .....       | 1-7  |
| 第二章 POM 模式之理論介紹 .....     | 2-1  |
| 2.1 模式特性 .....            | 2-1  |
| 2.2 控制方程式 .....           | 2-2  |
| 2.2.1 三維連續方程式與動量方程式 ..... | 2-2  |
| 2.2.2 紊流閉合模式 .....        | 2-4  |
| 2.2.3 $\sigma$ 座標轉換 ..... | 2-6  |
| 2.2.4 外模式-水深積分方程式 .....   | 2-9  |
| 2.2.5 邊界條件 .....          | 2-10 |
| 2.3 數值方法 .....            | 2-12 |
| 2.3.1 網格配置 .....          | 2-12 |
| 2.3.2 數值離散 .....          | 2-14 |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 2.3.3 穩定條件 .....                       | 2-15       |
| 2.4 乾溼格網 .....                         | 2-17       |
| <b>第三章 POM 模式執行環境建置.....</b>           | <b>3-1</b> |
| 3.1 軟硬體設備建置 .....                      | 3-1        |
| 3.2 POM 模式操作與相關檔案 .....                | 3-4        |
| 3.3 POM 模式應用之資料庫 .....                 | 3-4        |
| 3.3.1 海表面風場資料 .....                    | 3-4        |
| 3.3.2 海平面大氣壓力資料 .....                  | 3-4        |
| 3.3.3 海面溫度 .....                       | 3-5        |
| 3.3.4 海洋鹽度與溫度 .....                    | 3-7        |
| 3.3.5 全球地形水深 .....                     | 3-7        |
| 3.3.6 國科會海洋學門海洋資料庫 .....               | 3-8        |
| <b>第四章 臺灣鄰近海域洋流之模擬計算.....</b>          | <b>4-1</b> |
| 4.1 緒論 .....                           | 4-1        |
| 4.2 臺灣海域洋流特性概述 .....                   | 4-1        |
| 4.3 臺灣鄰近海域之洋流模擬 .....                  | 4-5        |
| 4.3.1 計算海域範圍與巢狀格網系統 .....              | 4-5        |
| 4.3.2 巢狀格網架構之邊界條件處理 .....              | 4-7        |
| 4.3.3 模擬計算之時空參數設定 .....                | 4-9        |
| 4.3.4 不同時空解析度海氣象資料庫應用於洋流模擬之比較<br>..... | 4-11       |

|                                     |              |
|-------------------------------------|--------------|
| 4.4 模擬計算驗證與水動力特性探討 .....            | 4-18         |
| 4.4.1 臺灣鄰近海域各等水深層年平均之洋流驗證 .....     | 4-18         |
| 4.4.2 臺灣鄰近海域各等水深層季平均之洋流驗證 .....     | 4-21         |
| 4.4.3 臺灣東部海域垂直海岸斷面之年平均流速與流量驗證 ..... | 4-22         |
| 4.4.4 臺灣東部海域深層海水溫鹽度月季變動特性驗證 ..      | 4-32         |
| 4.4.5 臺灣鄰近海域浮標追蹤流跡驗證 .....          | 4-41         |
| 4.4.6 臺灣鄰近海域現場錨碇海流時序列資料驗證 .....     | 4-49         |
| 4.4.7 臺灣東部海域 CODAR 海表面實測流速驗證 .....  | 4-58         |
| 4.5 臺灣西南部海域綜合洋流與潮汐效應之海流模擬 .....     | 4-60         |
| 4.5.1 巢狀網格計算海域配置 .....              | 4-60         |
| 4.5.2 綜合洋流與潮汐效應之海流流場 .....          | 4-61         |
| 4.5.3 綜合洋流與潮汐效應之近岸海流驗證 .....        | 4-61         |
| <b>第五章 結論與建議 .....</b>              | <b>5-1</b>   |
| 5.1 研究目的與問題簡述 .....                 | 5-1          |
| 5.2 結論 .....                        | 5-2          |
| 5.3 建議 .....                        | 5-4          |
| 5.4 研究成果之效益 .....                   | 5-5          |
| 5.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形 .....         | 5-6          |
| <b>參考文獻 .....</b>                   | <b>參-1</b>   |
| <b>附錄 1 POM 模式操作手冊 .....</b>        | <b>附 1-1</b> |



|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 一、前言 .....                           | 附 1-2        |
| 二、模式架構 .....                         | 附 1-2        |
| 2.1 模式檔案與目錄架構 .....                  | 附 1-3        |
| 2.2 編譯與安裝 .....                      | 附 1-6        |
| 三、程式說明 .....                         | 附 1-11       |
| 3.1 前置處理程式 .....                     | 附 1-11       |
| 3.2 主程式 pom2k.exe .....              | 附 1-14       |
| 3.3 後置處理程式 .....                     | 附 1-22       |
| 3.4 命令腳本 .....                       | 附 1-24       |
| 四、繪圖與分析程式 .....                      | 附 1-26       |
| 五、操作範例說明 .....                       | 附 1-27       |
| <b>附錄 2 期末報告審查簡報資料 .....</b>         | <b>附 2-1</b> |
| <b>附錄 3 期末報告審查會議及審查委員意見處理表 .....</b> | <b>附 3-1</b> |

## 圖目錄

|                                                                                                      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 2-1 POM 模式所採用之 $\sigma$ 座標系統 (MELLOR, 2003).....                                                   | 2-9  |
| 圖 2-2 內外模式相嵌示意圖 (MELLOR, 2003).....                                                                  | 2-13 |
| 圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003).....                                                                | 2-13 |
| 圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003).....                                                                | 2-14 |
| 圖 2-5 POM 內外模式之計算流程圖 .....                                                                           | 2-16 |
| 圖 2-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖 .....                                                                      | 2-19 |
| 圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程 .....                                                                          | 3-3  |
| 圖 4-1 全球主要洋流的分布(資料來源：).....                                                                          | 4-2  |
| 圖 4-2 全球海域(G1)計算範圍與地形水深 .....                                                                        | 4-6  |
| 圖 4-3 西北太平洋海域(N2)計算範圍與地形水深 .....                                                                     | 4-6  |
| 圖 4-4 臺灣四周海域(T3)計算範圍與地形水深 .....                                                                      | 4-7  |
| 圖 4-5 臺灣西南部海域(T-SW)計算範圍與地形水深 .....                                                                   | 4-7  |
| 圖 4-6 巢狀格網邊界(紅)及邊界緩衝區(藍)示意圖 .....                                                                    | 4-8  |
| 圖 4-7 全球計算海域 G1(左)與 G1-1(右)模式於西北太平洋海域範圍內<br>自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)<br>之計算海流流場..... | 4-13 |
| 圖 4-8 西北太平洋計算海域 N2(左)與 N2-1(右)模式自 1991 年至 1996<br>年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場<br>.....          | 4-14 |
| 圖 4-9 臺灣四周計算海域 T3(左)與 T3-1(右)模式自 1991 年至 1996 年<br>之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場                   | 15   |

|                                                                                              |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 4-10 臺灣四周計算海域 T3(左)與 T3-1(右)模式自 1991 年至 1996 年之春季(M-A-M)(上)與夏季(J-J-A)(下)季平均之海表面計算海流流場..... | 4-16 |
| 圖 4-11 臺灣四周計算海域 T3(左)與 T3-1(右)模式自 1991 年至 1996 年之秋季(S-O-N)(上)與冬季(D-J-F)(下)季平均之海表面計算海流流場..... | 4-17 |
| 圖 4-12 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 20 米(上)與 50 米(下)等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較.....         | 4-19 |
| 圖 4-12(續) 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 100 米(上)與 200 米(下)等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較.....    | 4-20 |
| 圖 4-12(續) 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 300 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較.....                 | 4-21 |
| 圖 4-13 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 20 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之春季(上)與夏季(下)季平均流場流態比較.....          | 4-24 |
| 圖 4-14 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 20 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之秋季(上)與冬季(下)季平均流場流態比較.....          | 4-25 |
| 圖 4-15 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 200 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之春季(上)與夏季(下)季平均流場流態比較.....         | 4-26 |
| 圖 4-16 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 200 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之秋季(上)與冬季(下)季平均流場流態比較.....         | 4-27 |
| 圖 4-17 臺灣鄰近計算海域(T3-1)於北緯 21 度水深斷面上年平均實測                                                      |      |

|                                                                                         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證.....                                               | 4-28 |
| 圖 4-18 臺灣鄰近計算海域(T3-1)於北緯 23 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證.....        | 4-29 |
| 圖 4-19 臺灣鄰近計算海域(T3-1)於北緯 25 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證.....        | 4-30 |
| 圖 4-20 臺灣東部海域分別自北緯 24 度至 21 度(由上至下)水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化 .....               | 4-31 |
| 圖 4-21 臺灣海峽中段海域水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化.....                                    | 4-31 |
| 圖 4-22 臺灣鄰近計算海域 20 米等水深層 1991 年至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度(上)與鹽度(下)分布驗證比較 .....         | 4-34 |
| 圖 4-22(續) 臺灣鄰近計算海域 100 米等水深層 1991 年至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度(上)與鹽度(下)分布驗證比較.....      | 4-35 |
| 圖 4-22(續) 臺灣鄰近計算海域 300 米等水深層 1991 年至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度(上)與鹽度(下)分布驗證比較.....      | 4-36 |
| 圖 4-23 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均鹽度分布比較..... | 4-37 |
| 圖 4-24 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度分布比       |      |

|                                                                                                                                                          |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 較.....                                                                                                                                                   | 4-38 |
| 圖 4-25 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里( $121.75^{\circ}\text{E}$ ; $24.0^{\circ}\text{N}$ )於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均溫度時序變化.....                        | 4-39 |
| 圖 4-26 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里( $121.75^{\circ}\text{E}$ ; $24.0^{\circ}\text{N}$ )於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均鹽度時序變化.....                        | 4-40 |
| 圖 4-27 浮標追蹤質點位置流速內插方法示意圖 .....                                                                                                                           | 4-42 |
| 圖 4-28 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之驗證比較 .....                                                                                                              | 4-46 |
| 圖 4-29 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之經度位置驗證比較 .....                                                                                                          | 4-46 |
| 圖 4-30 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之緯度位置驗證比較 .....                                                                                                          | 4-46 |
| 圖 4-31 AOML 編號 62300、62302、62303、62304、62305 及 62309 浮標(由左而右、由上而下) 2006 年之實測與推算流跡驗證比較 .....                                                              | 4-47 |
| 圖 4-32 AOML 編號 71337、71347、63088、71351、71338 及 63190 浮標(由左而右、由上而下) 2007 年之實測與推算流跡驗證比較 .....                                                              | 4-48 |
| 圖 4-33 臺灣鄰近海域以錨碇方式進行海流研究之施放量測點位分布 (圖片來源： <a href="http://ODB.OC.NTU.EDU.TW/PHYSICS/BUOY/INDEX.HTM">HTTP://ODB.OC.NTU.EDU.TW/PHYSICS/BUOY/INDEX.HTM</a> ) | 4-51 |
| 圖 4-34 臺灣東部海域 K2-1 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較 .....                                                                             | 4-52 |
| 圖 4-35 臺灣東部海域 K2-2 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較 .....                                                                             | 4-53 |

- 圖 4-36 臺灣東部海域 K3-1 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇  
實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較..... 4-54
- 圖 4-37 臺灣東部海域 K3-2 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇  
實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較..... 4-55
- 圖 4-38 臺灣海峽中段海域 T4-1 測點於水深 20 米(上)與 50 米(下)之錨  
碇實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較..... 4-56
- 圖 4-39 臺灣海峽中段海域 T4-2 測點於水深 20 米(上)與 50 米(下)之錨  
碇實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較..... 4-57
- 圖 4-40 臺灣東部海域 CODAR 實測(上；資料來源：國研院台灣海洋  
科技研究中心)及模擬計算(下)所得之海表面黑潮流場對照比  
較..... 4-59
- 圖 4-41 臺灣西南海域高屏近海綜合洋流與潮汐效應之巢狀網格配置  
海流模擬計算架構..... 4-60
- 圖 4-42 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 12:00 計算(綠)及預報(黑)  
潮位(下)..... 4-65
- 圖 4-43 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 14:00 計算(綠)及預報(黑)  
潮位(下)..... 4-66
- 圖 4-44 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 16:00 計算(綠)及預報(黑)  
潮位(下)..... 4-67
- 圖 4-45 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 18:00 計算(綠)及預報(黑)  
潮位(下)..... 4-68
- 圖 4-46 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場

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

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

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

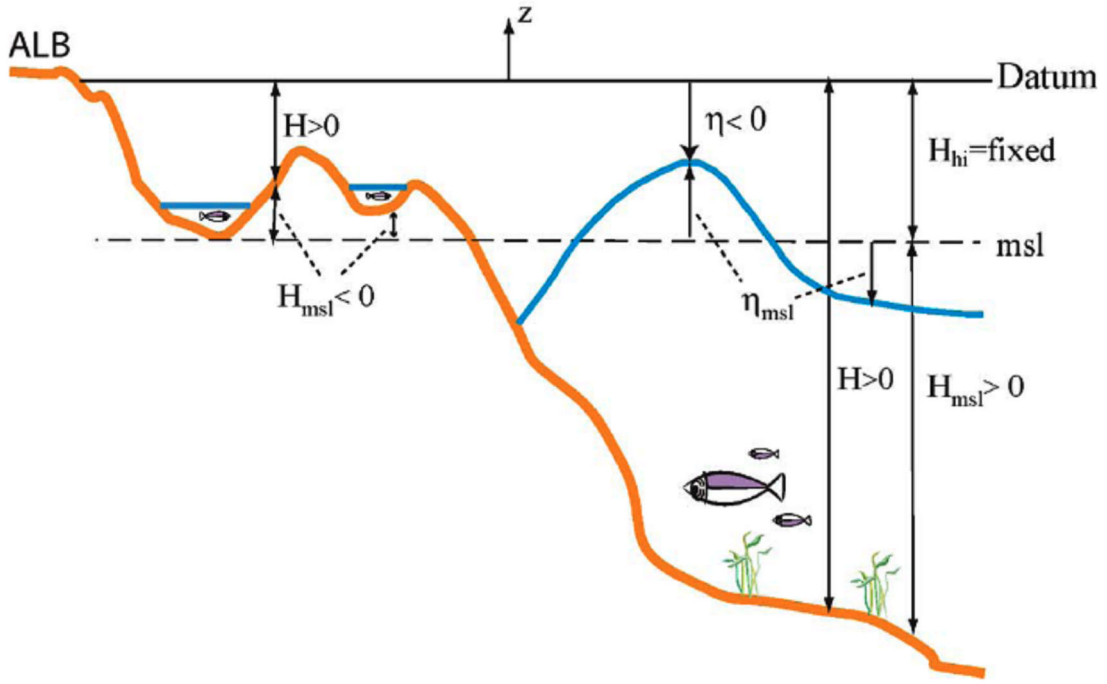


圖 2-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖

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

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

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

另外，在三維模式中，流速於乾溼格網交界處亦須修正為：

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

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

由於POM模式在時間積分上採用外模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，故對於此種情況，式(2-45e)應修正為下式：

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

其中  $z_b$  為  $K = Kb - 1$  層之厚度。



|                                                                                                 |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 20:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下).....                                         | 4-69 |
| 圖 4-47 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 22:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-70 |
| 圖 4-48 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 00:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-71 |
| 圖 4-49 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 02:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-72 |
| 圖 4-50 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 04:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-73 |
| 圖 4-51 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 06:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-74 |
| 圖 4-52 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 08:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-75 |
| 圖 4-53 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場<br>(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 10:00 計算(綠)及預報(黑)<br>潮位(下)..... | 4-76 |
| 圖 4-54 高雄中州海域海流監測站位置圖(李等人，2010).....                                                            | 4-77 |
| 圖 4-55 臺灣西南計算海域(T-SW) 2006 年 11 月實測海流與考量純潮汐<br>效應所得計算潮流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位                  |      |

|                                                                                            |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (下)時序驗證比較.....                                                                             | 4-78 |
| 圖 4-56 臺灣西南計算海域(T-SW) 2007 年 5 月實測海流與考量純潮汐效應所得計算潮流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較.....    | 4-79 |
| 圖 4-57 臺灣西南計算海域(T-SW) 2008 年 12 月實測海流與考量純潮汐效應所得計算潮流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較.....   | 4-80 |
| 圖 4-58 臺灣四周計算海域(T3-1) 2006 年 11 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較..... | 4-81 |
| 圖 4-59 臺灣西南計算海域(T-SW) 2006 年 11 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較..... | 4-82 |
| 圖 4-60 臺灣四周計算海域(T3-1) 2007 年 05 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較..... | 4-83 |
| 圖 4-61 臺灣西南計算海域(T-SW) 2007 年 05 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較..... | 4-84 |
| 圖 4-62 臺灣四周計算海域(T3-1) 2008 年 12 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較..... | 4-85 |
| 圖 4-63 臺灣西南計算海域(T-SW) 2008 年 12 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較..... | 4-86 |
| 圖 4-64 高雄中洲近岸海域 C3 海流測站 2006/11(上)、2007/05(中)、                                             |      |

2008/12(下)之實測(橫軸)與計算(縱軸)海流流速(左)與流向(右)  
相關圖..... 4-87

圖 4-65 高雄中洲近岸海域 C3 海流測站 2006/11(上)、2007/05(中)、  
2008/12(下)之實測(橫軸)與計算(縱軸)海流流速東—西向分量  
(U；左)與南—北向分量(V；右)相關圖 ..... 4-88

## 表目錄

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| 表 3-1 NCEP/NCAR 分析風場資料格式 .....        | 3-5    |
| 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 海洋溫鹽資料庫格式.....       | 3-7    |
| 表 3-6 NGDC ETOPO2v2G 全球地形水深資料庫格式..... | 3-8    |
| 表 3-7 NGDC ETOPO1 全球地形水深資料庫格式 .....   | 3-8    |
| 表 3-8 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料 .....       | 3-9    |
| 表 3-9 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料 .....       | 3-9    |
| 表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式.....            | 3-10   |
| 表 4-1 巢狀格網計算海域範圍與計算條件.....            | 4-9    |
| 表 4-2 巢狀格網計算海域不同時空解析度之海氣象資料庫應用 ....   | 4-10   |
| 表 4-3 POM 模式之重要計算參數設定 .....           | 4-10   |
| 表 4-4 臺灣鄰近海域之部分錨碇海流施放量測點位基本資料 .....   | 4-50   |
| 表 4-5 高雄中洲海域實測與計算海流 U、V 分量之相關係數.....  | 4-64   |
| 附表 1 NCL 命令腳本與圖形對照表 .....             | 附 1-26 |
| 附表 2 CREATEPROJ.SH 命令腳本中所需參數表 .....   | 附 1-30 |

# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起

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

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮，全年皆由南而北流經東部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南沿流經臺灣海峽；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。

氣候變遷、全球暖化、能源需求等課題，皆是 21 世紀全球必須共同面對、因應的重大挑戰，而發展再生能源，勵行「節能減碳」，目前已是我國政府甚重要的施政政策。在再生能源中，除了太陽能、生質

能、水力、風力等外，尚包括潮差、潮流、波浪、溫差等蘊藏量龐大的海洋能源。

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

黑潮，流量是亞馬遜河的一百倍，是密西西比河、長江的一千倍。其主流由南向北經過臺灣東岸，平均流速每秒一公尺以上，是強勁且穩定的洋流。若能善加開發利用，則其確實是我國發展替代能源的重大天然海洋資源。行政院產業科技策略會議於 2008 年 12 月 15 日召開，會中，行政院科技顧問、臺灣大學李嗣涔校長即曾對「黑潮發電」的開發利用課題提出詳細說明(李承宇，聯合電子報，第 2965 期，2008/12/16)。另外，臺灣大學應用力學所陳發林教授在「台大對新政府的期許——台灣能源自主與產業開創契機」報告書中亦曾表示：「黑潮是上天給臺灣最好的禮物，也是臺灣能源自主的唯一希望。目前全球尚未有針對洋流發電的設備技術；如果臺灣率先投入，不只發電，相關的設備與技術每年就可帶來超過兩千億元的產值。」(李承宇，聯合電子報，第 2965 期，2008/12/16)。至於黑潮發電開發利用之可行性，台電在十年前，即曾進行相關研究，並曾對實際技術面待克服的問題

進行過探討，同時也曾對其可能造成地球環境生態的衝擊影響進行評估(朱婉寧，聯合報，2008/12/16)。

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

本研究為 4 年期總研究計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第二分年研究課題。全程研究計畫係依據第七次全國科學技術會議結論、國家科技發展綱領，並配合海洋科技發展相關策略及措施而擬定。可預期地，本研究課題，將可成為我國從事深層海水水資源開發利用、海洋資源保育、海岸保護、與近岸災害防救之新興課題，且必為配合達成海洋國家永續發展目標之科研重點。

另外，本研究課題，與海洋資源的開發及海洋能源永續發展利用息息相關，其不僅具有本土化特色，更與海洋國家長期性、全面性、總體性的海岸保育策略關聯密切。因此，本研究之推展與深化，不僅將有助於適合本土性自然工法及先期水海環境資源保育技術之研發，最重要的，尚可有效提昇近岸海域海水資源管理與防救災科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵。

本研究全程研究之總目標，主要在針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，透過引進建置美國普林斯頓大學新進發展公開之海洋數值模式 POM (Princeton Ocean Model)，利用其三維模式的特性，建立作業化的程序，透過數值模式的應用，完成臺灣鄰近海域的洋流模擬，再藉實測資料，檢驗分析洋流特性，從而達成港灣及海岸水動力數值模擬之應用，研究港灣及海岸水理，改善港灣環境，維護海岸穩

定，配合採行「自然生態工法」策略，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，精進災害風險評估系統，補充既有地球環境科技監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升近岸海域災害應變與預警能力，達成「藍色國土」之保育，促進領海資源之「永續經營及利用」。

## 1.2 文獻回顧

大尺度海流模式之研究與應用，主要可分為潮流與洋流兩方面。而隨著模擬區域範圍大小的差異及不同水理特性的陳現需求，數值模式一般尚可分为二維和三維模式。而常見的二維模式又有水平二維模式和垂直二維模式兩種。其中，水平二維模式多應用於水平運動尺度遠大於垂直尺度的波動特性上，其控制方程式大多為水深平均的淺水波方程式(depth-averaged shallow water wave equation)，這些模式應用於潮汐及波浪傳波模擬，常以有限差分法，求解連續方程式和動量方程式，如 Leendertse (1967)、Stelling (1986)、黃(2001)等曾投入潮流的水動力特性研究；莊(2000)亦曾蒐集整理臺灣環島及中國大陸沿岸之潮汐實測資料，並就實測潮汐特性與陸架水深地形之關聯性，進行臺灣海峽海域之潮波協振盪理論解析，同時，應用水深積分後的二維水動力計算模式，探討臺灣環島海域潮波與潮流之水動力及運動特性，進而闡釋臺灣海峽海域潮差特別顯著之原因及潮波之總體運動方向。至於，投入垂直二維模式之研究者，有 Bouden 和 Hamilton (1975)、Park 和 Kuo (1993)等，其中 Park 和 Kuo 所發展的模式稱為 MODEL-2D，其係以定蓋(rigid lid)假設，配合 Munk-Anderson 之紊流模式，將其應用範圍，擴展至河川水質模擬。

在三維模式應用上，由於計算費時加上邊界條件取得不易，Nihoul (1977)提出擬似三維模式(qusi-three dimensional model)計算的概念。所謂擬似三維模式，即是三維模式經處理後可分为局部一維模式和水深平均二維模式，期以相當於二維計算容量及計算時間的模式，來提供



多變水流特性的擬似三維空間分布的相關資訊。Nihoul 已將這種模式應用到北海(North Sea)及亞得里亞海(Adriatic sea)，在水理特性分析方面均得到不錯的結果。同樣的計算方法 Lardner 和 Cekirge (1988)也提到，並命名為 VHS (Vertical Horizontal Splitting)計算方法。吳(1997)以 Lardner 和 Cekirge (1988)的 VHS 模式概念，透過求解簡化的水平動量控制方程式，來獲得水平速度隨水深的變化量，而提出擬似三維水動力計算模式。林(1999)則進一步研究擴充擬似三維水動力計算模式的邊界處理能力，使能推算河、海共同作用下的河川水理問題。

近二十年來，廣為海洋研究接受並最常被採用的三維海洋環流數值模式，當屬由美國普林斯頓大學所發展的 POM (Princeton Ocean Model)模式，其初始係緣起於 Blumberg 和 Mellor (1983)在大西洋南方海灣所進行之連串數值模擬預測，當時，該數值模式僅包含一個時變三維動量方程式系統，水深方向並使用 $\sigma$ 座標，同時，包含一個由 Mellor 和 Yamada (1982)研發的紊流閉合模式(turbulence closure model)，接著，Oey 等人(1985a；1985b；1985c)利用該模式模擬 Hudson-Raritan 河口所獨特展現時間獨立之三維速度和鹽度場結構，並描述複雜的河口海域循環和混合過程；直到 1987 年，Blumberg 和 Mellor 再將過去幾年來所發展的三維海洋環流模式進行統整，並將其定名為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM。其後，Ezer 和 Mellor (1991)即曾使用 POM 原始動量方程式，跟隨底部平滑的垂直座標系統和一個跟隨近岸的水平正交座標系統，進行大範圍海域之水動力特性計算，並延伸海域範圍，使其包括墨西哥灣流，同時並模擬溫度、鹽度等海洋物理特性之變動。而 Oey (2005；2006)進一步擴展 POM 模式之功能架構，增加一乾溼格網技巧，藉以達成該模式可應用於具海水漲退或水位溯升之近岸海域。

應用三維海洋環流數值模式，可充分詳細地全面掌握模擬海域的海流時變水動力特性與溫鹽度等物理特性變化。如 Zavatarelli 和 Mellor (1995)曾進行地中海環流之實際模擬，並與各種觀測結果作驗證比較；Aikman 等(1995)曾將 POM 模式和其他發展中的近岸海洋預測系統

(Coastal Ocean Forecast System, 簡稱 COFS)作比較; Ezer 和 Mellor (1997; 2000)及 Ezer (1999), 不僅首先將 $\sigma$ 座標模式應用在整個大西洋海域之大範圍水理特性數值模擬上, 同時藉由模式計算結果, 探討海洋環流循環特性; 另外, Mellor 等 (2002)曾比較 POM 模式之 $\sigma$ 座標及其他模式之 z-level 座標之模擬結果, 並與觀測值對照, 結果顯示兩種不同的水深座標, 模擬結果略有差異, 最主要的原因, 在於 z-level 模式在有坡度的底層, 無法只做一層的模擬, 而在多層的模擬下, 則會產生一個像階梯地形的結構, 以致無法精確地表示底部邊界層流之流況; Wang 和 Oey(2008)為綜合考量波一流效應, 曾應用 WW3(Waves Watch III)波浪模式, 結合以 POM 模式為基礎的 PROFS(the Princeton Regional Ocean Forecast System)海洋環流模式, 探討卡催納(Katrina)颶風在墨西哥灣(Gulf of Mexico)近岸海域所引起的極端大波浪, 並與現地浮標(buoys)之實際監測紀錄, 成功準確地驗證比對。

對於臺灣附近海域大尺度潮波與海流的研究, 葉(2002)為建立適合臺灣海域之作業化潮汐預報模式, 曾利用 POM 模式, 找尋該模式之最佳化參數; 盧、吳(2005)曾利用 POM 模式, 針對臺灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究; Hsin 等(2008)曾利用 POM 模式, 建置 $1/8^\circ$ 解析度之東亞邊緣海模式, 並利用模式結果, 探討 1982 至 2005 年間的黑潮變化, 從而發現黑潮流經臺灣東岸時, 在近岸區域可延伸至 300 公尺水深, 在離岸區域可達 600 公尺深度, 在某些區域甚至可達 1000 公尺深度, 而黑潮於臺灣東岸之平均流量約為 $32.7 \pm 4.4\text{Sv}$ ; Wu 等(2007)曾配合高解析度水深地形及風場與海面溫度資料, 應用 POM 模式模擬臺灣海峽之海流變化, 從而發現: 夏季黑潮支流會直接越過彰雲隆起由南往北流動, 而在冬季, 由於東北季風及中國沿岸流的阻擋影響, 海峽中原向南向北流動的黑潮支流, 於彰雲隆起北側, 將形成一逆時針方向的渦環流; 而為研究臺灣鄰近海域洋流對近岸海流之影響, 廖等(2009)及莊、廖(2010)曾引進建置 POM 海洋數值模式, 並應用巢狀網格架構之計算海域, 探討模擬大規模洋流流動之最佳初始條件、邊界條件與計算海域之範圍; 林、張(2010)亦曾針對臺灣鄰近海域, 以

POM 為基礎，建構作業化海洋模式，並藉實際漂流浮標軌跡之比對，探討臺灣東部海域海流模擬計算之準確性。

### 1.3 工作項目

本研究為 4 年期總研究計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第二分年研究課題，研究重點在延續第一年利用 POM 模式針對臺灣鄰近海域之海流模擬結果，透過實測海流及浮標漂流軌跡紀錄之對照比較，檢討計算海域範圍及巢狀網格架構、調校邊界條件與模式參數設定、藉以改善並提昇海流模擬之準確性。鑑此，擬定本年度研究之重點工作項目如下：

- (1) 改善 POM 海洋數值模式之模擬計算作業流程與環境。
- (2) 引進國內外最新與高解析度之海氣象資料庫，並將其應用於臺灣鄰近海域洋流之模擬。
- (3) 臺灣鄰近海域洋流模擬之模式參數調校及成果檢核與驗證。
- (4) 臺灣鄰近海域洋流水動力特性探討。
- (5) 針對臺灣鄰近海域進行綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬。
- (6) 臺灣鄰近實測海流及浮標漂流軌跡紀錄之對照、比較、與驗證。
- (7) 臺灣近海及東部海域年月季洋流特性與型態變化模擬成果之整理、分析、驗證及展示。
- (8) 建立臺灣鄰近海域海流模擬作業化系統，整理研究成果，撰寫 POM 模式操作手冊及研究報告。

### 1.4 研究成果之預期應用

本研究成果之預期應用，綜整條列如下：

- (1) 建立臺灣鄰近海域海流數值模擬作業系統；探討臺灣鄰近海域海流之水動力特性。
- (2) 綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬；有效掌握臺灣鄰近海域海流水動力特性之季節性變化，俾利交通部、水利署、內政部、環保署、及縣市政府等從事海洋能源開發與利用及海洋資源保育之評估依據。
- (3) 建立並提供臺灣東部海域深層海水水溫水質季節性變化之資訊，俾利交通部、經濟部、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣東部海域深層海水開發之海洋物理特性評估。
- (4) 在臺灣四周海岸，建立綜合洋流與潮流水動力效應之優勢海流，並掌握長期性全平面大尺度之優勢輸沙方向，從順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運特性著手，減少對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，藉以厚植海灘保育之關鍵技術，落實採行「近自然工法」(郭金棟，2004)策略以維護海岸穩定，提供長期性大尺度自然海灘沖淤變遷趨勢之評估資訊，俾利水利署、經建會、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣海岸長期沖淤潛勢之影響評估。
- (5) 全面性與總體性地評估臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響，配合行政院推動海洋國家的長期性、全面性、總體性的海岸保育與防災策略，厚植臺灣維護海岸穩定之關鍵技術及採行「近自然工法」策略保育海灘之依據。
- (6) 配合行政院構建海洋國家的目標，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，強化海洋科技－藍色科技之科研能力；依據國家科學技術發展計畫，補充既有地球環境科技監測體系的完整，推進本土化監測及評估關鍵技術之發展，推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。

## 第二章 POM 模式之理論介紹

### 2.1 模式特性

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

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

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

## 2.2 控制方程式

### 2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

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

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

式中， $U$ 、 $V$  分別為  $x$ 、 $y$  水平方向的流速； $W$  為  $z$  垂直方向的流速，且  $z$  垂直向上為正。另外，為簡化流體的動力方程式，採用包氏近似 (Boussinesq approximation)，水平方向動量方程式因此可表示為：

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

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

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下列的靜水壓方程式來代替表示：

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

式中， $\rho = \rho_o + \rho'$  為海水混合密度， $\rho_o$  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， $F_u$ 、 $F_v$  分為  $x$ 、 $y$  方向之雷諾應力(Reynolds Stresses)。

將式(2-4)的靜水壓方程式作垂直積分，因此可得流體中的壓力為：

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

溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

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

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

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

至於海水密度，因其為溫度與鹽度之函數，故可表示為：

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

而在控制方程式中的  $F_u$ 、 $F_v$ 、 $F_\theta$ 、 $F_S$ ，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， $\phi$ 分別用以表示 $\theta$ 和 $S$ ； $A_M$ 為動量之水平渦旋擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式(Smagorinsky et al., 1965)求得，其表示式為

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

其中， $C$ 為無因次參數，即 Horcon 之代表 $C$ 值，一般值域介在 0.1 至 0.2 之間， $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 分別為 $x$ 和 $y$ 方向的網格間距。至於溫、鹽度之水平渦旋擴散係數 $A_H$ ，POM 模式係利用 Schmidt 數以之與 $A_M$ 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 或甚至在某些例子取為零(Oey et al., 1985a; 1985b)。

## 2.2.2 紊流閉合模式

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



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

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

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

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

式中， $t$  及  $t^*$  分別為不同座標系統內對應之時間。應用上式之轉換關係，則任何物理變數  $G$ ，其在兩座標系統間之微分式將可建立如下關聯：

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

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

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

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

其中， $x$ 、 $y$ 、 $z$ 是一般的卡式座標， $D \equiv H + \eta$ ，而 $H(x, y)$ 是靜水位下之地形水深， $\eta(x, y, t)$ 為自由水面高程。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 $\xi$ 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：

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

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

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

溫度守恆方程式：

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

鹽度守恆方程式：

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

紊流的動能  $q^2/2$  及紊流的尺度參數  $l$  表示：

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

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

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。

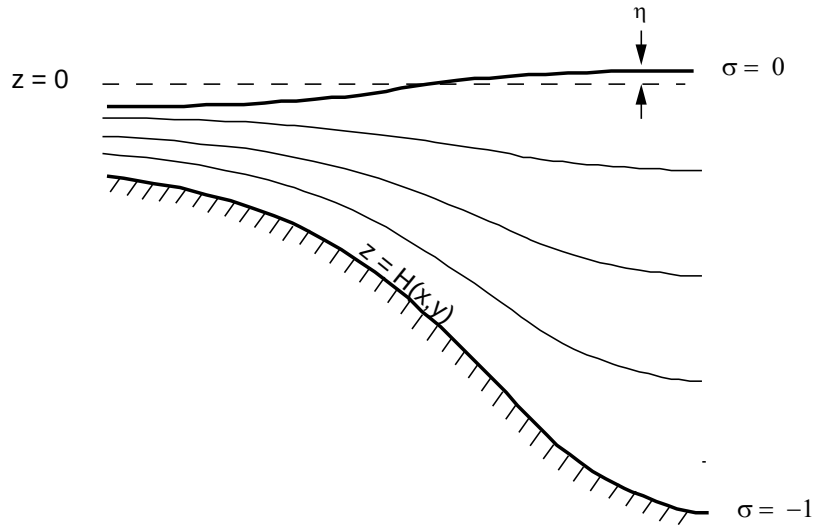


圖 2-1 POM 模式所採用之  $\sigma$  座標系統 (Mellor, 2003)

#### 2.2.4 外模式-水深積分方程式

由於海洋中的波動包含了快速變動的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中的波動，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；而內模式以原三維模式來模擬緩慢變化的內部波動或熱動力變化等，此種分割技巧可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷(Simons, 1974; Madala 和 Piacsek, 1977)。因此將式(2-31)至(2-33)，採水深積分方式，由  $\sigma = -1$  積分至  $\sigma = 0$  以消除所有垂直方向的變化，則二維方程式可表示為

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

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

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

式中，

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

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，

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

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

式中，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，

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

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

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。若單獨執行 POM 模式中之二維模式，則設定  $G_x = G_y = 0$ 。

## 2.2.5 邊界條件

連續方程式，式(2-31)的水面及底床邊界條件可設定為

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

動量方程式，式(2-32)、(2-33)兩式的表面邊界條件可寫為

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

而底部邊界條件則可寫為

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

式中，

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

$\kappa$  為 von Karman 常數，其值可設為 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， $K$  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。

式(2-34)、式(2-35)的溫度和鹽度方程式，其水面和底床的邊界條件分別為

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

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

而紊流閉合方程式，式(2-36)、(2-37)的水面和底床邊界條件為：

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

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

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。至於在開放

邊界處之流速邊界條件，其可依據線性淺水波理論設定為

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

而其上之水位邊界條件，則可設定為

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

式中

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

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

## 2.3 數值方法

### 2.3.1 網格配置

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

在空間網格的配置設定上，內、外模式水平方向皆採用 Arakawa C-grid 交錯網格系統，分別如圖 2-3 與圖 2-4 所示。其中，水平速度  $U$ 、 $V$  分別位於格網邊之中間，而其他的變量，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。



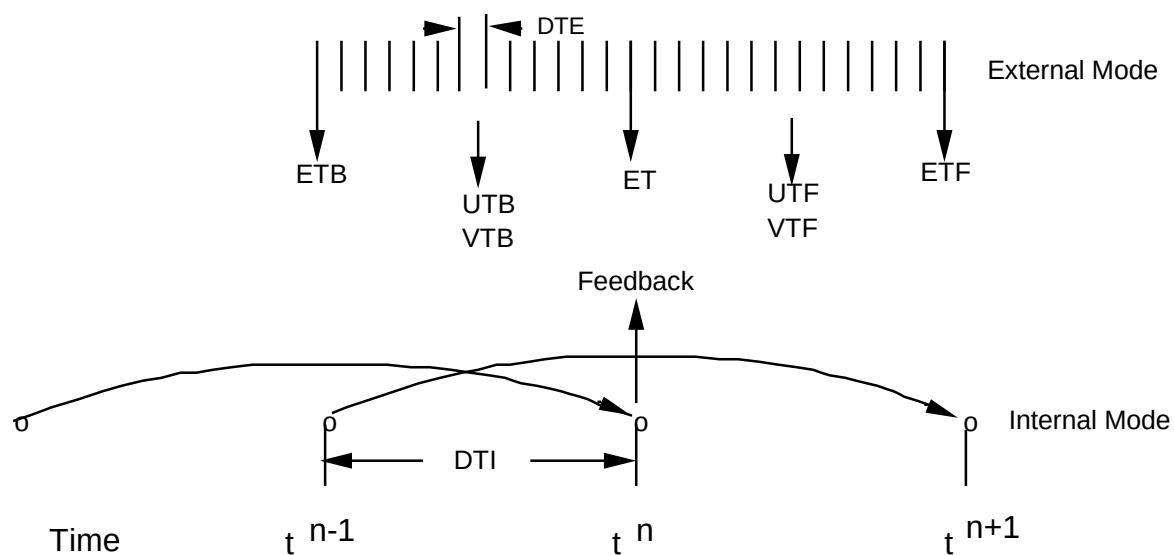


圖 2-2 內外模式相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

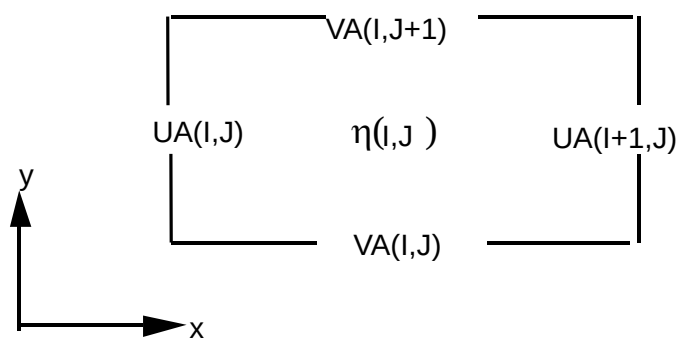


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

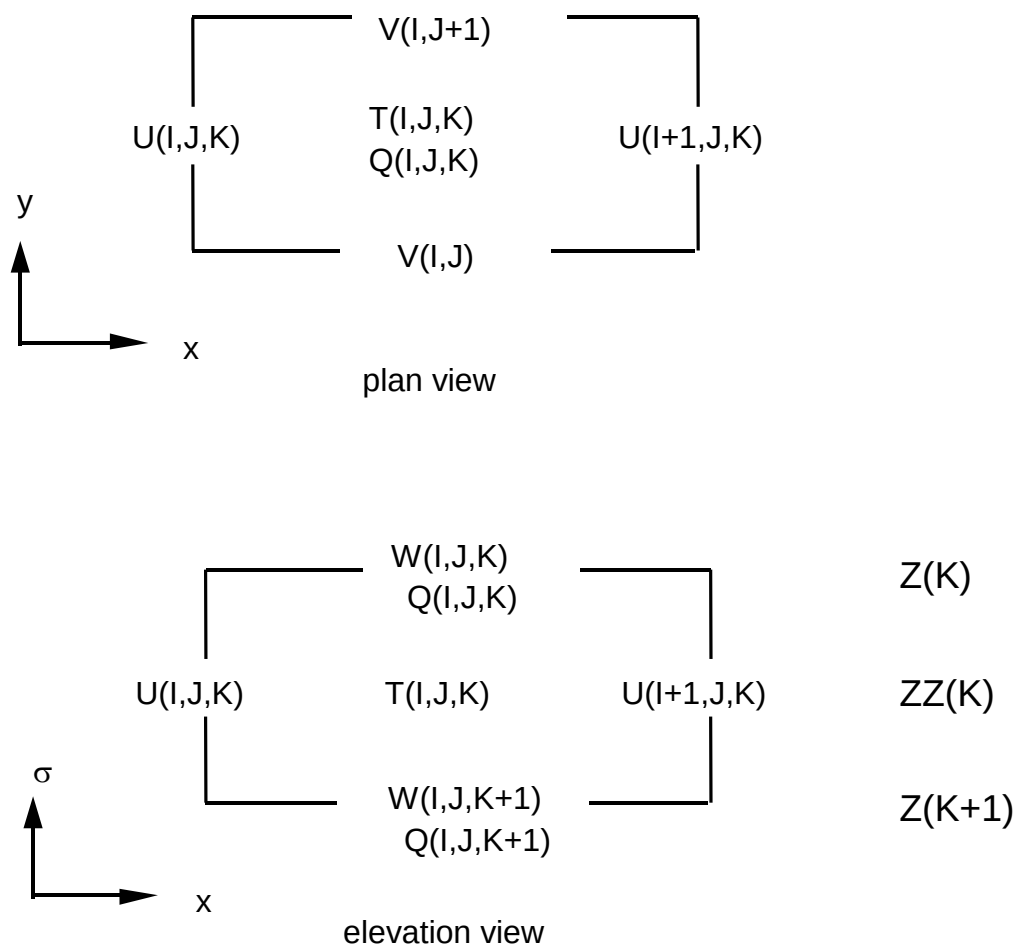


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

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

### 2.3.2 數值離散

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

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

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

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

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

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

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

其中， $T_s$ 是平滑化的解， $\alpha$ 取 0.05。在式(2-54)進行平滑化計算後，令 $T_s$ 為 $T^{n-1}$ 、 $T^{n+1}$ ，然後再進行下一時刻的計算。

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

$$-Adv(T)h_xh_y = \delta_x(Dh_yUT) + \delta_y(Dh_xVT) + h_xh_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\Delta\sigma} \dots\dots\dots(2-55)$$

式中， $h_x$ 與 $h_y$ 分別表示 $x$ 與 $y$ 方向格網間距。 $\delta$ 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，如圖 2-5 中所示。

### 2.3.3 穩定條件

在水深積分模式(即外部模式)以及傳輸方程式中，計算時距是根據下列相關 Courant-Friedrichs-Levy (CFL)計算穩定條件而選定，其中

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

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

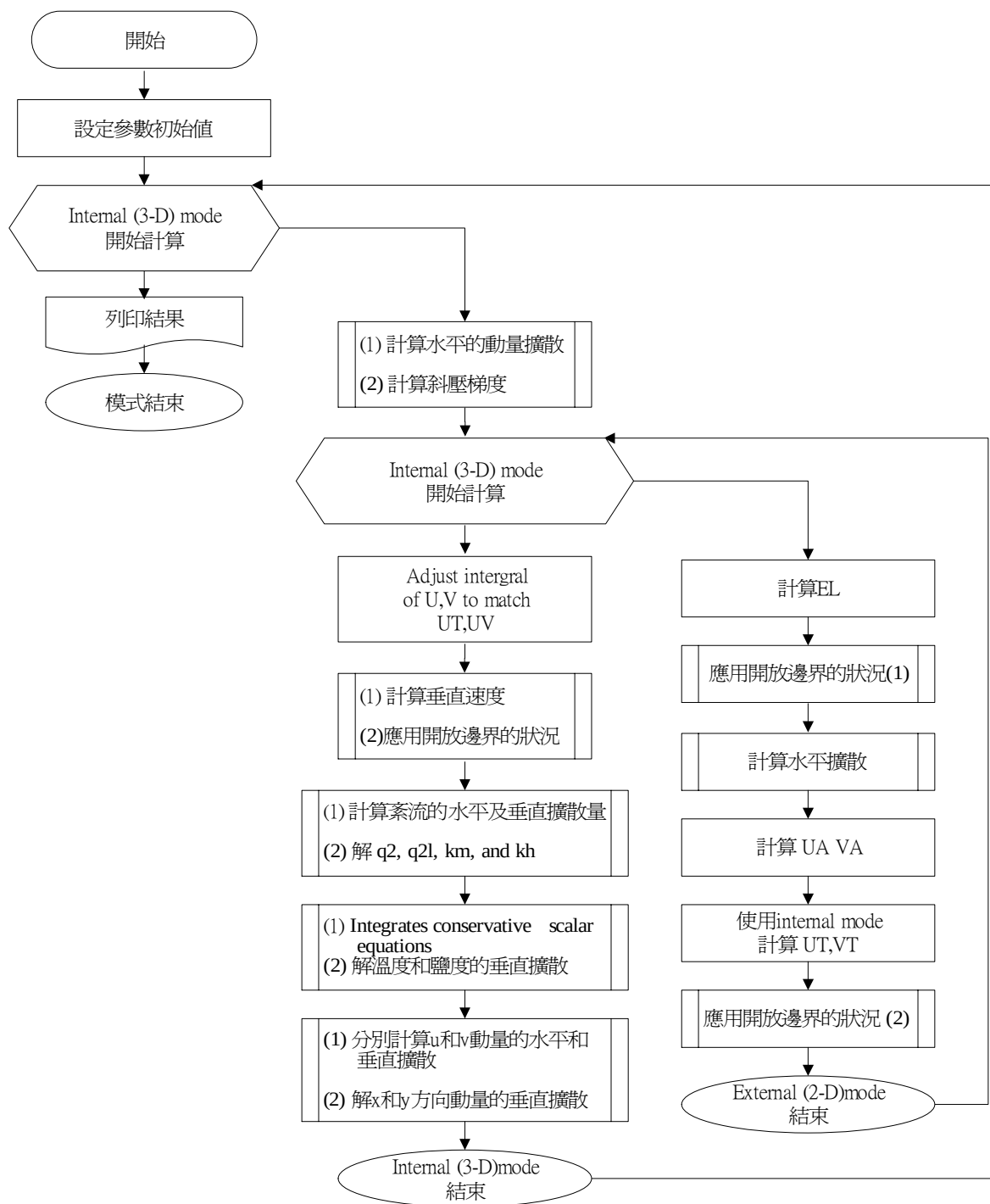


圖 2-5 POM 內外模式之計算流程圖

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

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

其中

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

$C_T$  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。在一般應用於海岸模式的情況下， $\Delta t_I / \Delta t_E$  的比率約為 30 至 80 之間。除上述條件之外，仍有兩個額外的限制會影響 POM 模式的數值穩定性，其中，與動量方程式中水平擴散項有關的穩定條件，依照上述方式可推論其條件為：

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

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

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

根據上述條件，在 POM 模式計算時，必須注意調整計算時距大小的設定。此外，由於 $\sigma$ 座標的關係，故會在靠近海岸處的淺水海域，形成不可計算的奇異點，故在水深給定時必需設定最小水深，通常，在 POM 模式中，預定的最小水深為 10 米，但可隨計算案例的不同及 $\sigma$ 座標垂直分層數之多寡而給定可能的最小水深。

## 2.4 乾溼格網

為了近岸潮流的模擬所需，本研究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，則被假設成一流體無法通過的垂直邊界，但此一假設，在潮間帶與容易溢淹處是不適宜的。為了合理地模擬海岸地區流體溯升、洩降、或溢淹，在最新版本的 POM 模式中，因而已加入乾溼(wetting and drying, WAD)格網機制來模擬流體的運動(Oey, 2005; 2006)。相關之乾溼格網機制數值技巧，概述如下。

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

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

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

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

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

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

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

### 第三章 POM 模式執行環境建置

本研究於第一分年計畫中所引進建置之 POM 三維海流模式，已成功試行並將其應用於臺灣鄰近海域之海流模擬。本年度之研究重點，除了對模擬計算海流作準確性驗證調校外，尚發展前置與後置處理軟體，藉以簡化處理及整理數值模式所產生大量數據的流程，俾使模式計算結果能快速完整的陳現。為了有效落實本年度研究之執行目的，本章將描述模式建置過程、所需要的軟硬體設備、及所需應用的海氣象資料庫。

#### 3.1 軟硬體設備建置

本研究經評估現階段及未來應用之需求，決定採用由官方網站 (<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>) 所下載的 POM2K 版本為基礎，增加具有乾濕格網處理選項的 POM08 版本之功能，建立本研究所使用的 POM 模式。惟因 POM 模式之原始主程式，並未提供完整的資料輸入介面，為了方便模式執行與使用，本研究因此進行輸入介面的發展，讓使用者可依計算方案的不同提供相對應的資料輸入選項，俾提供更為快速的資料輸入方式。圖 3-1 所示即為 POM 模式之主要資料處理流程圖，由圖觀察可見，資料經由前置處理程式將海面與側向邊界資料透過內插法內插至 POM 模式格網上後，透過 POM 模式進行模擬，接著，輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，最後，再經由後置處理程式，分析各種變量之變化趨勢，並繪製模擬計算結果之各種圖表。

由於 POM 模式為三維海洋模式，雖然其需要高速的計算能量與龐大的輸出入資料儲存空間，但本研究於進行格網建置時，即考量個人電腦上可執行之環境限制。僅管本研究在合作研究機關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，藉以充分利用八核心之快速運算以

大量結省模式測試運轉之時間。另外，POM 模式並未對執行環境作任何限制，惟考量未來擴充性與降低模式發展、執行時所遭遇的阻礙，在電腦作業系統方面，本研究因此以美國 Novell 公司所負責維護的 openSUSE Linux 套件作為主要的電腦作業系統環境，因其使用 Linux Kernel 2.6 核心，具有執行速度最佳化、更廣泛的硬體支援、有效率的檔案系統與電源管理等特點，可有效發揮硬體效能，而系統安全與穩定性也可有效保護研究成果。此外，由於 Linux 作業系統近幾年來發展迅速，不論是伺服器或桌面應用上，都有相當數量的開放性源碼(open source)軟體可供選擇，尤其在科學運算與數據處理上更是有許多自由軟體(freeware)可供應用，如此可大大降低軟體購置費用與增加系統擴充性。

POM 模式之程式語言，主要係利用標準 FORTRAN 77 所開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。鑑此，為了後續程式執行與開發，本研究選擇具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 編譯能力、具有卓越浮點計算能力、最佳化執行速度、多執行緒程式編譯、及可支援 64 位元作業系統等多項特點的 Intel Fortran for Linux 來解決程式編譯問題。

除了編譯器的選擇、設定外，由於 POM2K 之後的模式版本增加了 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，其資料格式目前已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，本研究採用 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，本研究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，其圖形範例與操作方式可參考附錄中「POM 模式操作手冊」所述。

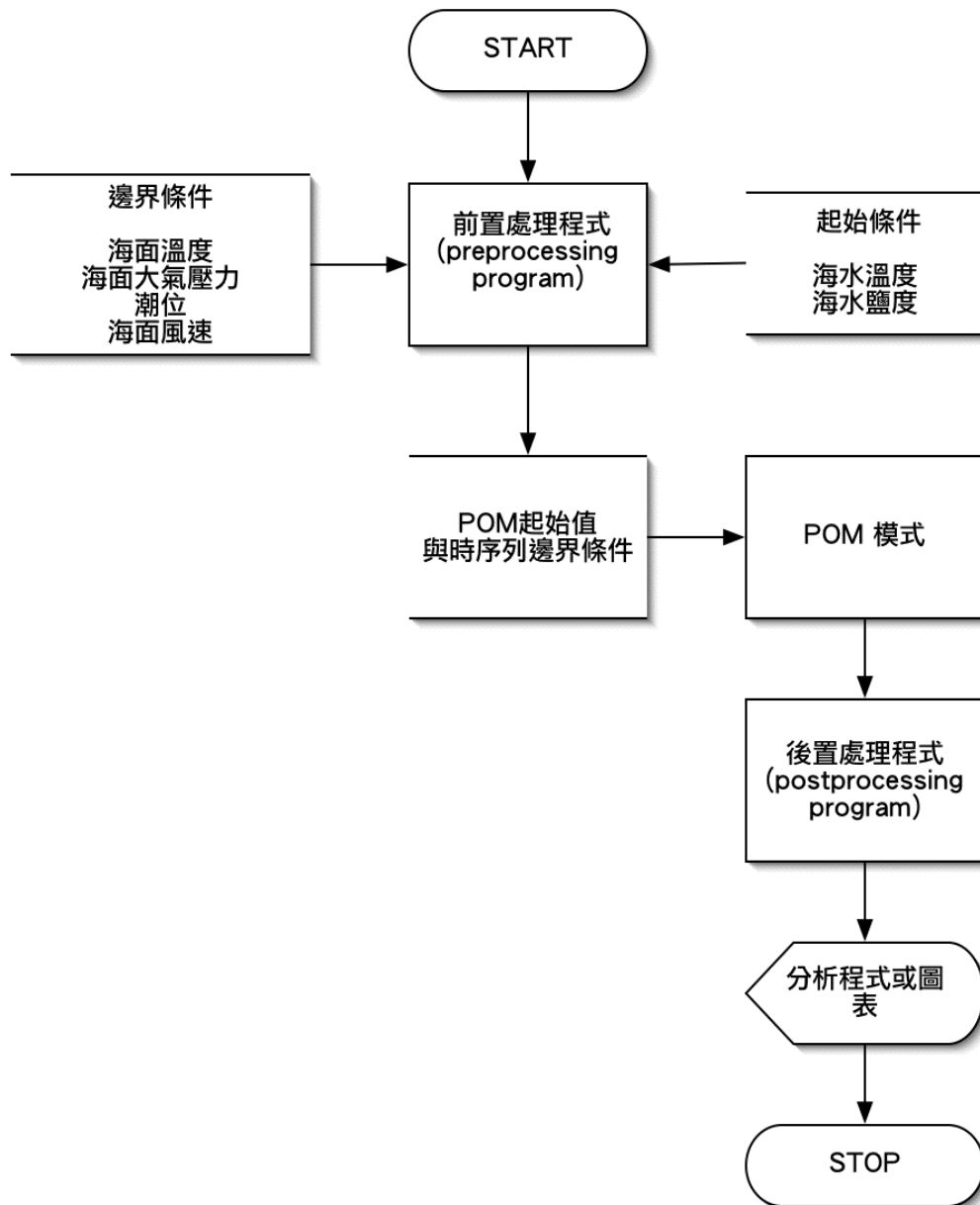


圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程

## 3.2 POM 模式操作與相關檔案

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

## 3.3 POM 模式應用之資料庫

在 POM 模式之邊界與初始條件應用方面，本研究透過現有國際上可得的海氣象資料庫，作為驅動模式所需之外力依據，以下則簡述本研究現階段所蒐集建置之各項海氣象資料庫之基本參數與時空範圍。

### 3.3.1 海表面風場資料

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

### 3.3.2 海平面大氣壓力資料

關於海平面大氣壓力資料，本研究採用與海面風場相同來源之 NCEP/NCAR 分析場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)(Kalnay et al.,

1996)，其資料與 NCEP/NCAR 海表面風場資料相同為模式運算後資料同化之分析場，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為日平均與月平均值，空間解析度為 2.5 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。表 3-2 為 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式說明。

**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<br>T62 Gaussian grid<br>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                                                            |

**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<br>2.5 degree latitude x 2.5 degree longitude<br>global grid<br>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，本研究蒐集了 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<br>1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude<br>global grid<br>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<br>2.0 degree latitude x 2.0 degree longitude<br>global grid<br>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 海洋鹽度與溫度

關於海洋鹽度與溫度，本研究蒐集了 NODC (National Oceanographic Data Center) 的 WOA (World Ocean Atlas) 海洋水文資料庫，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料，資料時間為 1900 年至 2005 年之長期平均，水平空間解析度為 1.0 度，垂直方向共有 33 層，分別是在水深 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 米處，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 [http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr\\_woa05.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html)。表 3-5 為 WOA05 海洋資料庫格式說明。

表 3-5 NODC WOA05 海洋溫鹽資料庫格式

| 屬性            | 設定值                                                                                                         |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 時間範圍(period)  | 1900-2005 年長期平均                                                                                             |
| 空間資訊(spatial) | 180×360 格網化資料(grid)<br>1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude<br>global grid<br>0.0E~359.0E，89.5S~89.5N |
| 變數(variable)  | 溫度(temperature)、鹽度(salinity)                                                                                |
| 高度(level)     | 水深方向 33 層                                                                                                   |
| 資料型式(type)    | ASCII                                                                                                       |

### 3.3.5 全球地形水深

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

**表 3-6 NGDC ETOPO2v2g 全球地形水深資料庫格式**

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

**表 3-7 NGDC ETOPO1 全球地形水深資料庫格式**

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

### 3.3.6 國科會海洋學門海洋資料庫

為進行臺灣近海海流模擬結果之驗證，本研究亦蒐集並申請應用國內自行建置維護之海氣象資料庫\_國科會海洋學門海洋資料庫。該資料庫的資料範圍，主要以臺灣鄰近海域為主。其中，關於海洋水文資料，其係是海洋研究船以 Seabird 公司製造的溫鹽深儀(CTD：Conductivity, Temperature, Depth)所量測，迄今該資料庫共收錄有研究船共 3000 多航次的實測紀錄資料，測量點數約有 40000 多點，原始資料筆數約 1000 萬筆左右。其資料網址為 <http://www.odb.ntu.edu.tw/ctd/>，表 3-8 為海洋資料庫之海洋水文資料之格式說明。

國科會海洋學門海洋資料庫之海流資料，其係是海研一、二、三號研究船以船碇式都卜勒流剖儀(Sb-ADCP：Ship-Board Acoustic Doppler Current Profiler)所實測。實測流場資料並進一步應用 Tang 和

Ma (1995)的校正方式獲得絕對流場，從而再將各水層之資料內插成每十米深度，並繪製相關圖資供閱覽及申請應用。其資料網址為<http://www.odn.ntu.edu.tw/adcp/>。表 3-9 為海洋資料庫之海流資料格式說明。

國科會海洋學門海洋資料庫之水深資料，其主要資料來源亦為國內研究船海研一號（OR1）、海研二號（OR2）以及海研三號（OR3）各航次的船測單音束式水深資料（single beam echo sounding, SBES），資料範圍多侷限在臺灣離岸二百哩以內海域。除了定期新增 SBES 資料，也收集國外的地形相關資料，整編出幾組海域數值地形資料（gridded dataset）(Liu et al., 1998)，可提供各界參考及應用。其資料網址為<http://www.odn.ntu.edu.tw/bathy/>，表 3-10 為海洋資料庫之水深資料格式說明。。

**表 3-8 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料**

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

**表 3-9 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料**

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

**表 3-10 國科會海洋學門水深資料庫格式**

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



## 第四章 臺灣鄰近海域洋流之模擬計算

### 4.1 緒論

延續第一年「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」之研究成果(莊、廖，2010)，利用所引進建置之 POM 模式、資料輸入處理及成果展示之三維海洋環流模擬計算系統，本研究現階段已可應用 Linux 之命令腳本(shell script)方式(參閱附錄一\_POM 模式操作手冊)，簡單方便地選定計算領域範圍，透過設定全球、西太平洋、及臺灣鄰近海域之三層巢狀網格架構，結合包括 NCEP/NCAR 分析風場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)、NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V3 海溫資料及 NODC 的 WOA 海洋水文資料，據以模擬計算臺灣鄰近海域之洋流。

為提昇模擬計算海流之準確性，本年度研究將利用較高時空解析度之海氣象資料庫來改善模式之邊界與初始條件設定；而為進行模擬計算海流之近岸驗證，本研究亦將利用國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odb.ntu.edu.tw/wordpress/>)之實測海流紀錄與水文資料來驗證海流流場與溫、鹽場年季變動之合理性，並透過單點錨碇海流資料、浮標追蹤資料、岸基測流雷達資料及近岸高雄海域之海流實測資料等之對照比較，驗證模式準確性，同時，並分析探討臺灣鄰近海域海流之水動力特性。

### 4.2 臺灣海域洋流特性概述

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

在風吹流的形成上，由於大氣環流在低緯度地區，於赤道與南北緯 30 度形成一信風帶，北半球是東北風、南半球為東南風，此二信風於赤道輻合，並於赤道形成一無風帶。信風帶作用下的赤道暖流因而會向西流動，遇大陸邊界地形後，一部分海水因信風切應力之南北向速度分量不均和補償作用而折回，此便形成了自西向東的赤道逆流和赤道潛流；而另一部分信風漂流，會分別向高低緯度海域形成南北分流，故而在北太平洋形成黑潮、而在南太平洋形成東澳洲洋流、南大西洋形成巴西洋流、北大西洋形成北大西洋灣流、南印度洋形成莫三比克洋流。全球主要洋流的分布如圖 4-1 所示。

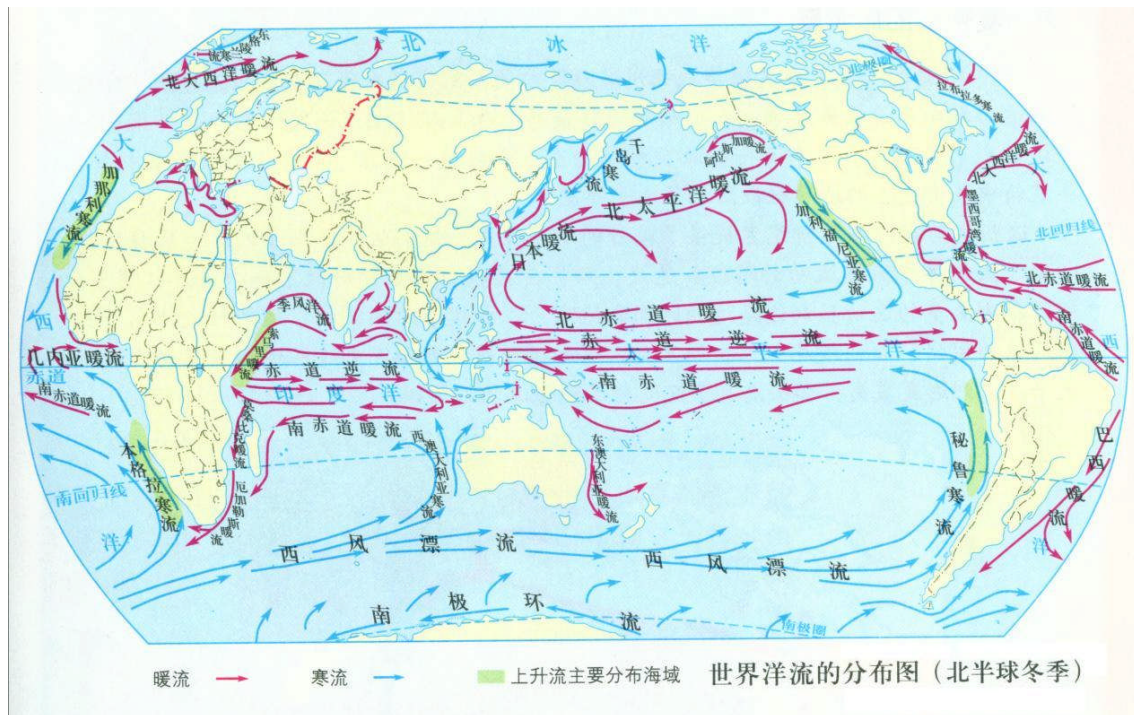


圖 4-1 全球主要洋流的分布(資料來源：<http://blog.dili8844.com/wp-content/uploads/2010/04/f922df39ff1579ee3b87ce40.jpg>)

與赤道與南北緯 30 度間形成之信風帶風吹流相似，於南北半球之緯度 30 度至 60 度間，西風盛行，西風帶作用下的西風漂流向東流動，遇大陸後，向兩側的高低緯度海域分流形成補償流。向低緯流的洋流

有：北太平洋的加利福尼亞洋流、南太平洋的秘魯洋流、北大西洋的加那利洋流、南大西洋的本吉拉洋流、南印度洋的西澳洲洋流。而西風漂流遇到陸地後向北分支形成的補償流、極地東風帶形成的中高緯大洋西岸的洋流組成北半球中高緯海區的氣旋型大洋環流。該環流在北太平洋上有、北太平洋暖流、阿拉斯加洋流、千島寒流。在北大西洋上有、北大西洋暖流、挪威暖流、東格陵蘭寒流。

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

有關臺灣鄰近海域之洋流特性，從以往的實測與研究成果可知，較重要的洋流應屬黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名臺灣海流，其係來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30℃，冬季水溫不低於 20℃，當其由赤道向北流至臺灣南端海域附近時，分成兩股，主流沿臺灣東岸北上，然後受蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後，再彎曲順東海之陸架緣朝東北向流去，流速可達 1 m/sec，有時可高達 2 m/sec，一般而言，夏季流速較快。此外，黑潮主流之寬度約為 110~150 公里，主流中軸線距臺灣東岸約 50~150 公里，最大流速範圍為 0.6~1.0 m/sec，惟隨區域與季節而有所不同，最強之流速出現在接近臺灣海岸處，流速向東緩慢降低，在主流右側常有一反向向南之大型渦流存在；黑潮主流由海面向下可伸延深至 600 米，在此深度之流速仍約可達 0.1~0.2 m/sec，在

臺灣東部近岸，黑潮潮流亦可延展深至 200 米，流速則仍可超過 0.3 m/sec。值得一提的是，黑潮流經臺灣鄰近海域時，由於受到東亞大陸棚架地形的影響，在臺灣東南部近海及東北部外海海域，會引起湧昇流現象，湧昇流會把二、三百米深的中層海水帶到表層來，由於中層海水含較豐富的營養鹽，這些高養分的海水將使浮游生物繁殖旺盛，引來魚群，因而形成良好的漁場，為臺灣近海漁業帶來大洋暖水性魚種，例如鮪魚、鰹魚、旗魚、鬼頭刀等等，位處臺灣北部海域的彭佳嶼，就是明顯的湧昇流區，是臺灣甚為重要的漁場之一，南方澳一帶的漁船經常在此海域作業，對臺灣漁業發展有重大之影響。

次重要的洋流為通過臺灣海峽的黑潮支流，其特性因受季風之影響，一般可分為兩種形態：春末至秋初，由於西南季風盛行，位於臺灣南方之南海洋流與黑潮支流等兩股暖流會流經整個臺灣海峽海域；在冬季時，因東北季風盛行，由東北風吹起的冷流會流入臺灣海峽北部，並與來自海峽南部的溫暖黑潮支流，相遇於澎湖群島附近海域，然後一起匯流進入中國南海。

另一重要的洋流為親潮，親潮又名中國沿岸流或千島寒流，其為起源於渤海與黃海北部之冷流，在冬季，因東北季風之吹拂，其會順沿大陸海岸南下，流入臺灣海峽後與黑潮支流相會於澎湖群島附近，會合後流入南海。魚類隨著這道洋流南下，集中於澎湖群島西側，同時澎湖在冷暖洋流的交匯下，產生了大量的浮游生物，因此也使得大量的魚類得以在此生存，促使澎湖群島成為臺灣西部海域重要之漁場；夏季時，因西南季風影響，黑潮支流較強勁，因此親潮無法流向臺灣海峽。

最後，流經臺灣鄰近海域的洋流尚有南海洋流，此洋流的特性，在冬季時，由於強盛東北季風之阻攔，其無法流入臺灣海峽；但在夏季時，由於西南季風之吹送，促使其北上與黑潮支流匯合，並一同流入臺灣海峽，因此南海洋流又稱為西南季風吹送流。

## 4.3 臺灣鄰近海域之洋流模擬

### 4.3.1 計算海域範圍與巢狀格網系統

風力通常是洋流之原始趨動水動力，因此，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。而為進行臺灣鄰近海域洋流之模擬，取得正確的模式邊界條件，本研究因此首先必須進行全球海域之洋流模擬，然後再利用巢狀格網計算方式，逐步縮小計算範圍，藉以提高臺灣鄰近海域洋流模擬的解析度(廖等，2009；2010)。

依據第一年之研究成果，透過全球、西北太平洋、及臺灣四周海域等三層洋流模擬計算海域巢狀格網架構的建立，本研究目前已可分別概略掌握各分層巢狀格網海域內之海流流動特性(莊、廖，2010)。本年度為了模擬臺灣近岸海域綜合洋流與潮汐效應之海流，驗證其準確性，因此，在原來之三層計算海域巢狀格網架構下，增加一層較高地形解析度之臺灣西南計算海域格網。各層巢狀格網計算海域範圍與其空間格網解析度，分別如圖 4-2、圖 4-3、圖 4-4、及圖 4-5 所示。其中，第一層格網為全球(G1)計算海域(圖 4-2)，其範圍南至南極洲，北至北緯 70 度，東西向邊界以週期性經度相互聯結接合，格網解析度為 $1/2^{\circ}$ ，即約 50 公里；第二層格網為西北太平洋(N2)計算海域(圖 4-3)，其範圍涵蓋東經 105 度至 175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，主要格網包括赤道南北附近海域，格網解析度為 $1/5^{\circ}$ ，即約為 20 公里；第三層格網為臺灣四周(T3)計算海域(圖 4-4)，其範圍涵蓋東經 115 度至 130 度、北緯 15 度至 30 度，主要格網包括菲律賓呂宋島，格網解析度為 $1/16^{\circ}$ ，即約為 6 公里；第四層格網為臺灣西南部(T-SW)計算海域(圖 4-5)，其範圍涵蓋東經 119 度至 122 度、北緯 21 度至 23 度，主要格網包括高屏海岸及小琉球，格網解析度為 $1/64^{\circ}$ ，即約為 1.5 公里。

另外，為設定各巢狀格網計算海域範圍內之地形水深，本研究依據不同之空間解析度，於全球(G1)及西北太平洋(N2)海域，地形水深資料採用空間解析度為 $2/60^{\circ}$ ，即約 3 公里之 ETOP2v2g 地形水深資料



庫(表 3-6)；至於臺灣四周(T3)海域，地形水深資料採用空間解析度為  $1/60^{\circ}$ ，即約 1.6 公里之 ETOPO1 地形水深資料庫(表 3-7)；而臺灣西南部海域(T-SW)，其地形水深資料則採用空間解析度細達 500 公尺之國科會海洋學門地形水深資料庫(表 3-10)。

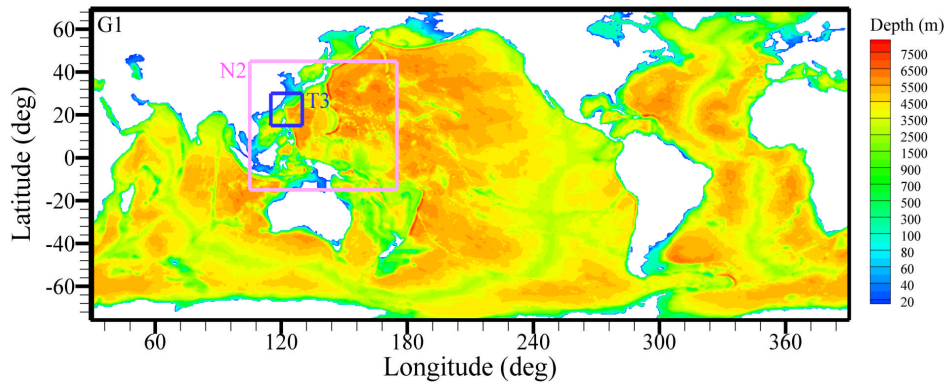


圖 4-2 全球海域(G1)計算範圍與地形水深

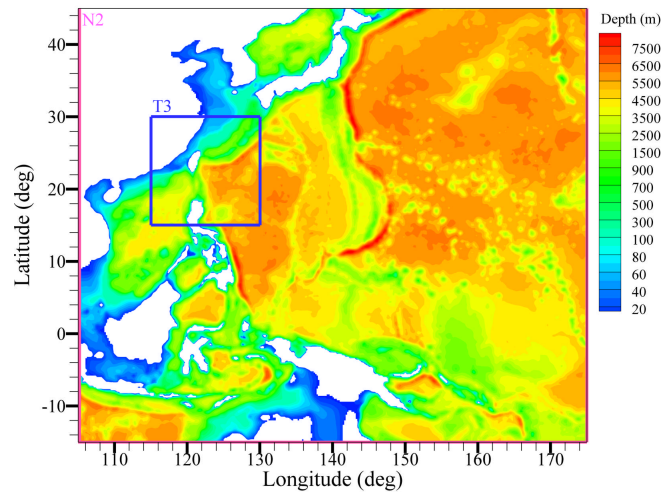


圖 4-3 西北太平洋海域(N2)計算範圍與地形水深

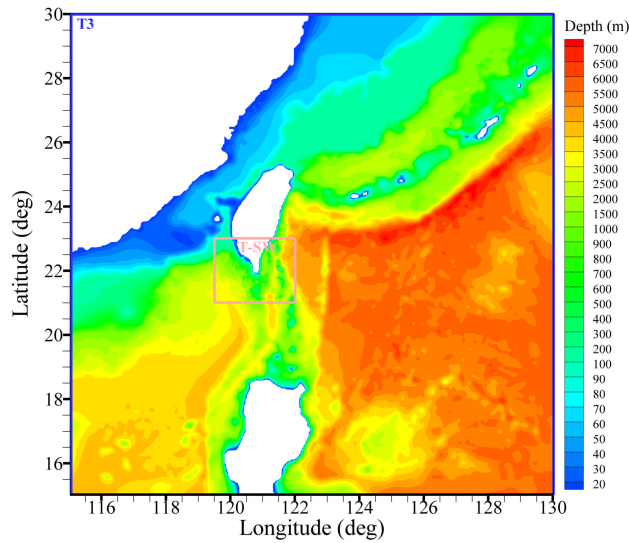


圖 4-4 臺灣四周海域(T3)計算範圍與地形水深

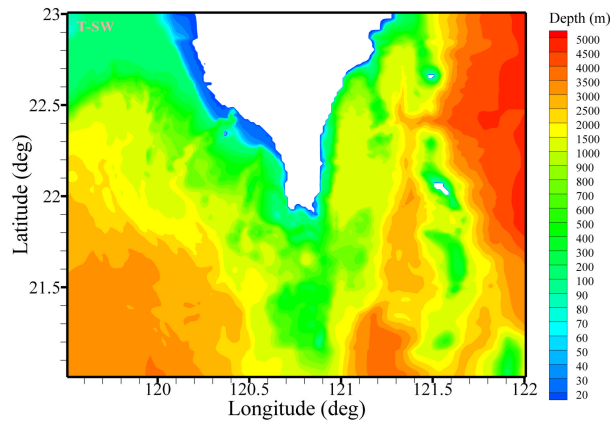


圖 4-5 臺灣西南部海域(T-SW)計算範圍與地形水深

#### 4.3.2 巢狀格網架構之邊界條件處理

基於洋流流動之大尺度特性與既有海氣象資料庫時空解析度之限制，利用巢狀格網海域逐步縮小計算範圍，提高空間解析度，實為現階段在有限計算資源之下獲得高精度模擬結果之最佳方式。

本研究關於巢狀格網邊界條件之聯結設定方式，可分為邊界處與邊界緩衝區兩種條件，如圖 4-6 所示，圖中最外部方框為巢狀母格網範圍，圖中方框為巢狀子格網邊界，子格網邊界內部格紋處為邊界緩衝區。於模式運行計算中，為修正巢狀母、子格網邊界聯結海域水深之

不符合性，因此，依據線性淺水波理論，將子格網邊界之入流流速邊界條件，以上層母格網模式之內插計算水位及流速值，配合子格網邊界之水深  $H$  及水位  $\eta$ ，作如下之調整修正：

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

式中， $\bar{U}_n^0$ 、 $\eta^0$  分別為上層母格網模式於下層子格網邊界處法線方向之流速及水位內插值； $\bar{U}_n$ 、 $\eta$  分別為子格網邊界處之法線方向流速及水位。至於，邊界聯結處之溫、鹽邊界值，則利用上風法(upstream advection scheme)，依據下式設定：

$$\frac{\partial(T,S)}{\partial t} + U \frac{\partial(T,S)}{\partial x} = 0 \dots \dots \dots (4-2)$$

而邊界緩衝區內部之流速，則採用下式之推進(nudging)方式修訂：

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

式中，下標  $i$  表示距離子格網邊界處之第  $i$  格點；上標 0 表示上層母格網模式於下層子格網之格點位置處之內插值； $\Delta x_i$  為第  $i$  格點至邊界之距離； $L_{nest}$  為緩衝區總寬度，本研究，緩衝區之格點層數均設定為 12。

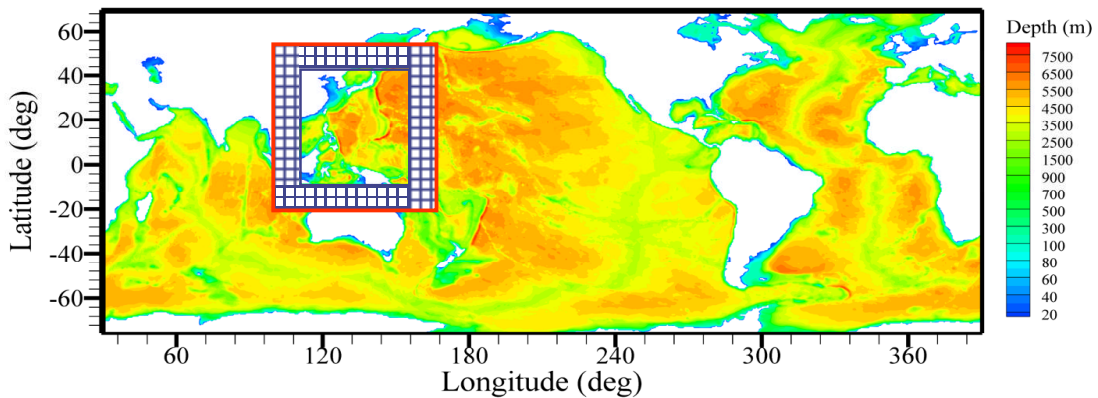


圖 4-6 巢狀格網邊界(紅)及邊界緩衝區(藍)示意圖



### 4.3.3 模擬計算之時空參數設定

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

在邊界趨動條件方面，為評估比較海氣象資料庫不同時空解析度之影響，並為方便模擬結果與實測紀錄之驗證，本年度採用具較高時空解析度之海氣象資料庫，如：海面溫度採用表 3-3 所示之 NOAA OI SST 的週平均資料庫，藉以與採用表 3-4 所示之 NOAA ERSST 的月平均資料庫作對照比較；海面風場與氣壓，分別採用表 3-1 及表 3-2 所示之 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的日平均大氣資料庫，藉以與採用月平均之相同資料庫作對照比較；計算海域內，起始之鹽度與溫度，以表 3-5 所示之 NODC/WOA05 海洋資料庫的年長期平均氣候值設定。

關於模式之模擬計算期間，本研究各計算海域皆設定自 1986 年 1 月 1 日 0 時開始，至 2009 年 12 月 31 日止。巢狀格網各計算海域之詳細海氣象資料庫應用狀況，綜合整理如表 4-2 所示。至於模式計算所需之參數，則以表 4-3 所列之設定值進行模擬。

表 4-1 巢狀格網計算海域範圍與計算條件

| 模式   | 模式範圍                                                                         | 格網點數       | 空間格網<br>解析度       | 外模式計算<br>時距(dte) | 內模式計算<br>時距(dti) | 緩衝區<br>格點數 |
|------|------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|------------------|------------------|------------|
| G1   | 180 <sup>0</sup> E~180 <sup>0</sup> W<br>70 <sup>0</sup> N~75 <sup>0</sup> S | 723×292×21 | 1/2 <sup>0</sup>  | 30 sec           | 1800 sec         | 0          |
| N2   | 105 <sup>0</sup> E~175 <sup>0</sup> E<br>15 <sup>0</sup> S~45 <sup>0</sup> N | 351×301×21 | 1/5 <sup>0</sup>  | 20 sec           | 1200 sec         | 12         |
| T3   | 115 <sup>0</sup> E~130 <sup>0</sup> E<br>15 <sup>0</sup> N~30 <sup>0</sup> N | 241×241×21 | 1/16 <sup>0</sup> | 6 sec            | 360 sec          | 12         |
| T-SW | 119 <sup>0</sup> E~122 <sup>0</sup> E<br>21 <sup>0</sup> N~23 <sup>0</sup> N | 161×129×21 | 1/64 <sup>0</sup> | 2 sec            | 120 sec          | 12         |

表 4-2 巢狀格網計算海域不同時空解析度之海氣象資料庫應用

| 模式   | 地形水深      | 海面風場                              | 海面溫度                | 計算起迄時間                     | 計算時間<br>(註) | 巢狀邊界<br>更新時間 |
|------|-----------|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| G1   | ETOPO2v2g | NCEP/NCAR<br>Reanalysis 1,<br>月平均 | NOAA ER SST,<br>月平均 | 1986/01/01 ~<br>2009/12/31 | 53 min.     | 無            |
| G1-1 | ETOPO2v2g | NCEP/NCAR<br>Reanalysis 1,<br>日平均 | NOAA OI SST,<br>週平均 | 1986/01/01 ~<br>2009/12/31 | 53 min.     | 無            |
| N2   | ETOPO2v2g | NCEP/NCAR<br>Reanalysis 1,<br>月平均 | NOAA ER SST,<br>月平均 | 1986/01/01 ~<br>2009/12/31 | 34 min.     | 月平均          |
| N2-1 | ETOPO2v2g | NCEP/NCAR<br>Reanalysis 1,<br>日平均 | NOAA OI SST,<br>週平均 | 1986/01/01 ~<br>2009/12/31 | 34 min.     | 日平均          |
| T3   | ETOPO1    | NCEP/NCAR<br>Reanalysis 1,<br>月平均 | NOAA ER SST,<br>月平均 | 1986/01/01 ~<br>2009/12/31 | 50 min.     | 月平均          |
| T3-1 | ETOPO1    | NCEP/NCAR<br>Reanalysis 1,<br>日平均 | NOAA OI SST,<br>週平均 | 1986/01/01 ~<br>2009/12/31 | 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真實時間。

表 4-3 POM 模式之重要計算參數設定

| 參數     | 值      | 作用                    | 參數     | 值     | 作用                                       |
|--------|--------|-----------------------|--------|-------|------------------------------------------|
| Nitera | 3      | 改善水平對流項數值<br>技巧穩定度的選項 | tpnri  | 0.2   | Pradtl number 水平紊流參數                     |
| Sw     | 1      | 改善數值結果之平滑<br>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<br>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<br>leap-fog 數值技巧所產生的<br>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<br>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<br>射量有關                     |
| Cbcmin | 0.0025 | 最小底床摩擦係數              | nbct   | 3     | 海面溫度邊界條件型式                               |
| Cbcmax | 1.0    | 最大底床摩擦係數              | nbcs   | 1     | 海面鹽度邊界條件型式                               |
| Horcon | 0.2    | 水平擴散係數                |        |       |                                          |

#### 4.3.4 不同時空解析度海氣象資料庫應用於洋流模擬之比較

為了評估比較 POM 模式應用不同時空解析度海氣象資料庫進行洋流模擬之影響，本研究於巢狀格網架構下，配合表 3-1 至表 3-4 所列海氣象資料庫之時空間解析度說明，參考表 4-2，當採用較粗時空間解析度之月平均海面風場與溫度場，且巢狀格網聯結邊界之資料更新頻率為月平均值的海氣象資料時，全球計算海域、西北太平洋計算海域、及臺灣四周計算海域之模擬代號分別以 G1、N2、及 T3 命名；而當採用較細時空間解析度之日平均海面風場與週平均海面溫度場，且巢狀格網聯結邊界之資料更新頻率為日平均值之海氣象資料時，全球計算海域、西北太平洋計算海域、及臺灣四周計算海域之模擬代號，將分別以 G1-1、N2-1、及 T3-1 命名。

依據本章前列各節所述之邊界及初始條件與相關模擬計算參數之設定說明，採用 POM 模式進行全球—西北太平洋—臺灣四周等三層巢狀格網計算海域之模擬計算，因此可得洋流模擬計算結果，分別如圖 4-7 至圖 4-11 所示。圖中，流速大小與流向，除了以箭尺長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示。此外，依據第一年之研究經驗，僅管流場計算由 1986 年 1 月 1 日 0 時開始積分，但因模式自冷啟動至穩定狀態，約需要 5 年的積分時間(莊、廖，2010)，故而，對照比較之流場，皆以自 1991 年 1 月 1 日 0 時起的穩定狀態計算結果進行統計與分析。

在全球計算海域內，自 1991 年至 1996 年之模擬結果中進行年平均之統計分析，並萃取對應於西北太平洋計算海域範圍內之流場，結果如圖 4-7 所示，圖中，左、右圖分別為 G1 與 G1-1 模式於海表面與 300 米等水深層處之流場模擬結果。由圖中流場型態之對照比較可知，提高海氣象資料庫之時空解析度，對全球計算海域內之洋流流場型態之差異影響，似乎不顯著。主要造成之原因，可能係全球計算海域之模式格網解析度約為 50 公里，地形水深資訊無法充分詳細地反應於模式計算中之故。

在西北太平洋計算海域內，自 1991 年至 1996 年之模擬結果中進行年平均之統計分析，結果如圖 4-8 所示，圖中，左、右圖分別為 N2 與 N2-1 模式於海表面與 300 米等水深層處之流場模擬結果。由圖中流場型態之對照比較可知，使用高、低不同時空解析度之海氣象資料庫，會對西北太平洋計算海域內之洋流流場型態，產生差異影響，其中，較明顯可見者為黑潮於呂宋海峽處之入侵(intrusion)與套流(loop currents)現象，另外，臺灣東部海域及沿東海陸架邊緣至日本東岸外的黑潮環流流場，其型態亦有些微變化。主要造成之原因，應係海氣象資料庫之時間解析度不同，以致造成流場積分統計之分析差異。

在臺灣鄰近計算海域內，自 1991 年至 1996 年之模擬結果中進行年平均之統計分析，結果如圖 4-9 所示，圖中，左、右圖分別為 T3 與 T3-1 模式於海表面與 300 米等水深層處之流場模擬結果。至於，自 1991 年至 1996 年之模擬結果中，若進行季平均之統計分析，則其在春(March-April-May)、夏(June-July-August)、秋(September-October-November)、冬(December-January-February)各分季之流場模擬結果，分別可得如圖 4-10 與圖 4-11 所示。首先，由圖 4-9 中流場型態之對照比較可知，使用高、低不同時空解析度之海氣象資料庫，黑潮於呂宋海峽處之入侵與套流現象差異依舊明顯，而在臺灣東部海域及沿東海陸架邊緣的黑潮環流流場，其型態仍存在不同之變化。另外，由圖 4-10 與圖 4-11 中分季流場型態之對照比較可知，使用較高時空解析度之海氣象資料庫後，在各季節內於呂宋海峽處皆會出現黑潮套流現象，並以秋、冬兩季所形成的套流現象較明顯；而其在臺灣東部海域之黑潮流速，春、夏季略大於秋、冬季。將此些計算黑潮特性與一般之研究觀測結果(Hsin et al., 2008)相對照，可見其符實性。

在臺灣鄰近海域，基於以上應用高解析度格網及高時空解析度之海氣象資料庫進行 POM 模式計算，相對上可較詳細準確地掌握黑潮於呂宋海峽之入侵與套流現象及其在臺灣東部海域及沿東海陸架邊緣的環流流場特性，故以下的模擬計算驗證，將針對 N2-1 及 T3-1 巢狀格網計海海域之模擬結果作進一步的討論。

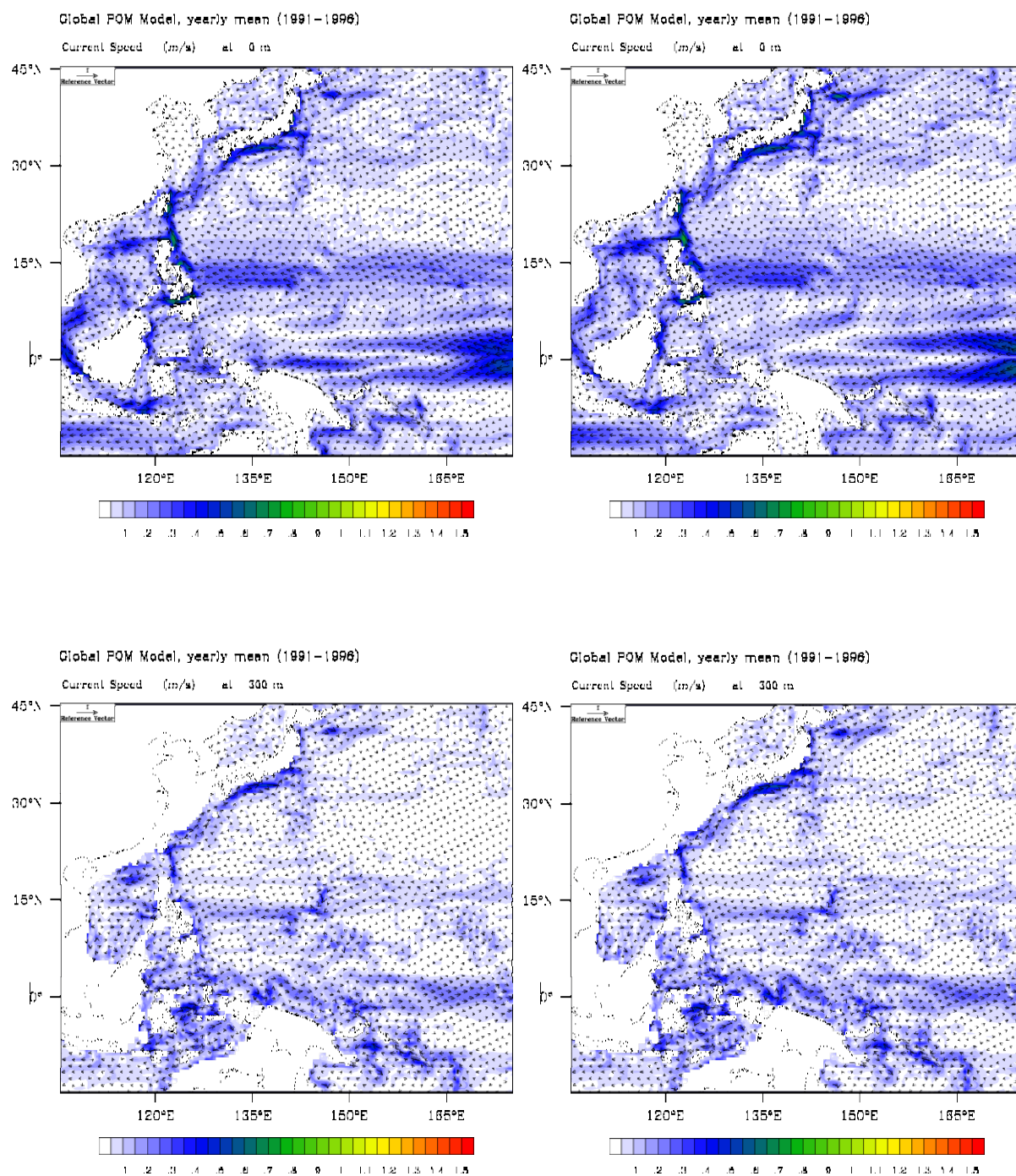


圖 4-7 全球計算海域 G1(左)與 G1-1(右)模式於西北太平洋海域範圍內  
自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)  
之計算海流流場

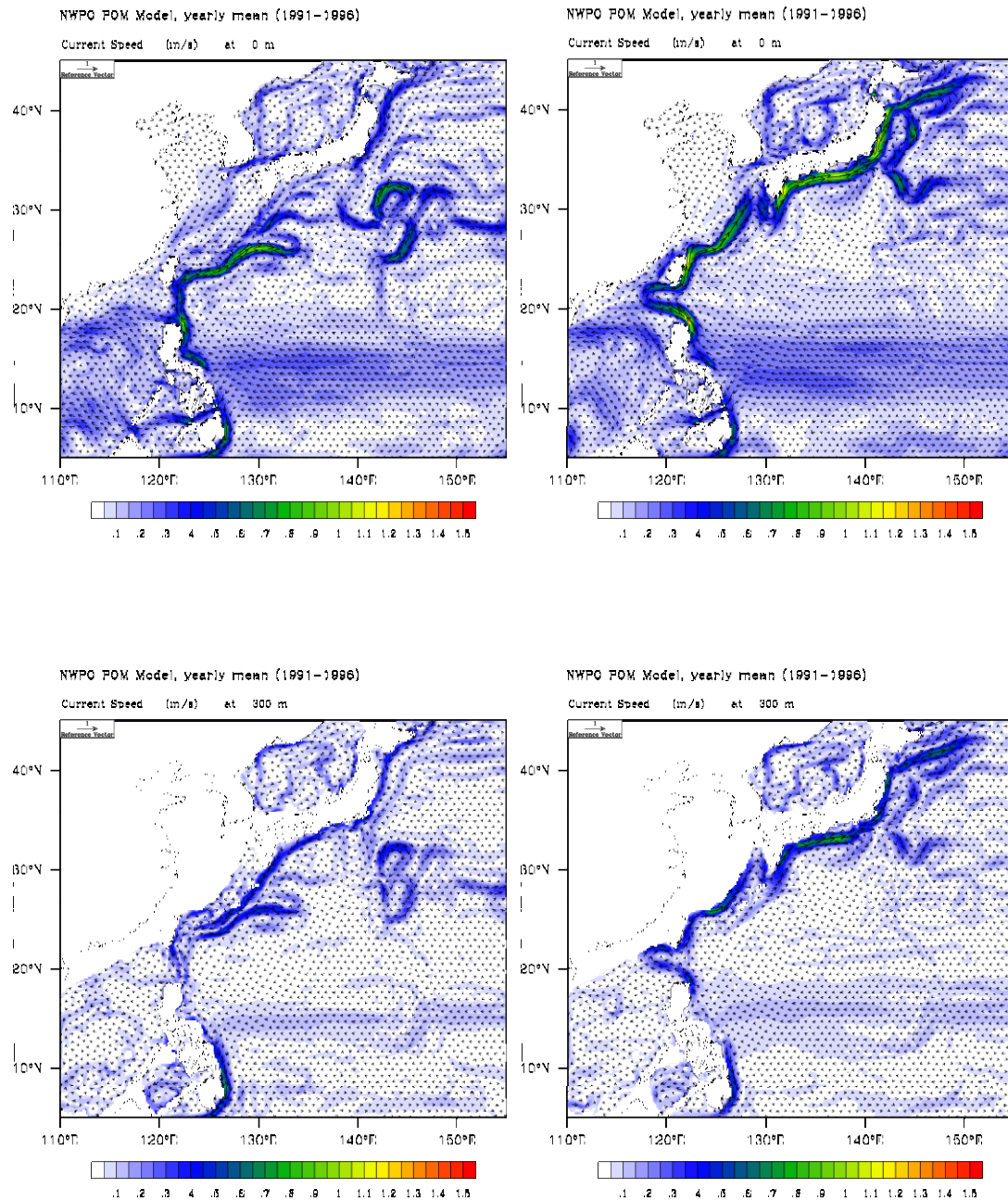


圖 4-8 西北太平洋計算海域 N2(左)與 N2-1(右)模式自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場



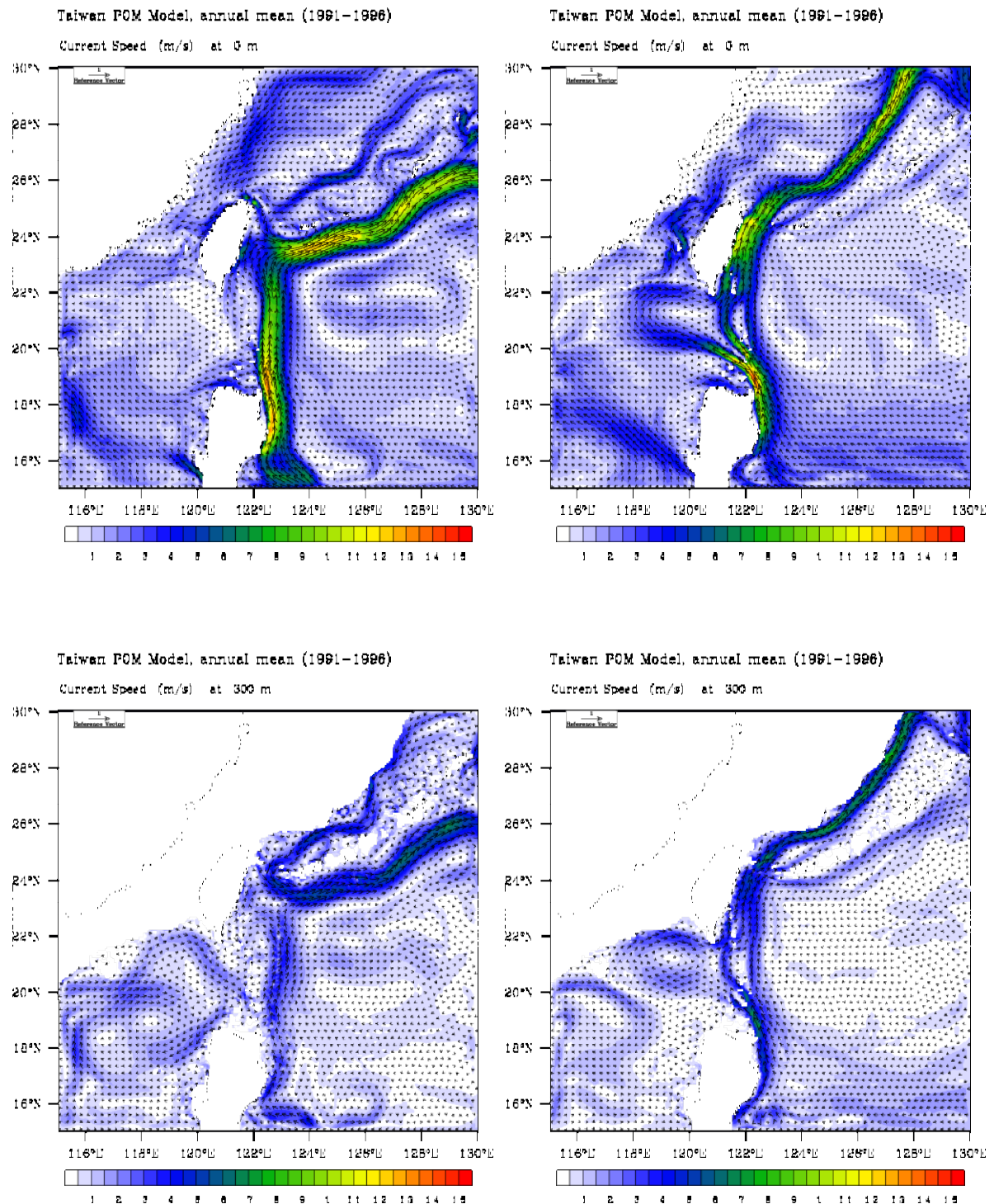


圖 4-9 臺灣四周計算海域 T3(左)與 T3-1(右)模式自 1991 年至 1996 年之年平均海表面(上)與 300 米等水深層(下)之計算海流流場

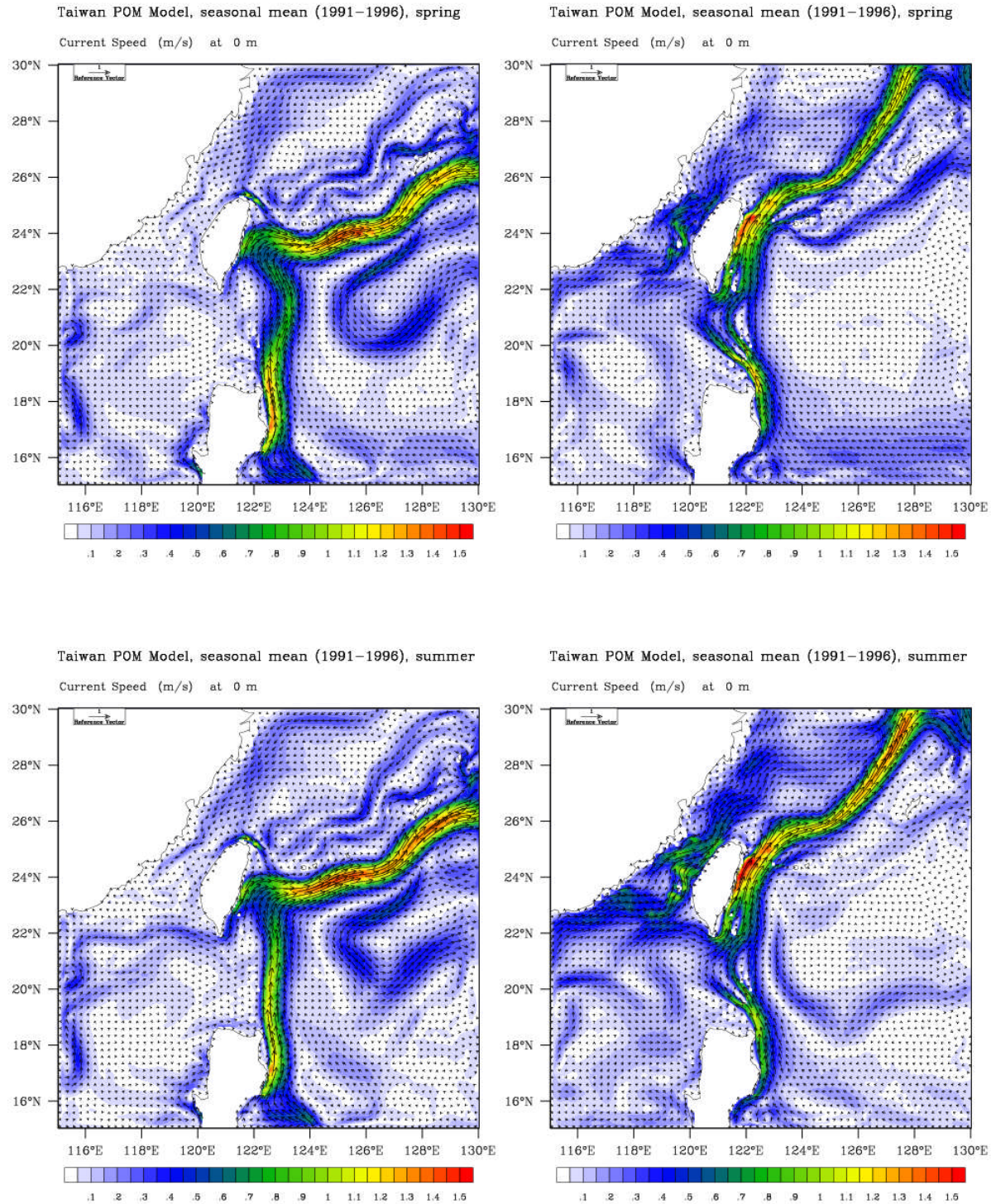


圖 4-10 臺灣四周計算海域 T3(左)與 T3-1(右)模式自 1991 年至 1996 年之春季(M-A-M) (上)與夏季(J-J-A) (下)季平均之海表面計算海流流場



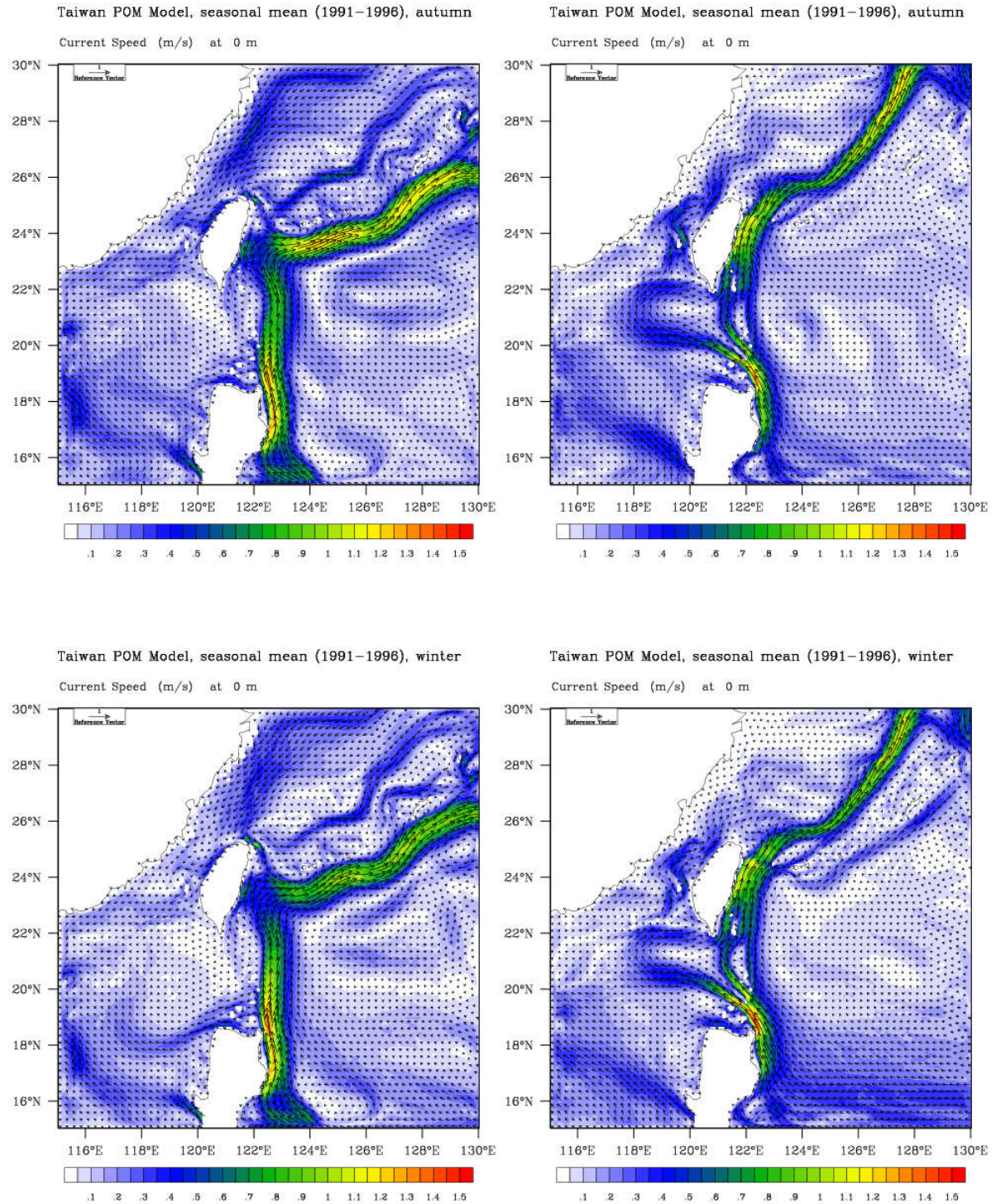


圖 4-11 臺灣四周計算海域 T3(左)與 T3-1(右)模式自 1991 年至 1996 年之秋季(S-O-N) (上)與冬季(D-J-F) (下)季平均之海表面計算海流流場

## 4.4 模擬計算驗證與水動力特性探討

### 4.4.1 臺灣鄰近海域各等水深層年平均之洋流驗證

為檢核臺灣鄰近海域洋流模擬計算結果之準確性，本研究自國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odb.ntu.edu.tw/adcp/>)蒐集申購海流實測資料，藉以進行驗證。詳細的海流實測資料格式，如表 3-9 所示。

針對 T3-1 之臺灣鄰近計算海域範圍，配合實測海流資料，於避免自 1986 年 1 月 1 日 0 時起模式採用冷啟動起始所造成 5 年數值不穩定階段之影響(莊、廖，2010)下，採用 1991 年至 2009 年期間之模擬計算結果，分別進行 20、50、100、200 及 300 米處不同等水深層洋流年平均統計特性之驗證，相關結果如圖 4-12 所示，圖中，流速大小與流向，除了以箭尺長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示；左、右圖分別為實測與模擬計算之海流。

由圖 4-12 綜合比較觀察可知，在臺灣東部之花蓮近岸海域，洋流之表面流速大小可達約 1 至 1.5 m/s，此與臺灣東部近海實測之黑潮流速相近，且流向也具有順沿臺灣東部海岸一致往東北之吻合性。

另外，在呂宋海峽海域，由圖 4-12 中之模擬計算洋流流態特性可知，黑潮流經菲律賓之呂宋島海域後，主流將一分為二，其中之西側支流，將在臺灣西南部海域，形成套流(loop currents)流態，且當其轉進南海海域後，一部分會沿著澎湖水道，穿過臺灣海峽，往北流動，另一部分則會在臺灣西南海域，形成一順時針環流，並會繞過臺灣南部海岸，於墾丁附近海域，與東側支流會合後，沿臺灣東部近岸向北流動。將此一模擬計算所得之黑潮套流流態，與實測海流對照比較可見，實測海流不僅黑潮套流流態較不明顯，而且其流速值亦徧小。造成此一流態差異之主因，經訪詢國內資深學研專家(臺大海研所詹森教授)後，初步認為：因黑潮套流流態常發生於東北季風盛行的冬天，而冬天因海象經常較惡劣而不易進行海流觀測，以致量測期間及點數分布皆少且不均勻，故而造成黑潮套流之實測年平均統計特性較不明顯。



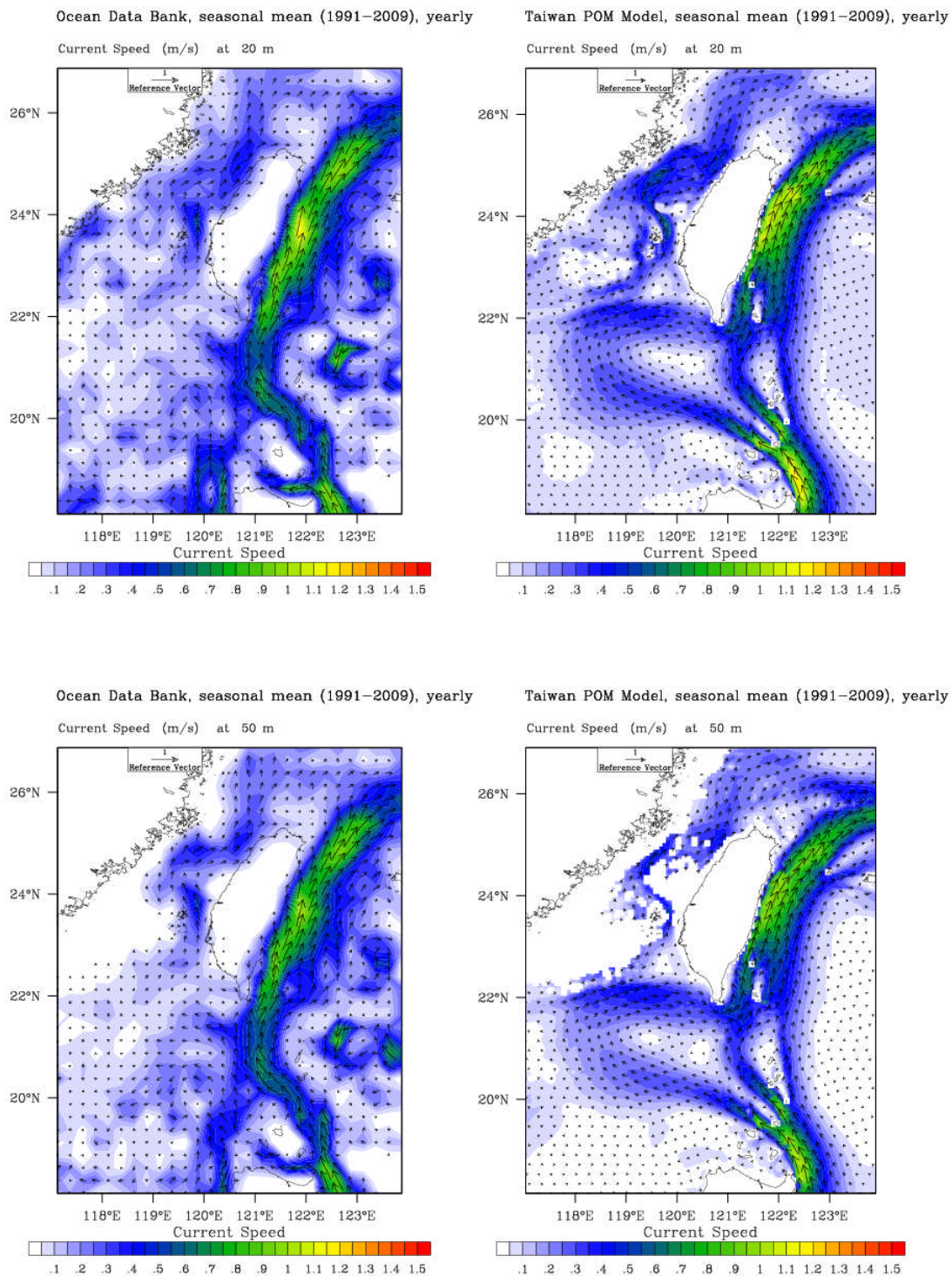


圖 4-12 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 20 米(上)與 50 米(下)等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較

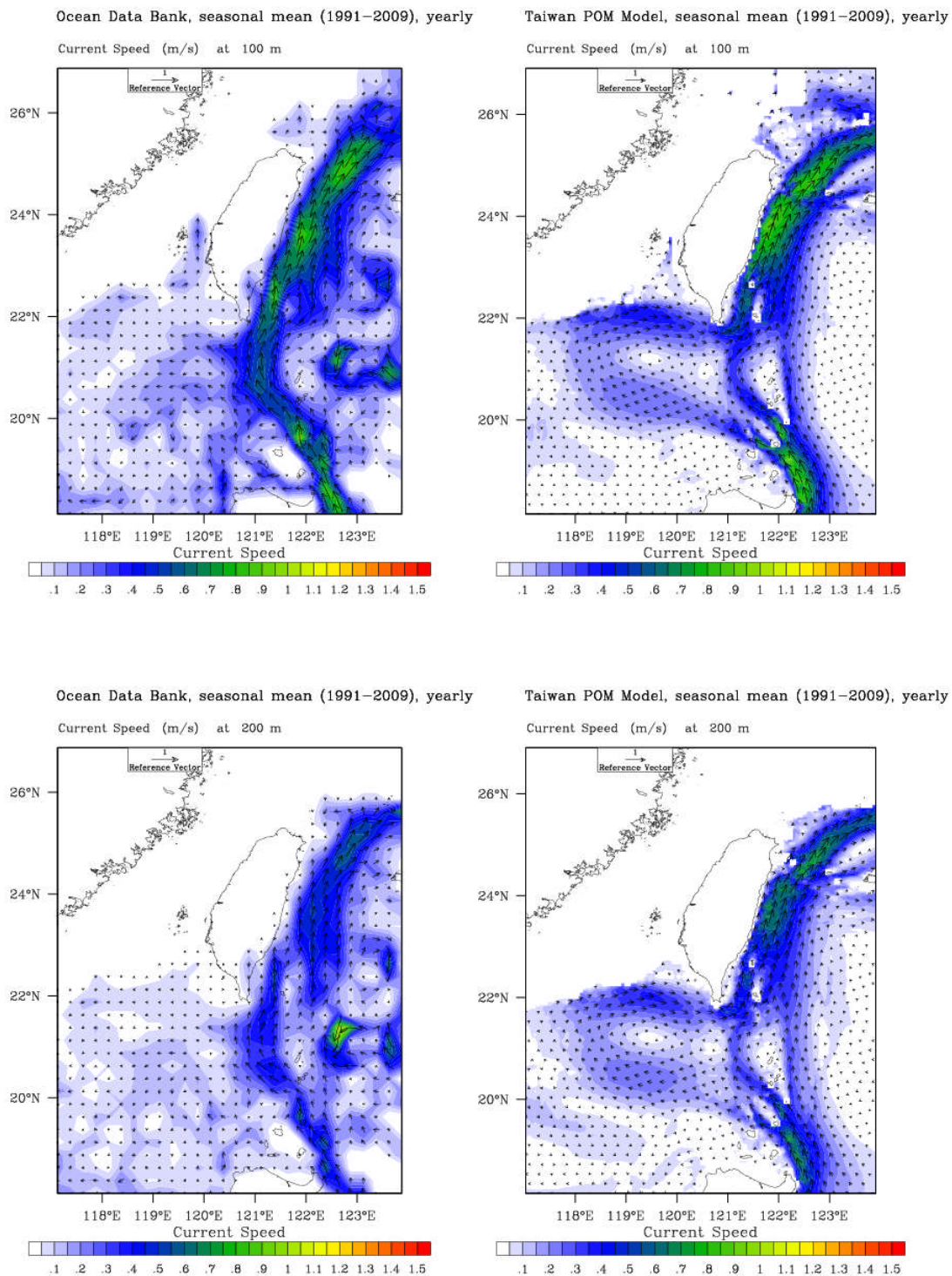


圖 4-12(續) 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 100 米(上)與 200 米(下)等水深層  
1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較



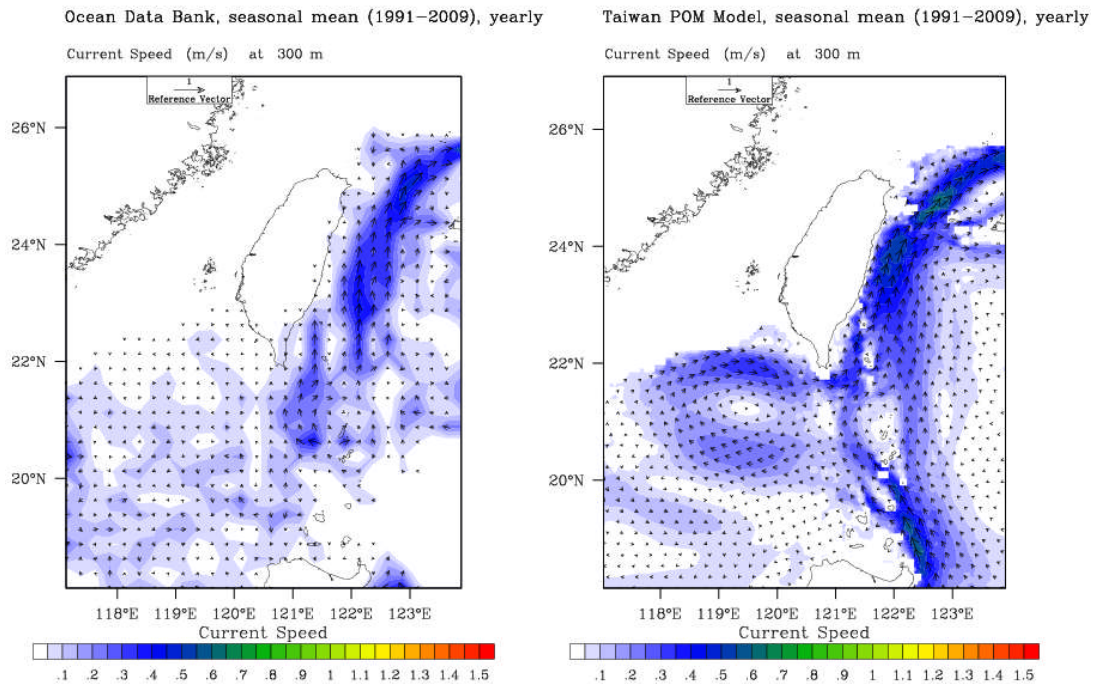


圖 4-12(續) 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 300 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均流場流態比較

#### 4.4.2 臺灣鄰近海域各等水深層季平均之洋流驗證

在 T3-1 臺灣鄰近計算海域內，自 1991 年至 2009 年之模擬結果中分別進行 20 米及 200 米等水深層之季平均洋流流態比較，則實測與模擬計算洋流流場流態在春(March-April-May)、夏(June-July-August)季與秋(September-October-November)、冬(December-January-February)季之對照比較結果，分別可得如圖 4-13 至圖 4-16 所示。圖中，流速大小與流向，除了以箭尺長短及指向陳現外，尚以各圖下之參考色階深淺表示；左、右圖分別為實測與模擬計算之海流。

首先，對照比較圖 4-13 與圖 4-14 所示 20 米等水深層之分季洋流流場流態可知，模擬計算之黑潮套流流態，確實在秋、冬季節較明顯，而且在臺灣西南海域，實測海流於冬季亦陳現較明顯之向西流動現象，足見模擬計算與實測海流，兩者在冬季有相近似之黑潮套流流態；而在春、夏季，由於南海海域西南季風盛行，故西南吹送流會在臺灣

西南海域陳現，尤其是當其與黑潮套流(西側支流)匯合後，在高屏海域將會產生較複雜的流況，而在臺灣海峽海域，夏季之流速相對上較強勁；至於，在臺灣海峽內，比較澎湖水道海域夏季之實測與計算海流可見，兩者約略具相似性，惟在其他季節，模擬計算海流似乎略大於實測海流，而在冬季，黑潮支流亦有明顯轉弱趨勢。

接著，對照比較圖 4-15 與圖 4-16 所示 200 米等水深層之分季洋流場流態可知，在臺灣東部海域之黑潮海流，在流速大小及流向上，模擬計算與實測兩者亦陳現相似性，惟模擬計算流速仍略大於實測值，此外，模擬計算海流，在臺灣西南海域，於水深達 200 米之等深層，仍清楚可見黑潮套流之順時針環流流態。

#### 4.4.3 臺灣東部海域垂直海岸斷面之年平均流速與流量驗證

在 T3-1 臺灣鄰近計算海域內，自 1991 年至 2009 年之模擬結果中，於臺灣東部海域，分別萃取北緯 21 度、23 度及 25 度垂直黑潮流向之水深斷面進行年平均洋流流態比較，結果分別如圖 4-17、圖 4-18 及圖 4-19 所示。圖中，左、右圖分別為實測與模擬計算之海流流速，流速大小與流向，以各圖下之參考色階深淺表示；網格區塊表示海表面或水下地形；上、中及下圖分別為對應水深斷面上之流速、流速東西(U)分量及南北(V)分量大小變化分佈圖。

首先，由圖 4-17 所示北緯 21 度水深斷面之實測與模擬計算洋流流速對照比較可看出，在臺灣東南部海域，實測黑潮主流，年平均表面流速可約達 0.8 m/s；於水深達 300 米處，其年平均流速仍約有 0.3 m/s，總體斷面上的流速，明顯比模擬計算流速略大，僅管如此，在東經 121 度與 122.5 度處，實測與模擬計算洋流，皆明顯陳現出流速較強之支流。

其次，由圖 4-18 所示北緯 23 度水深斷面之實測與模擬計算洋流流速對照比較可看出，在臺灣東部海域，實測黑潮主流，年平均表面流速可約達 1.0 m/s；於水深 120 米處，其年平均流速仍約有 0.6~0.8 m/s，主流軸約介在東經 121.3 度至 121.6 度之間，即離岸約 60 公里左右；

而在臺灣海峽海域，實測洋流之年平均流速約為 0.2~0.5 m/s，總體斷面上的流速與主流特性，皆與模擬計算結果相近似。

最後，由圖 4-19 所示北緯 25 度水深斷面之實測與模擬計算洋流流速對照比較可看出，本斷面之黑潮，實測主流軸略往西偏移，約介在東經 122.5 度至 123.0 度間，離岸約 80 公里，於水深約 150 米處，年平均流速仍可達 0.7~0.9 m/s；而在臺灣海峽北端海域，年平均流速仍可達 0.4~0.6 m/s 左右，總體斷面上的實測流速與主流特性，亦皆能與模擬計算結果相近似。

至於，黑潮之流量，Hsin et al. (2008)曾估算實測流量約介於 15~44 Sv (※ Sv 為 Sverdrup 之縮寫； $1\text{Sv}=10^6\text{ m}^3/\text{s}$ )之間；而其數值模擬計算之年平均流量約為  $28.4\pm 5.0$  Sv。為進行驗證，本研究自數值模擬計算結果中，分別在北緯 21 度、23 度及 25 度之水深斷面上，將水深 300 米以內之流速流向進行積分，因此可得通過各斷面之年平均流量，分別為 12.0、23.4 及 25.0 Sv；而實測之年平均流量，經統計分別為 1、26 及 22 Sv (劉，2002；王，2002；Hsin et al., 2008)，明顯可見，除了北緯 21 度斷面之差異較大外，其餘水深斷面上之模擬計算與實測流量，均具有符合性。再針對臺灣東部海域模擬計算之黑潮洋流，分別於北緯 21、22、23、24 度之水深斷面上，自 1991 年起至 2009 年間，統計水深 500 米以內之月平均流量，因此可得黑潮流量逐月變化圖如圖 4-20 所示，由圖觀察可知，在臺灣東部海域各水深斷面上之黑潮流量，其逐月變化皆甚穩定，最大與最小月平均流量之變動約為平均值之正負 5 Sv；在各年間，冬季時，月平均流量一般最小，而夏季時，月平均流量反而最大。另外，針對臺灣海峽海域，自 1991 年起至 2009 年間，統計自(119°E；26°N)起至(121°E；24°N)止之海峽中段水深斷面之月平均流量變化，結果如圖 4-21 所示。由圖觀察可見，通過臺灣海峽中段斷面之年平均流量約僅有 3.1 Sv，而其月平均流量之變動幅度約為 1.5 Sv，以致部分冬季期間之流量，最小可低於 1Sv，甚至部分在東北季風較強盛時，會出現流向向南之負流量值。將此數值計算流量對照比較王(2002)之實測估量值，亦可見相互之近似性。

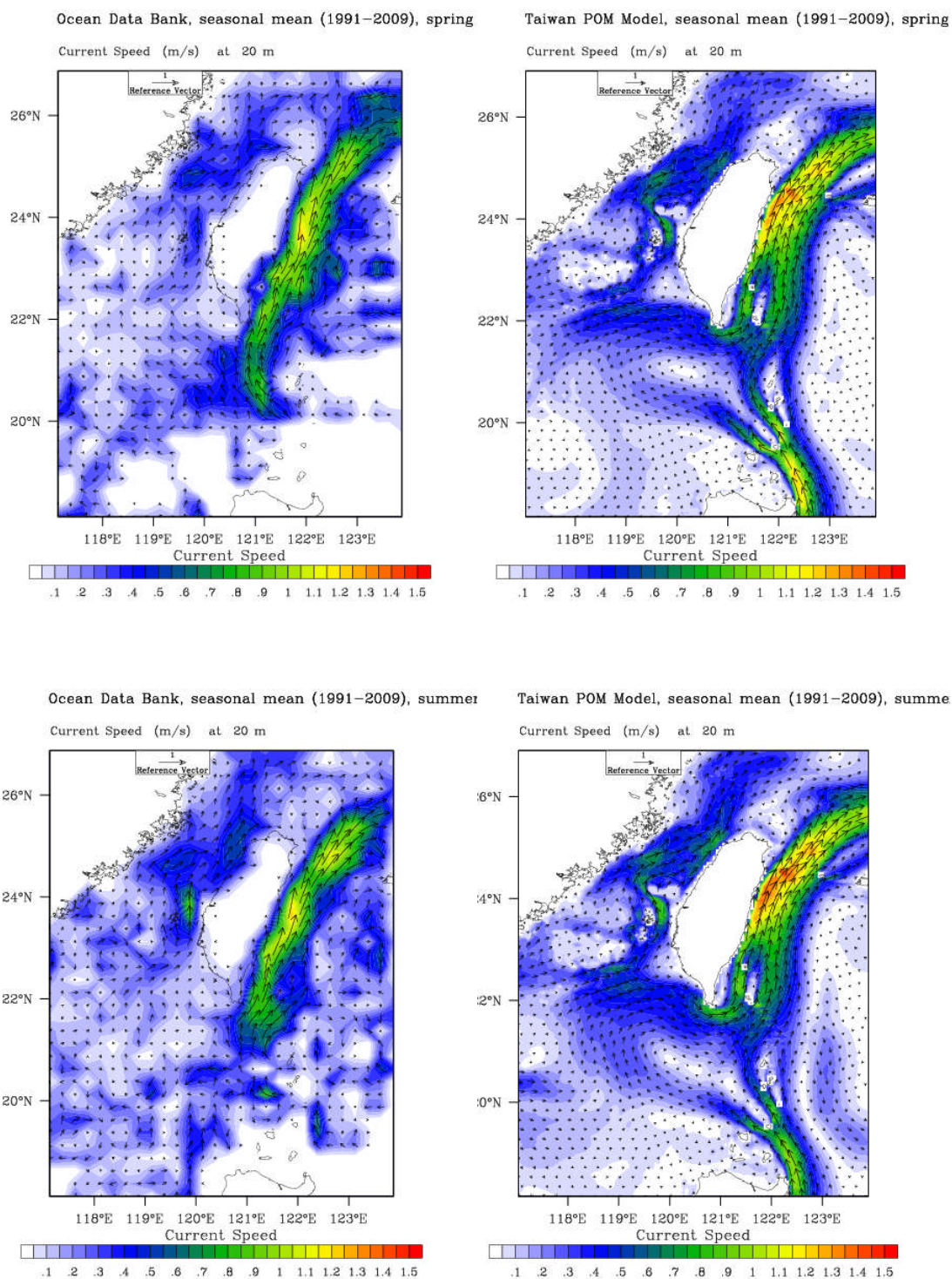


圖 4-13 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 20 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左)  
與模擬計算(右)之春季(上)與夏季(下)季平均流場流態比較



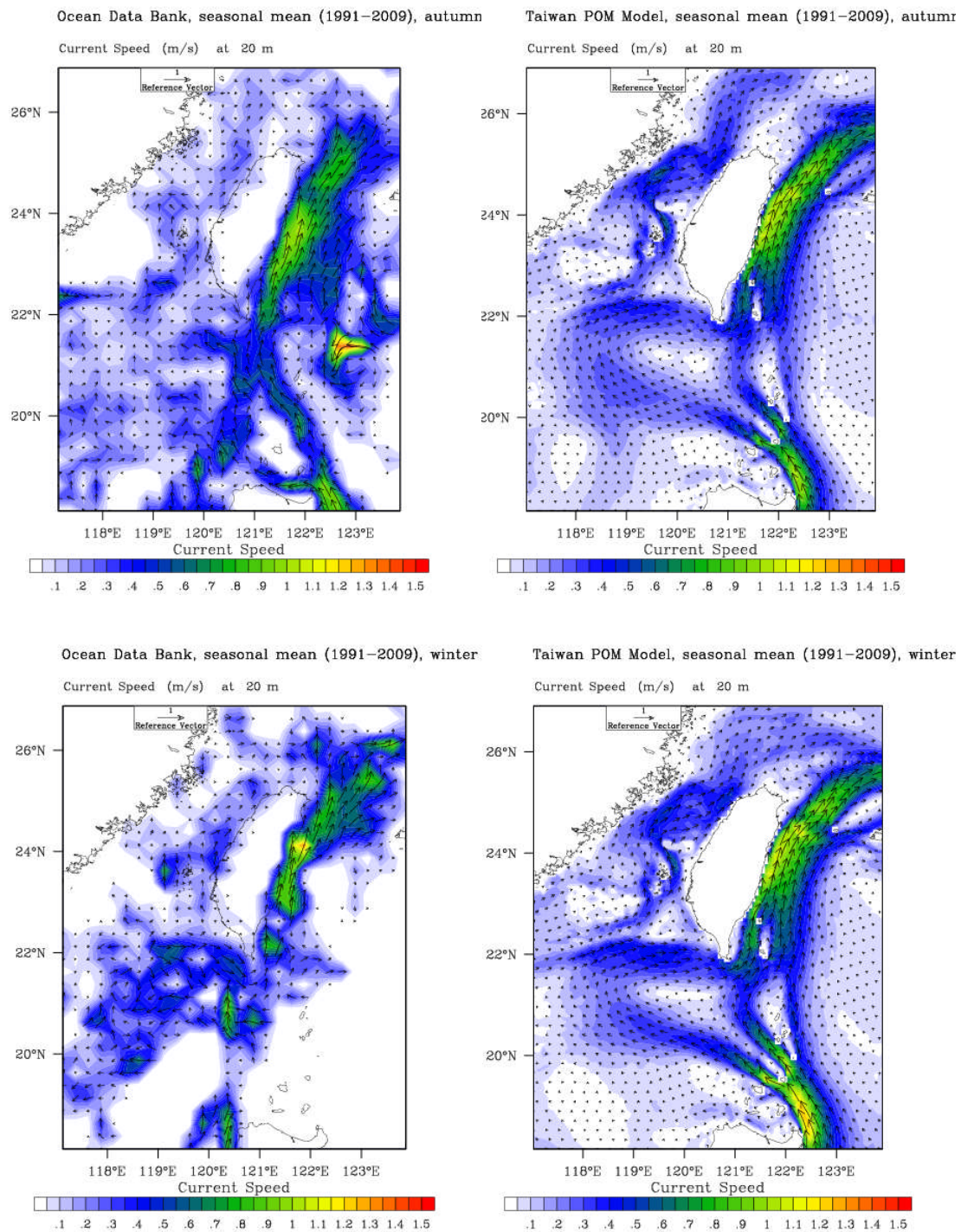


圖 4-14 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 20 米等水深層 1991 至 2009 年實測(左) 與模擬計算(右)之秋季(上)與冬季(下)季平均流場流態比較

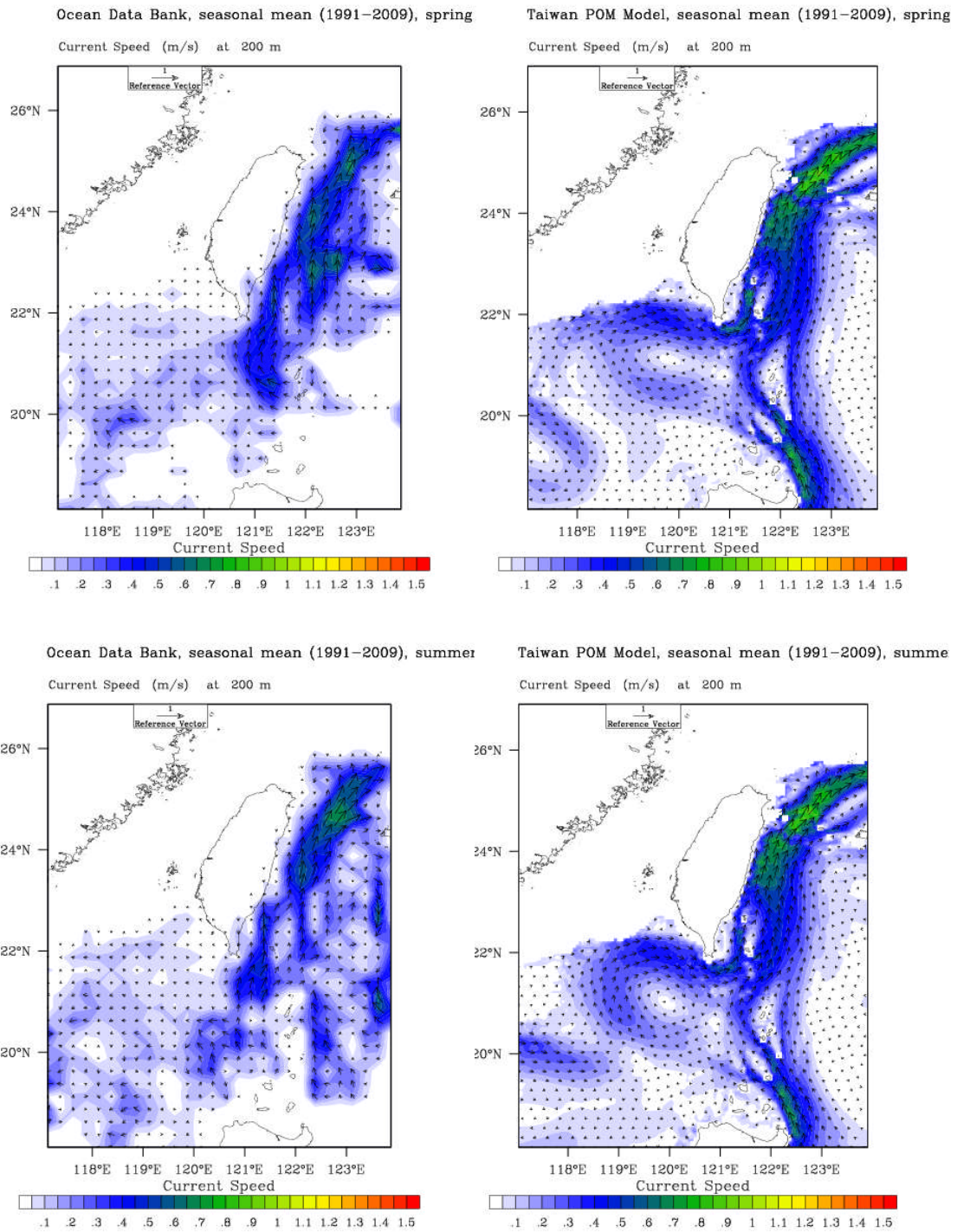


圖 4-15 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 200 米等水深層 1991 至 2009 年實測 (左)與模擬計算(右)之春季(上)與夏季(下)季平均流場流態比較



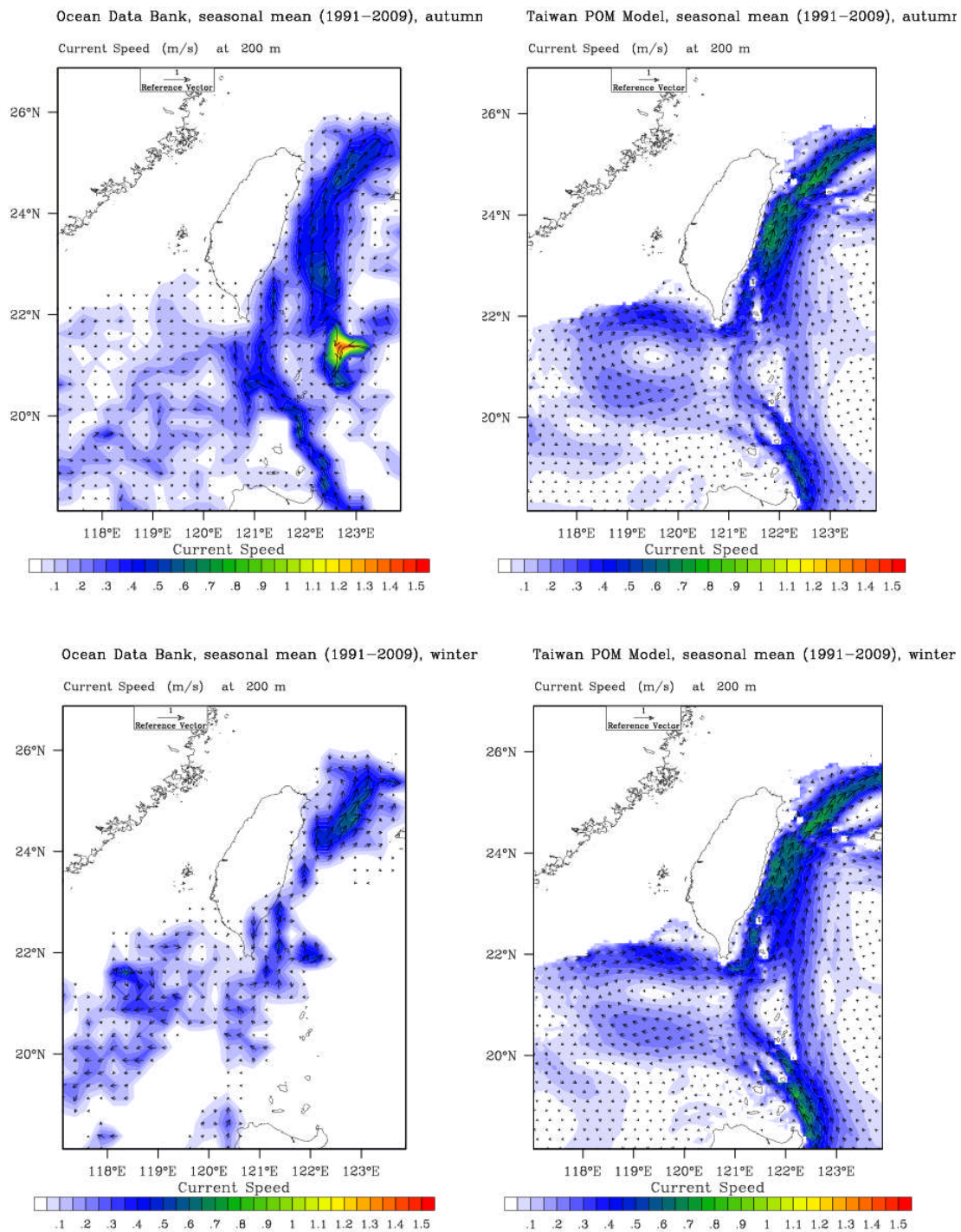


圖 4-16 臺灣鄰近計算海域(T3-1) 200 米等水深層 1991 至 2009 年實測 (左)與模擬計算(右)之秋季(上)與冬季(下)季平均流場流態比較

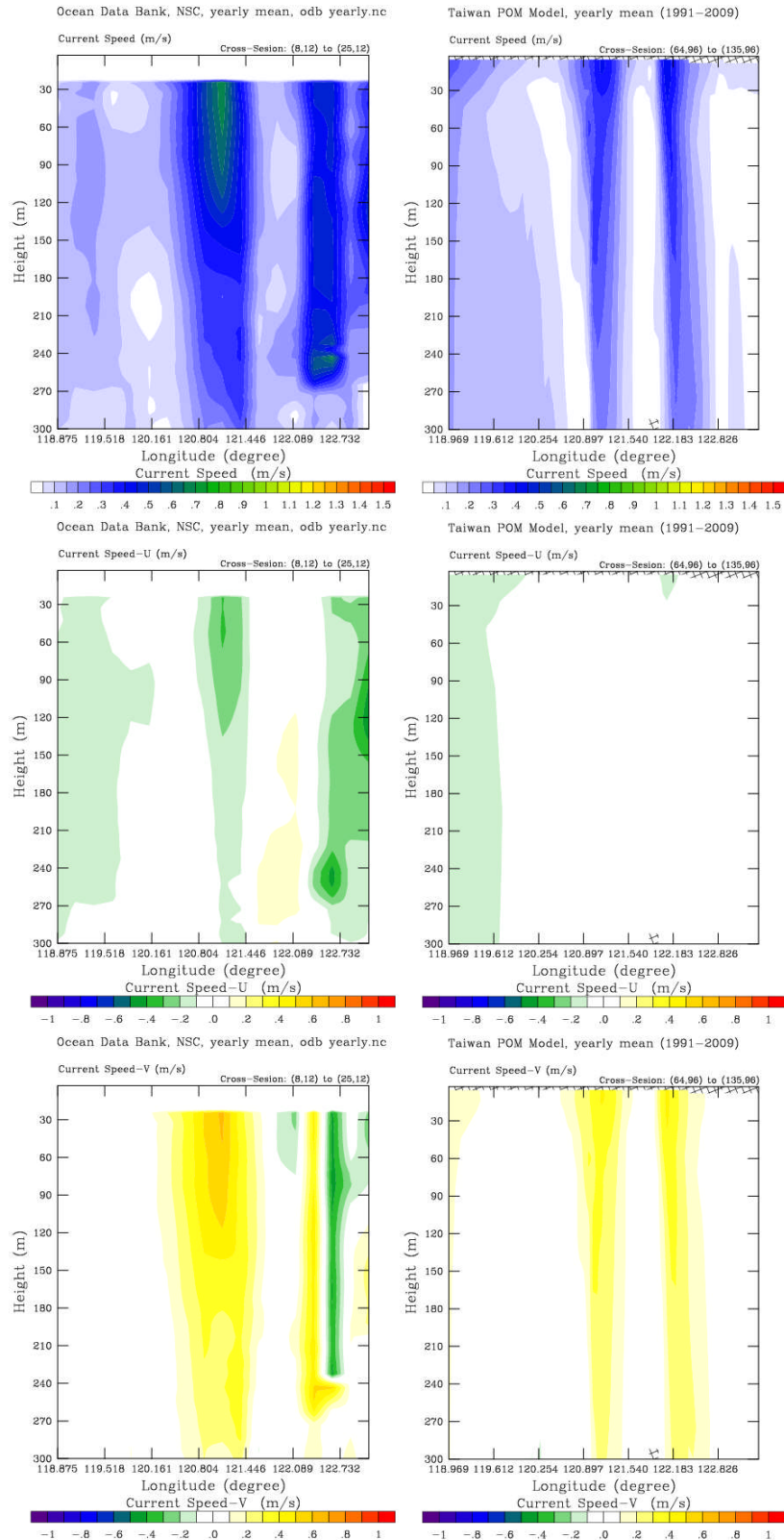


圖 4-17 臺灣鄰近計算海域(T3-1)於北緯 21 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)一南北向(下)分量驗證

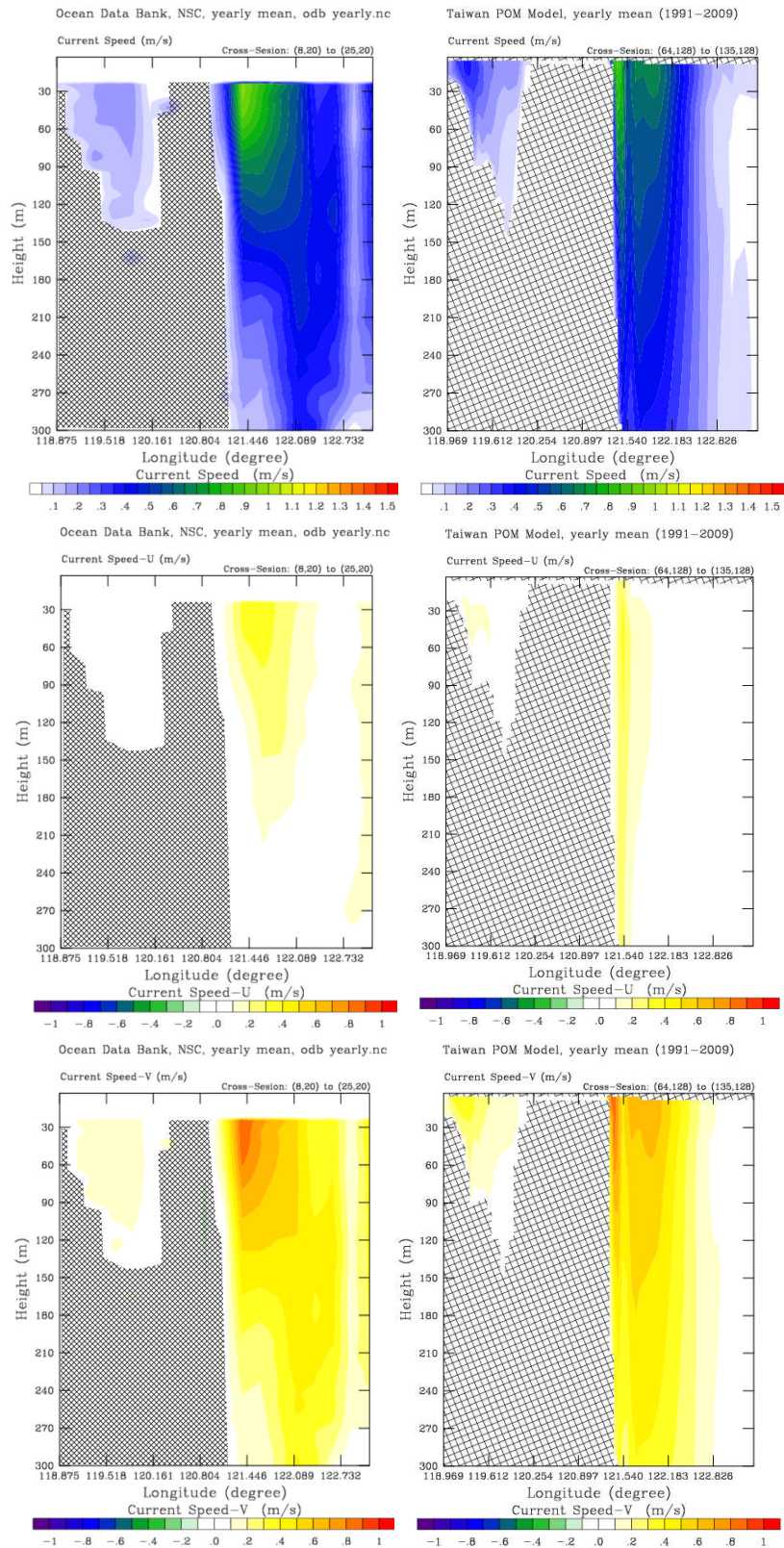


圖 4-18 臺灣鄰近計算海域(T3-1)於北緯 23 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證



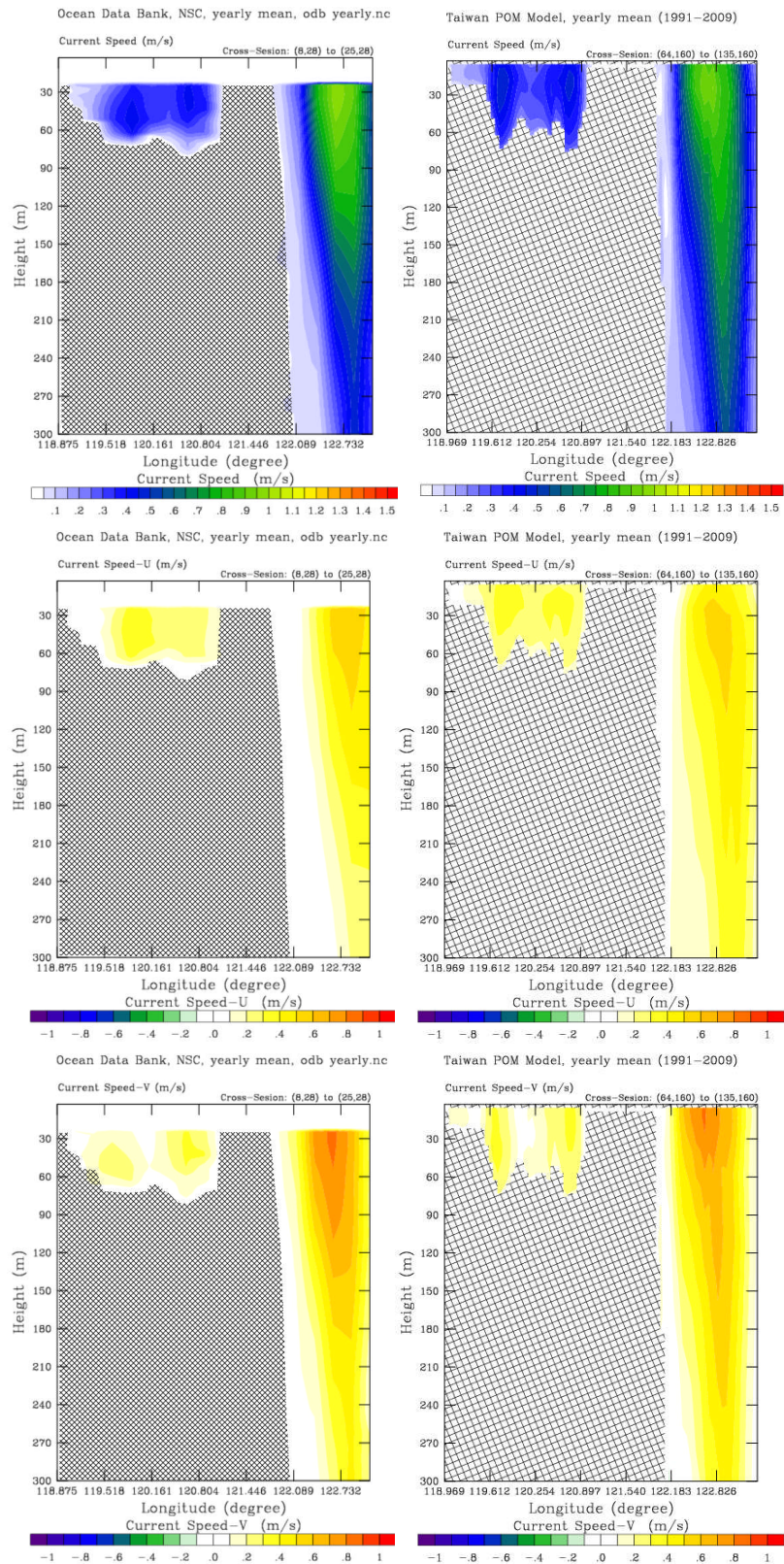


圖 4-19 臺灣鄰近計算海域(T3-1)於北緯 25 度水深斷面上年平均實測(左)與模擬計算(右)之流速(上)及其東西向(中)－南北向(下)分量驗證

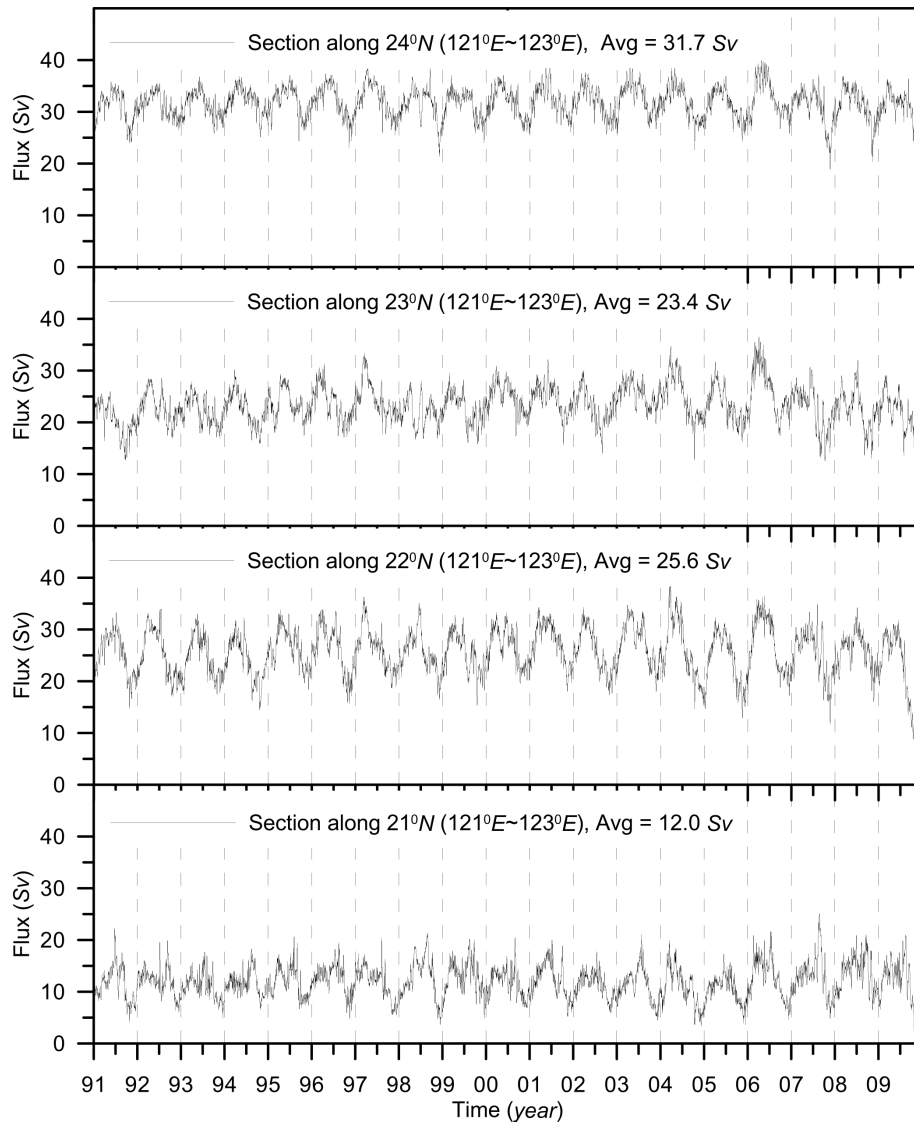


圖 4-20 臺灣東部海域分別自北緯 24 度至 21 度(由上至下)水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化

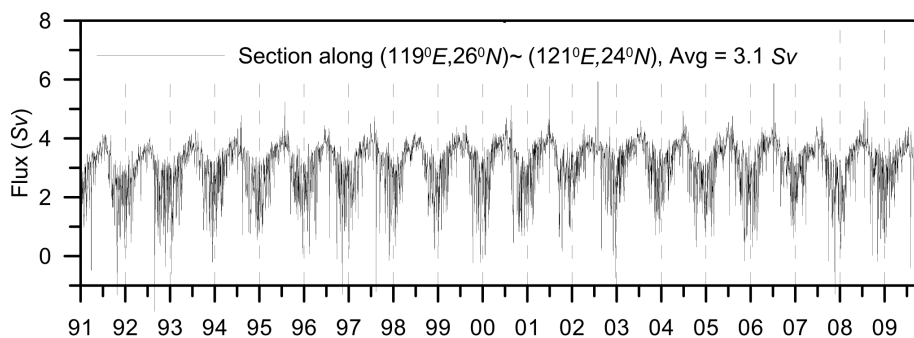


圖 4-21 臺灣海峽中段海域水深斷面上 1991 年至 2009 年之模擬計算月平均流量變化

#### 4.4.4 臺灣東部海域深層海水溫鹽度月季變動特性驗證

在臺灣鄰近海域，尤其是東部海域，為檢核模擬計算溫鹽度等海洋物理特性之月季變動特性，本研究自國科會海洋學門海洋資料庫(<http://www.odn.ntu.edu.tw/ctd/>)蒐集申購表 3-8 所示之海洋水文實測資料，藉以進行驗證。

配合海洋水文實測資料，針對 T3-1 之臺灣鄰近計算海域範圍，於避免自 1986 年 1 月 1 日 0 時起模式採用冷啟動起始所造成 5 年數值不穩定階段之影響(莊、廖，2010)下，採用 1991 年至 2009 年期間之模擬計算結果，分別進行 20、100 及 300 米處不同等水深層之溫、鹽度年平均統計分析，並與海洋水文實測資料進行對照比較，結果如圖 4-22 所示，圖中，溫、鹽度之高低，除了以各圖下之參考色階深淺陳現外，尚以箭尺長短及指向表示；左、右圖分別為實測與模擬計算之溫、鹽度高低變化對照。

綜合圖 4-22 之對照比較結果可得，不同等水深層之溫、鹽度年平均分布特性，實測與模擬計算總體上具有甚佳之符合性。不過，在臺灣東部海域，模擬計算之年平均溫度略低於實測值；而在 300 米等水深層處，鹽度之年平均分布，模擬計算值亦略低於實測值。僅管如此，在模擬計算結果中，值得一提的是，因呂宋海峽處明顯存在之黑潮套流流場，因此，在該海域處可清楚發現較高之年平均溫、鹽度分布。

在臺灣東部海域，於垂直黑潮流向分別位在北緯 21 度、23 度及 25 度水深斷面上之年平均鹽度分布比較如圖 4-23 所示。圖中，左、右圖分別為實測與模擬計算之年平均鹽度分布，鹽度以 PSU 為單位，並各圖下之參考色階深淺表示，PSU 是 Practical Salinity Unit 的縮寫，採用 PSU 鹽度，主要係因其可利用海水之導電度（電阻之倒數，是鹽度與溫度的函數）反求推算(Lewis & Perkin, 1978)】；網格區塊表示海表面或水下地形。由圖觀察可知，各水深斷面上模擬計算之鹽度值皆略小於水文資料庫實測值 0.1~0.2 PSU。除此之外，水文資料庫之鹽度實測結果，於各水深斷面之海表面上，其鹽度一般比 500 至 800 米深水



層略低，惟模擬計算之結果並無此現象，檢討造成此差異之原因，主要應係模擬計算直接應用 WOA05 之長期年平均鹽度值作為起始值，且於模擬計算開始積分後，並未對鹽度進行校正或同化修正所造成，另外，本研究於模擬計算中，未考慮實際海洋蒸發與大氣降雨等海氣交互作用效應，亦可能是造成鹽度值陳現誤差之主因。

在臺灣東部海域，分別位在北緯 21 度、23 度及 25 度水深斷面上之年平均溫度分布比較如圖 4-24 所示。圖中，網格區塊表示海表面或水下地形；左、右圖分別為實測與模擬計算之年平均溫度分布，溫度高低並以各圖下之參考色階深淺表示。由圖對照比較可知，實測與模擬計算之年平均溫度分布兩者間具有相當之吻合性，顯見本研究之模擬計算，於海面邊界條件設定上，直接應用 NOAA OI 之週平均海面溫度場，可合理重現臺灣東部海域水深斷面內之溫度分布變化。

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

綜合而言，本研究之數值模擬計算結果，經引用國科會海洋學門海洋資料庫實測海流與水文資料(表 3-8)進行驗證後，確認除鹽度值略微偏小外，其餘之海流與溫鹽度等年月季變化特性，總體上相互間均具有符合性。

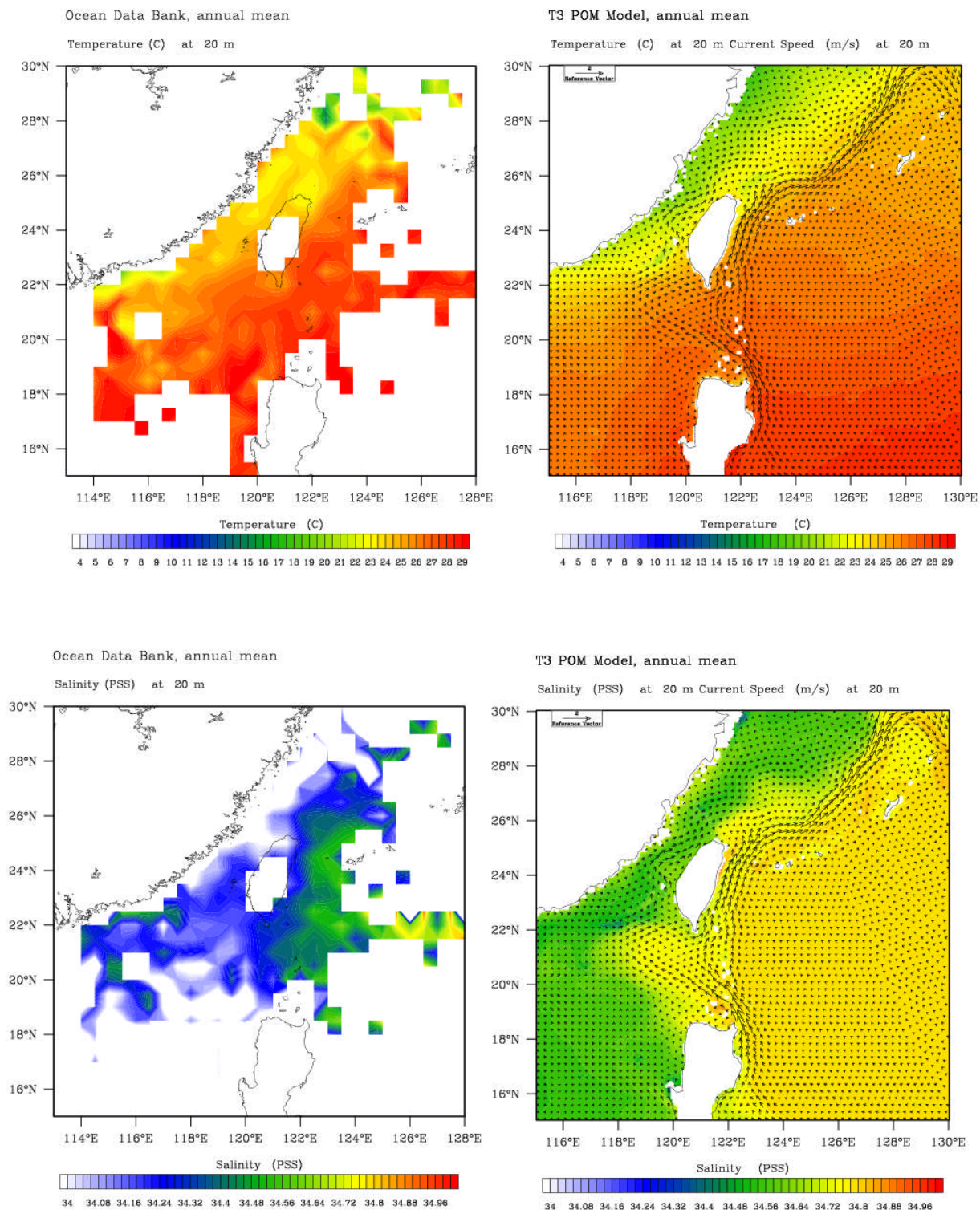


圖 4-22 臺灣鄰近計算海域 20 米等水深層 1991 年至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度(上)與鹽度(下)分布驗證比較

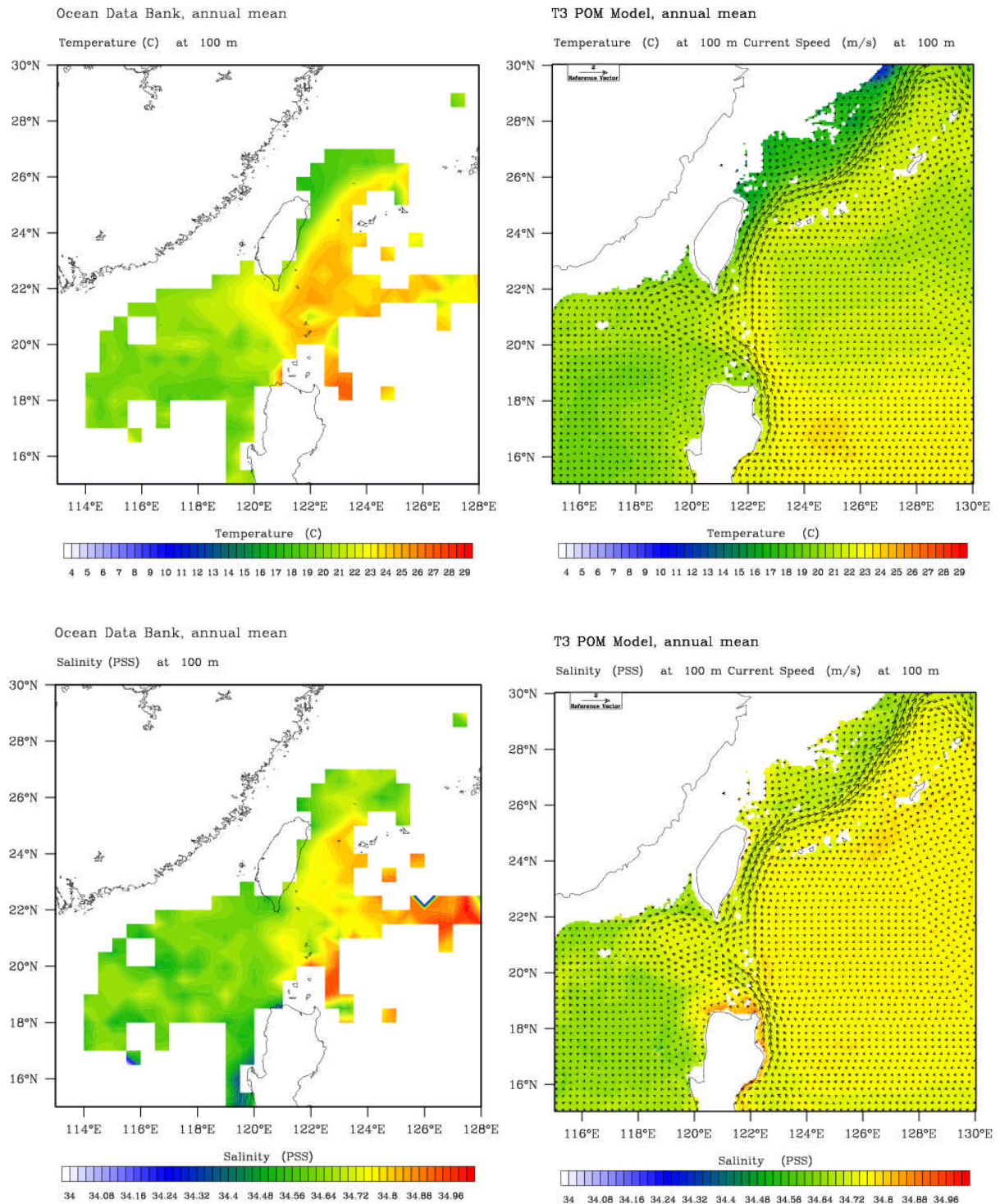


圖 4-22(續) 臺灣鄰近計算海域 100 米等水深層 1991 年至 2009 年實測  
(左)與模擬計算(右)之年平均溫度(上)與鹽度(下)分布驗證比較



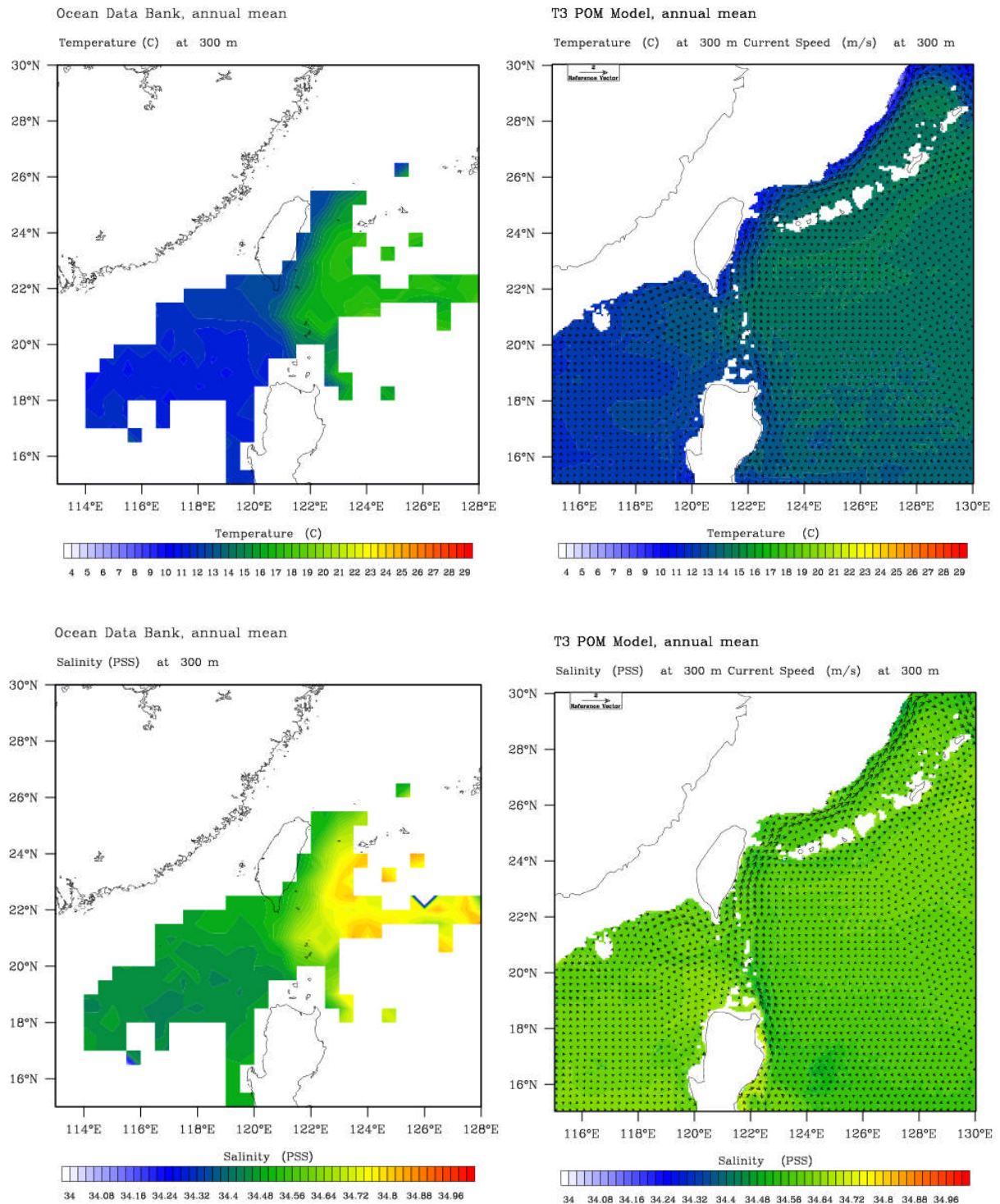


圖 4-22(續) 臺灣鄰近計算海域 300 米等水深層 1991 年至 2009 年實測  
(左)與模擬計算(右)之年平均溫度(上)與鹽度(下)分布驗證比較

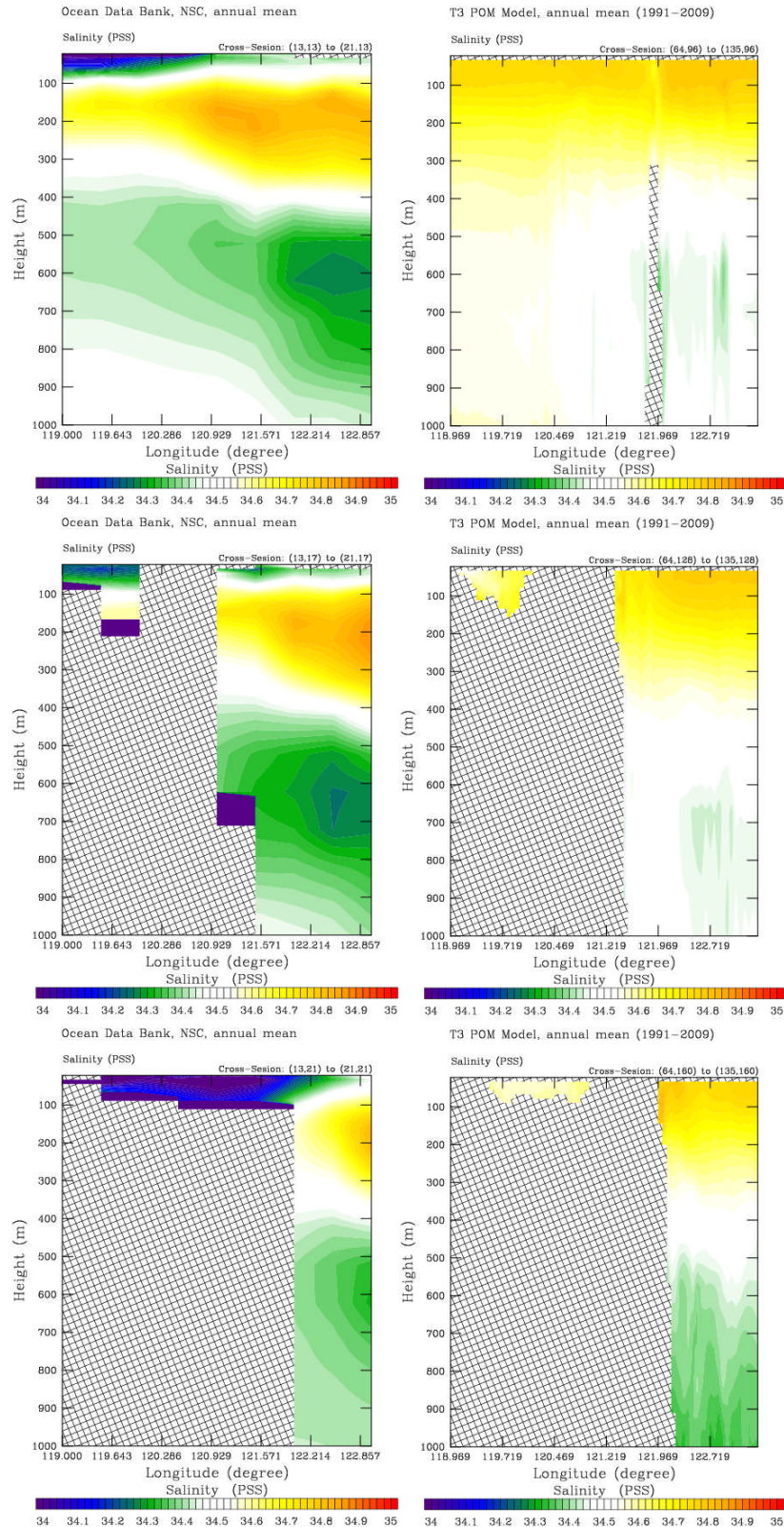


圖 4-23 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均鹽度分布比較



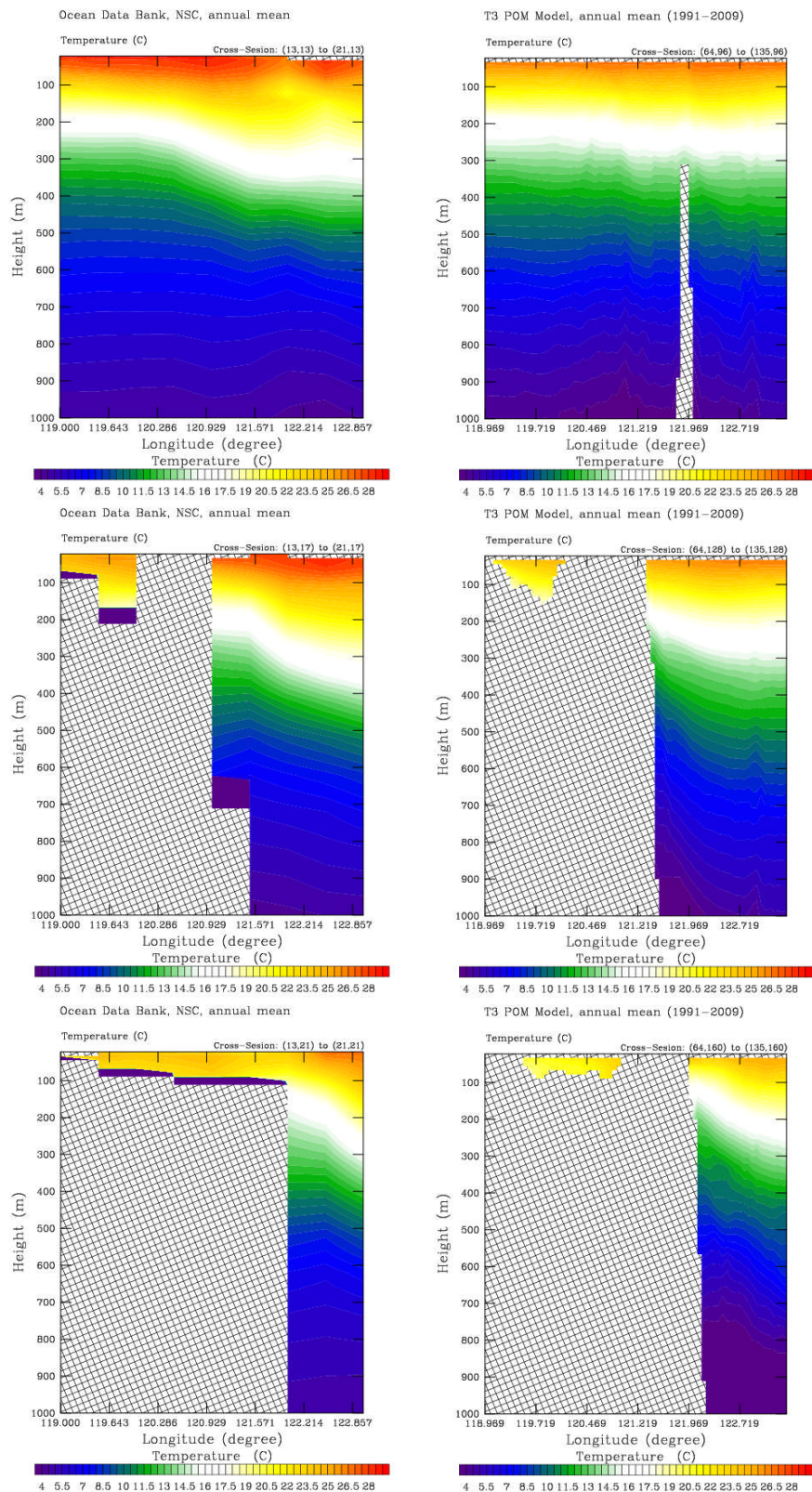


圖 4-24 臺灣東部海域北緯 21 度(上)、23 度(中)及 25 度(下)水深斷面上 1991 至 2009 年實測(左)與模擬計算(右)之年平均溫度分布比較

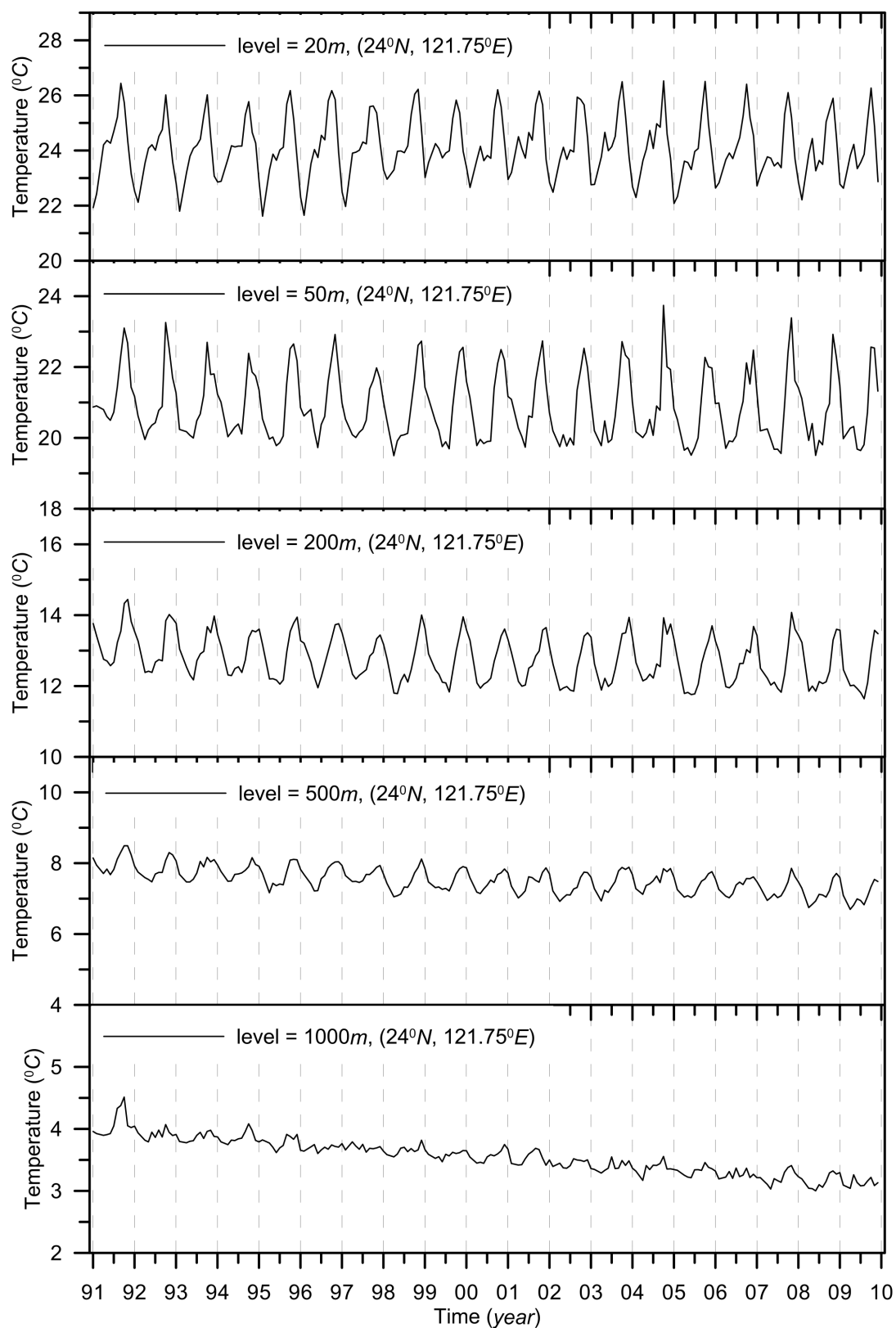


圖 4-25 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里(121.75°E；24.0°N)於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均溫度時序變化



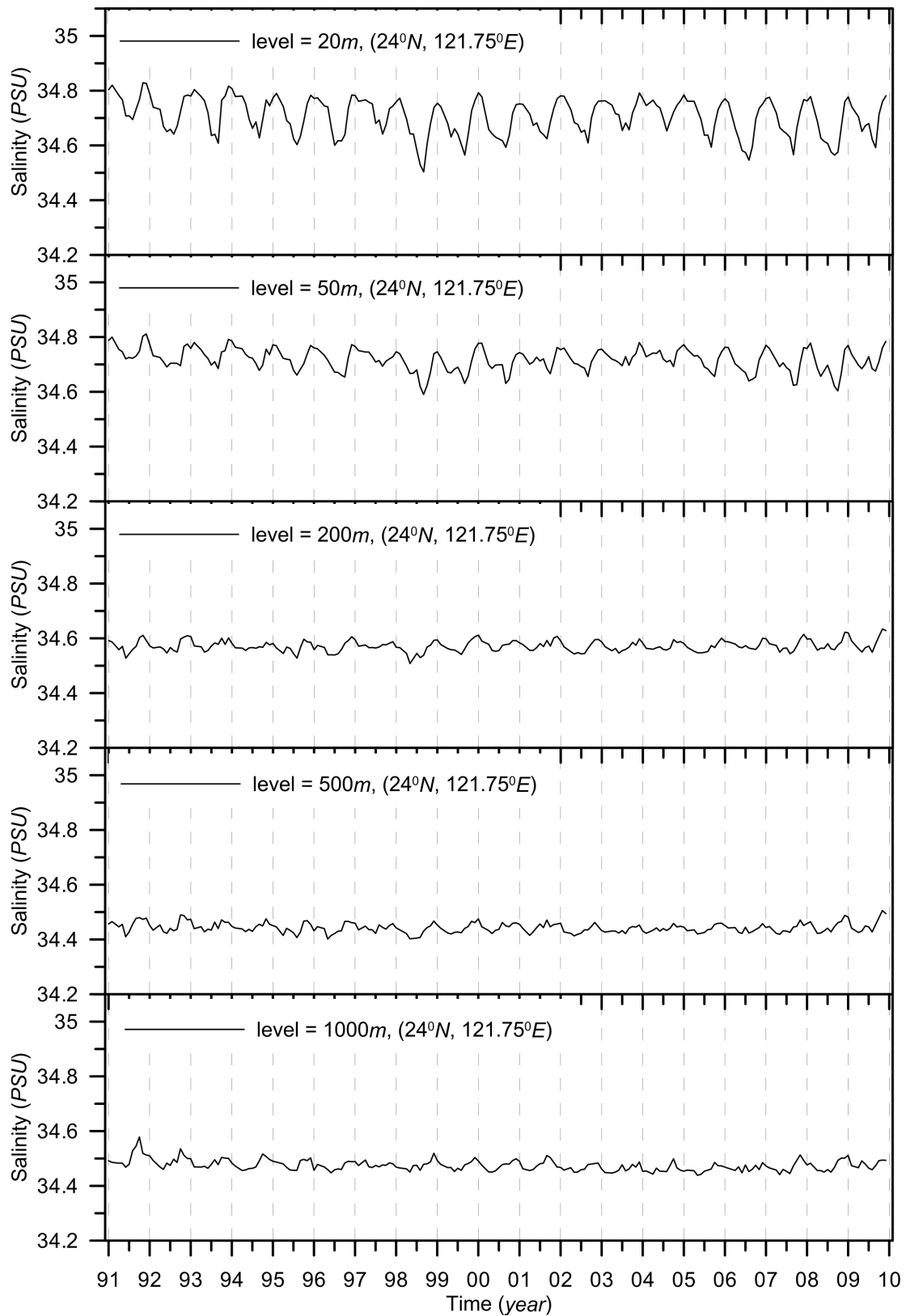


圖 4-26 臺灣東部花蓮近海離岸 10 公里(121.75°E；24.0°N)於水深分別為 20 米至 1000 米處(上至下)1991 至 2009 年之月平均鹽度時序變化

#### 4.4.5 臺灣鄰近海域浮標追蹤流跡驗證

浮標(drifter)追蹤是瞭解大時空尺度海流特性的重要方法之一，其主要係利用海流對浮標所產生之線性拖曳力關係來量測海流之流速大小與流向資訊。目前，一般浮標上皆裝載有衛星定位儀器及無線電或衛星發報器，藉以回傳浮標所量測到的流跡資訊。

至於流場中，流體質點之運動描述，其通常可區分為 Eulerian 與 Lagrangian 兩種。其中，Eulerian 方式是針對流場中通過固定位置點處之流體質點的運動特性；而 Lagrangian 方式則為描述流場中特定各別流體質點之運動軌跡與特性。因此，儘管浮標不同於流體質點，但若將浮標以流體質點類比，則由數值模式所模擬計算出之 Eulerian 方式流場流速，將可轉換成特定各別流體質點之 Lagrangian 流速(陳等，1998)。取空間位置 $(x, y)$ 點處之 Eulerian 流速為

$$\vec{C}_{Eulerian}(x, y, t) = \vec{i}U_E(x, y, t) + \vec{j}V_E(x, y, t) \dots\dots\dots(4-4)$$

將其轉換成對應的 Lagrangian 流速可表示為

$$\vec{C}_{Lagrangian} = \vec{i}U_L(x_0, y_0, t) + \vec{j}V_L(x_0, y_0, t) \dots\dots\dots(4-5)$$

其中， $(x_0, y_0)$ 為流場中特定各別流體質點在起始時間 $t_0$ 之起始位置，將 Lagrangian 流速對時間 $t$ 積分，即可求得質點之運動軌跡。若在同一流體質點之考慮下，假設 Eulerian 與 Lagrangian 流速具有下列之線性轉換關係

$$U_E(x, y, t) = U_L(x_0, y_0, t_0) \dots\dots\dots(4-6)$$

$$V_E(x, y, t) = V_L(x_0, y_0, t_0) \dots\dots\dots(4-7)$$

$$\vec{X} = \vec{i}x + \vec{j}y = \vec{i}[x_0 + \Delta x_0(t)] + \vec{j}[y_0 + \Delta y_0(t)] = \vec{X} + \Delta\vec{X}_0 \dots\dots\dots(4-8)$$

且

$$x = x_0 + \int_{t_0}^t U_L(x_0, y_0, t') dt' = x_0 + \Delta x_0(t) \dots\dots\dots(4-9)$$

$$y = y_0 + \int_{t_0}^t V_L(x_0, y_0, t') dt' = y_0 + \Delta y_0(t) \dots\dots\dots(4-10)$$

而質點位置處之流速可由圖 4-27 所示之格網化數值模擬流速內插求得，亦即在數值格網內之質點，假定其位在  $P_0$  點，則其質點的速度可依據格網上之流速內插而得為

$$U_0^n = \frac{A_1 \cdot U_{i,j}^n + A_2 \cdot U_{i+1,j}^n + A_3 \cdot U_{i+1,j+1}^n + A_4 \cdot U_{i,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \dots\dots\dots(4-11)$$

$$V_0^n = \frac{A_1 \cdot V_{i,j}^n + A_2 \cdot V_{i+1,j}^n + A_3 \cdot V_{i+1,j+1}^n + A_4 \cdot V_{i,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \dots\dots\dots(4-12)$$

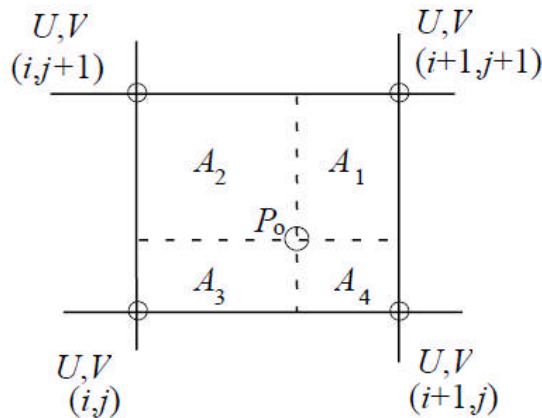


圖 4-27 浮標追蹤質點位置流速內插方法示意圖

式中， $A_i, i=1,2,3,4$  分別為  $P_0$  點在格網中所對應的分隔面積。假定  $\Delta t$  時刻內流體速度無變化，則將  $P_0$  點之內插流速帶入式(4-9)與式(4-10)中積分，因此可得  $\Delta t$  時刻後之流體質點位置為

$$x^{n+1} = x_0^n + U_0^n \Delta t \dots\dots\dots(4-13)$$

$$y^{n+1} = y_0^n + V_0^n \Delta t \dots\dots\dots(4-14)$$

利用上述方式反覆進行質點位置追蹤，從而可模擬追蹤浮標之漂移動軌跡。

為了進行浮標追蹤之流跡模擬驗證，本研究蒐集國際海表面浮標追蹤計畫之浮標流跡資料庫。國際海表面浮標追蹤計畫前身為世界海洋環流實驗-海表面流速計畫(World Ocean Circulation Experiment-Surface Velocity Programme)，該計畫擁有 1979 至 2007 年期間內之觀測數據資料。現況，國際海表面浮標追蹤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)綜合科學數據管理組(Integrated Science Data Management, ISDM)進行浮標追蹤數據收集與整理，在其主要之收集整理程序中，AOML 初步處理由 ARGOS 計畫所收到的浮標回傳數據，並進行數據品質控制和插值生成，每 6 個月，再將所整理之數據傳送給 ISDM 進行資料存檔和公佈，當然，ISDM 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，每個月處理更新的漂流浮標數據超過 10 萬筆。

本研究搭配臺灣四周計算海域(T3-1)與西北太平洋計算海域(N2-1)之海流模擬計算結果，結合式(4-13)與式(4-14)及圖 4-27 所示之浮標追蹤質點位置流速內插計算方法，浮標追蹤時間間隔取為 6 小時，應用 AOML 於全球浮標計畫(Global Drifter Program)所建置之浮標流跡資料庫，據以進行浮標追蹤之流跡模擬驗證。AOML 之浮標流跡資料庫，資料紀錄期間由 1979 至 2009 年。

AOML 之編號 2118798 浮標，其流跡資料，起始時間為 2000 年 9 月 1 日 0 時，浮標起始位置為東經 122.936 度、北緯 19.745 度，即在呂宋島北方海面，相關浮標追蹤之流跡模擬驗證結果如圖 4-28 所示，圖中，黑色實心圓點為實測浮標流跡；藍色空心圓點為應用較粗空間解析度之西北太平洋計算海域(N2-1)流場所推算 6 小時間距之浮標流跡；而綠色實心方形點為搭配臺灣四周計算海域(T3-1)與西北太平洋計

算海域(N2-1)流場所推算 6 小時間距之浮標流跡，即推算起始以具較細空間解析度之臺灣四周計算海域(T3-1)之流場為基礎，當浮標超越 T3-1 範圍(圖中虛點線方框)，則接續應用較粗空間解析度之西北太平洋計算海域(N2-1)之流場。對照比較圖 4-28 所示之浮標追蹤流跡驗證結果可知，僅使用 N2-1 流場所計算之浮標流跡，於呂宋海峽與琉球群島附近，皆明顯偏離實際浮標位置，主要致因係該推算浮標，受 N2-1 模式較粗空間解析度與黑潮套流拖曳影響，於模擬初期，因浮標在臺灣西南海域即作順時針旋轉移動，故造成推算流跡大幅偏離實測；至於搭配 T3-1 與 N2-1 流場所推算 6 小時間距之浮標流跡，因其於浮標追蹤初期即使用較高空間解析度之推算格網，故所得之流跡亦較為接近實際浮標。

此外，進一步將推算與實測浮標位置之經、緯度座標值作時序對應比對，結果分別可得如圖 4-29 與圖 4-30 所示。由圖綜合觀察可知，僅應用 N2-1 模式之流場，推算之浮標流跡，約在起始推算 5 天後(2000/9/5)，即偏離實際浮標位置；而搭配 T3-1 與 N2-1 模式流場之流跡，於 2000/9/1 至 2000/11/10 期間，推算與實際浮標位置，仍具有相當之一致性，但約於 10 日之後(2000/11/10)，由於浮標跨越 T3-1 計算海域範圍，因此受 N2-1 模式較粗空間格網流場影響，致使實測與推算浮標流跡之位置差距逐漸擴大，顯見，計算海域範圍內之空間格網解析度，確實會對浮標推算流跡之準確度造成影響。

針對起始時間為 2006 年 5 月 19 日，編號 62300、62302、62303、62304、62305 及 62309 之 AOML 系列浮標，其與圖 4-28 相似之浮標追蹤流跡模擬驗證相關結果，分別由左而右、由上而下，綜合整理如圖 4-31 所示。由圖觀察可發現，這一系列浮標之起始施放位置，約分別位處臺灣東部海域至菲律賓呂宋島北部海域之黑潮流經海域，施放後，實際浮標流跡，大部分皆將沿著臺灣東部海域、經琉球北部海域、向北至日本南方海域，而推算之浮標流跡，若其位處在 T3-1 計算海域範圍內，則其皆可概略地與實際浮標流跡相近似，顯見模擬計算之流場特性應是符實合理的。不過，編號 62305 之浮標，因其施放後實測流跡即往西流進南海海域；而編號 62300 浮標施放後，實測流跡先向

南流動後再沿黑潮向北流動，故該兩編號浮標之實際與推算流跡具有明顯差異，由此驗證結果進一步可推知，本研究模擬計算所得之流場，當其應在 6 小時間距之實際浮標流跡追蹤上，於部分海域及時段上，其流動特性確實仍存在誤差。

針對起始時間分別在 2007 年 1 月至 6 月，編號 71337、71347、63088、71351、71338 及 63190 之 AOML 系列浮標，其與圖 4-28 及圖 4-31 相似之浮標追蹤流跡模擬驗證相關結果，分別由左而右、由上而下，綜合整理如圖 4-32 所示。由圖觀察可發現，這一系列浮標之起始施放位置，約分別位處臺灣西部之臺灣海峽海域，施放後，實際浮標流跡，大部分皆將沿著臺灣海峽海域，往北流向日本南方海域，而推算之浮標流跡，亦概略地皆可與實際浮標流跡相近似，顯見本研究之模擬計算流場特性，在臺灣海峽海域，亦應是符實合理的。



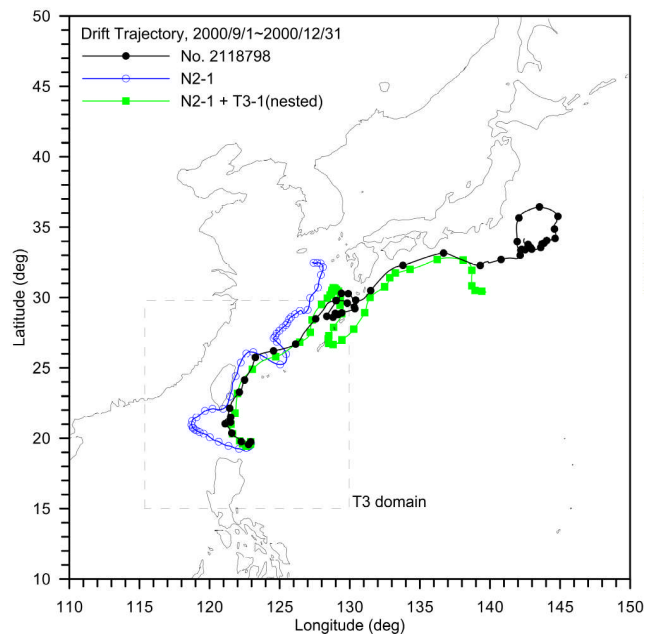


圖 4-28 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之驗證比較

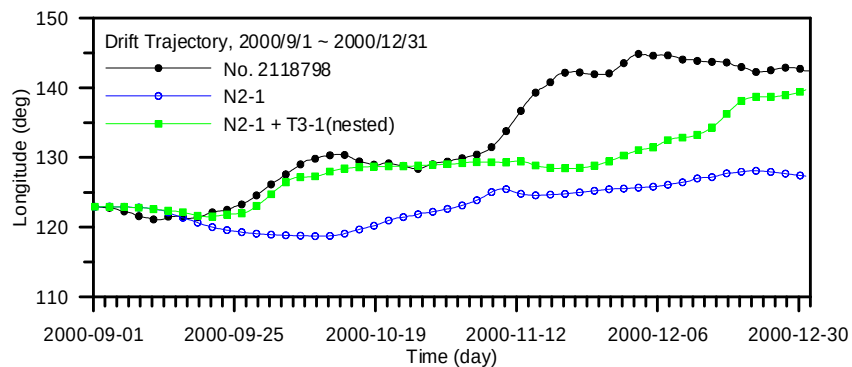


圖 4-29 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之經度位置驗證比較

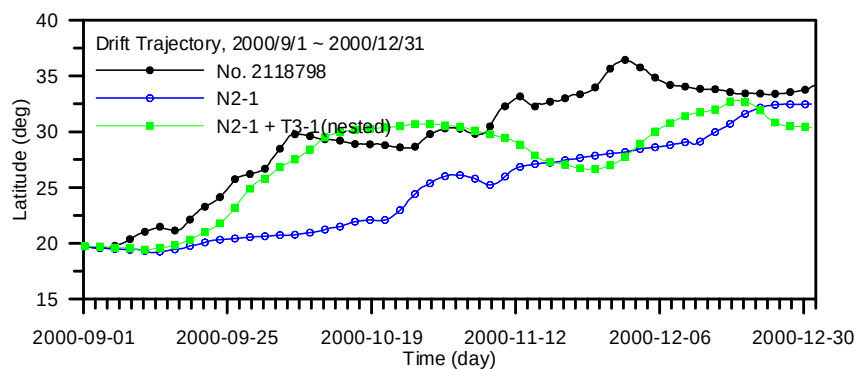


圖 4-30 AOML 編號 2118798 浮標實測與推算流跡之緯度位置驗證比較

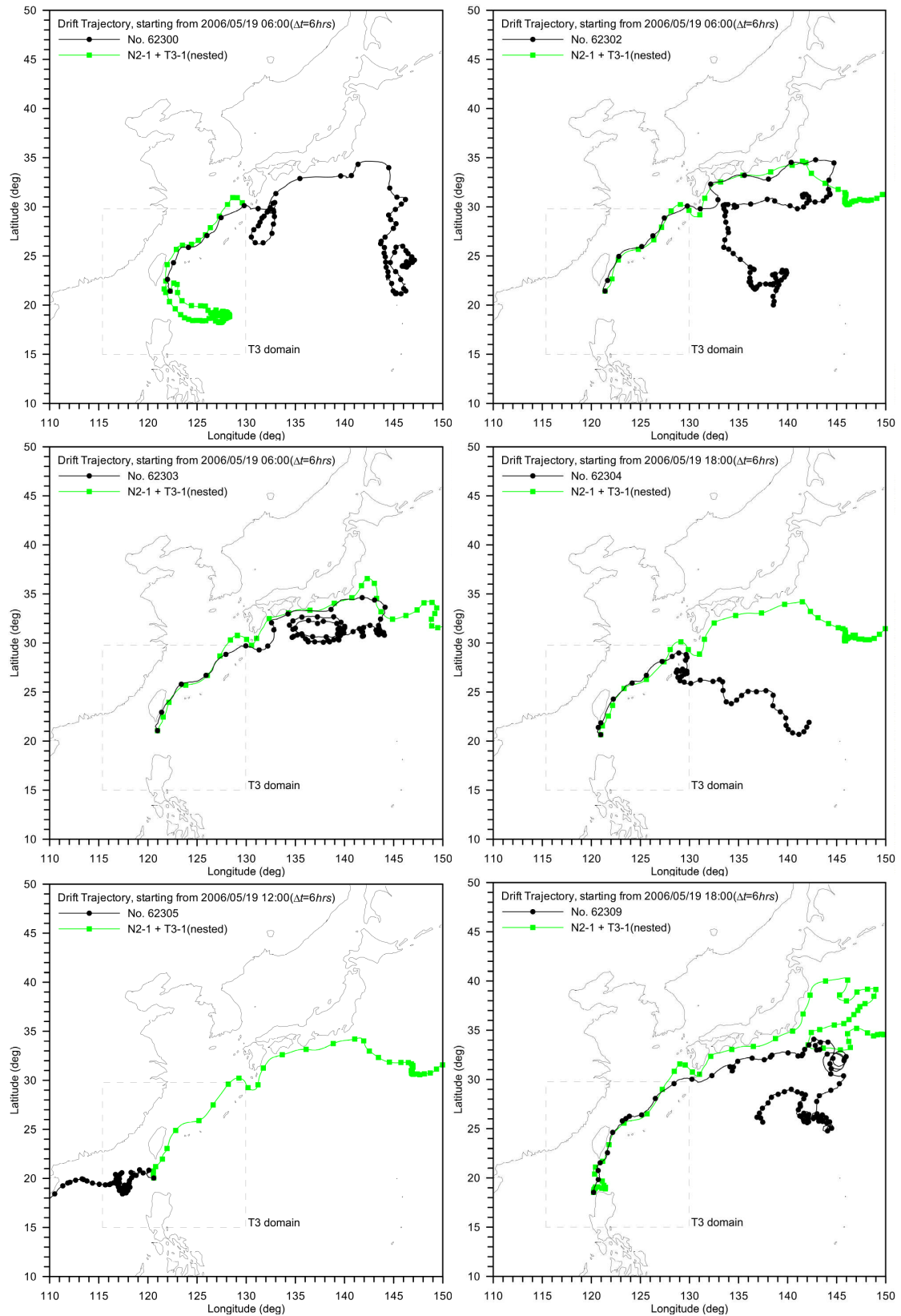


圖 4-31 AOML 編號 62300、62302、62303、62304、62305 及 62309 浮標(由左而右、由上而下) 2006 年之實測與推算流跡驗證比較

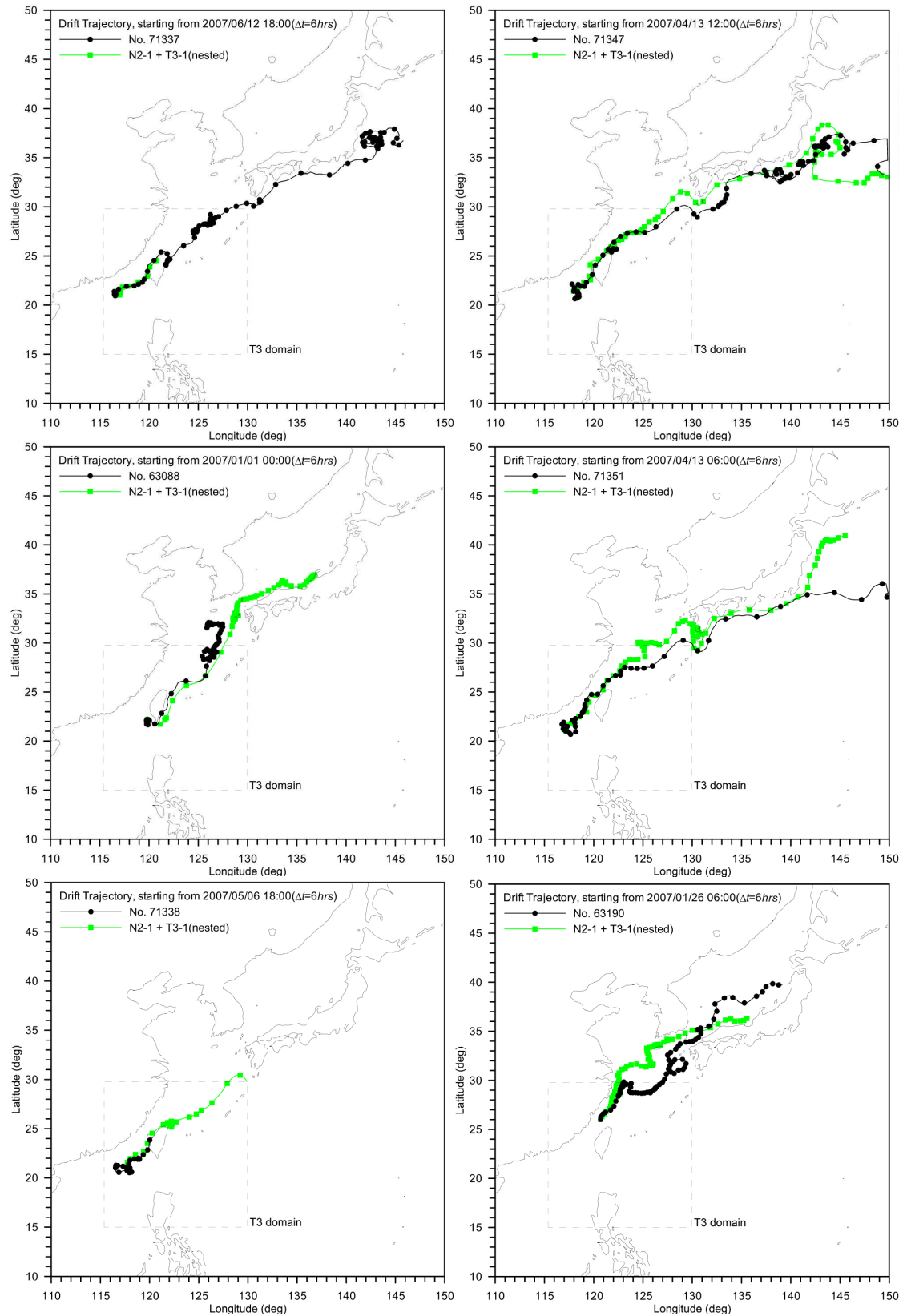


圖 4-32 AOML 編號 71337、71347、63088、71351、71338 及 63190 浮標(由左而右、由上而下) 2007 年之實測與推算流跡驗證比較

#### 4.4.6 臺灣鄰近海域現場錨碇海流時序列資料驗證

依據國立臺灣大學海洋研究所國家海洋科學研究中心海洋資料庫(<http://odb.oc.ntu.edu.tw/Physics/buoy/index.htm>)之說明，在臺灣鄰近海域，國科會相關研究計畫曾經以錨碇方式進行海流研究之施放量測點位分布如圖 4-33 所示。實測資料係以 ADCP 儀器進行不同深度之海流量測，資料取樣頻率為 1 小時。承蒙國立臺灣大學海洋研究所唐存勇教授提供臺灣東部及臺灣海峽內之部分錨碇海流實測資料，使本研究得以進行表 4-4 所示量測點位之錨碇海流時序列驗證。

針對表 4-4 中 K2-1 測點之臺灣東部海域錨碇海流，再自臺灣鄰近計算海域範圍(T3-1)之模擬計算流場中，於 2001/10 至 2002/05 期間，分別萃取 100 米及 200 米處之海流進行對照比較，結果如圖 4-34 中之上、下圖所示，各圖中，圖上為流速、圖中為流向、圖下則為流矢時序比較；模擬計算值，受限於原應用海氣象資料庫之時空解析度，時序間距為 1 日平均，以實線代表；實測值，原測量時間間距為 1 小時，配合模擬計算時序間距，經日平均處理後，以虛點線代表。由圖 4-34 綜合觀察可知，僅管實測與模擬計算流速並未完全吻合，但兩者平均流速大小皆約為 0.5~0.7 m/s，流向穩定，均約陳現為北北東，可見流速大小及流向的時序變化趨勢，兩者仍具有近似性。

針對表 4-4 中 K2-2 測點之臺灣東部海域錨碇海流，於 2002/04 至 2002/10 期間，其在 100 米及 200 米深處之實測與模擬計算海流對照比較，結果如圖 4-35 所示。由圖 4-35 綜合觀察可知，本測點模擬計算海流之流速大小約僅有 0.3~0.5 m/s，略小於實測值，但流向仍具相近似。

再針對表 4-4 中 K3-1 與 K3-2 測點之臺灣東部海域錨碇海流，分別於 2001/10 至 2002/04 及 2002/04 至 2002/09 期間，其在 100 米及 200 米深處之實測與模擬計算海流對照比較，結果分別如圖 4-36 及圖 4-37 所示。由圖 4-36 及圖 4-37 綜合觀察可知，K3-1 與 K3-2 測點之海流，僅管實測與模擬計算流速並未完全吻合，但兩者平均流速大小彼此甚相近似，皆僅約為 0.3~0.5 m/s；而模擬計算流向約陳現為穩定的北北

東向，與在北至東向陳時序變動之實測流向稍具差異。

至於表 4-4 中 T4-1 與 T4-2 測點之臺灣海峽中段海域錨碇海流，分別於 2000/11 至 2001/03 及 2001/08 至 2001/11 期間，其在 20 米及 50 米深處之實測與模擬計算海流對照比較，結果分別如圖 4-38 及圖 4-39 所示。由圖 4-38 及圖 4-39 綜合觀察可知，T4-1 與 T4-2 測點之臺灣海峽中段海域錨碇海流，雖然其逐時實測流速與流向，皆以日平均方式處理，不過，其仍陳現有週期性變動之潮流特性；而模擬計算海流，因其完全沒有潮流效應影響，故其變動性小，流速大小與流向甚穩定，故而兩者之時序比較，實際上存在差異。僅管如此，若只針對 T4-1 與 T4-2 測點之錨碇海流進行量測期間之平均，則在 20 米及 50 米深處之實測平均流速大小約介在 0.2~0.3 m/s 間，這與模擬計算海流平均流速大小約介在 0.3~0.4 m/s 間，實際上兩者差異甚為有限。

綜合以上臺灣東部海域及臺灣海峽中段海域錨碇海流實測時序資料與模擬計算所得海流日平均變動特性之對照比較，由驗證結果可粗略確認，本研究在臺灣鄰近海域所模擬計算之海流，實用上應具有可靠度與準確性。

**表 4-4 臺灣鄰近海域之部分錨碇海流施放量測點位基本資料(資料提供：國立臺灣大學海洋研究所唐存勇教授)**

| 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<br>2002/04/09 06:00 |
| K2-2 | 121°13.41' E, 22°03.92' N | 1233   | 2002/04/10 12:00<br>2002/09/25 12:00 |
| K3-1 | 121°52.42' E, 22°05.71' N | 4232   | 2001/10/20 06:00<br>2002/04/08 10:00 |
| K3-2 | 121°51.80' E, 22°05.66' N | 4224   | 2002/04/11 00:00<br>2002/09/25 06:00 |
| T4-1 | 120°07.88' E, 24°38.97' N | 68     | 2000/11/11 13:00<br>2001/02/06 15:00 |
| T4-2 | 120°07.69' E, 24°38.73' N | 68     | 2001/08/14 08:00<br>2001/11/13 10:00 |



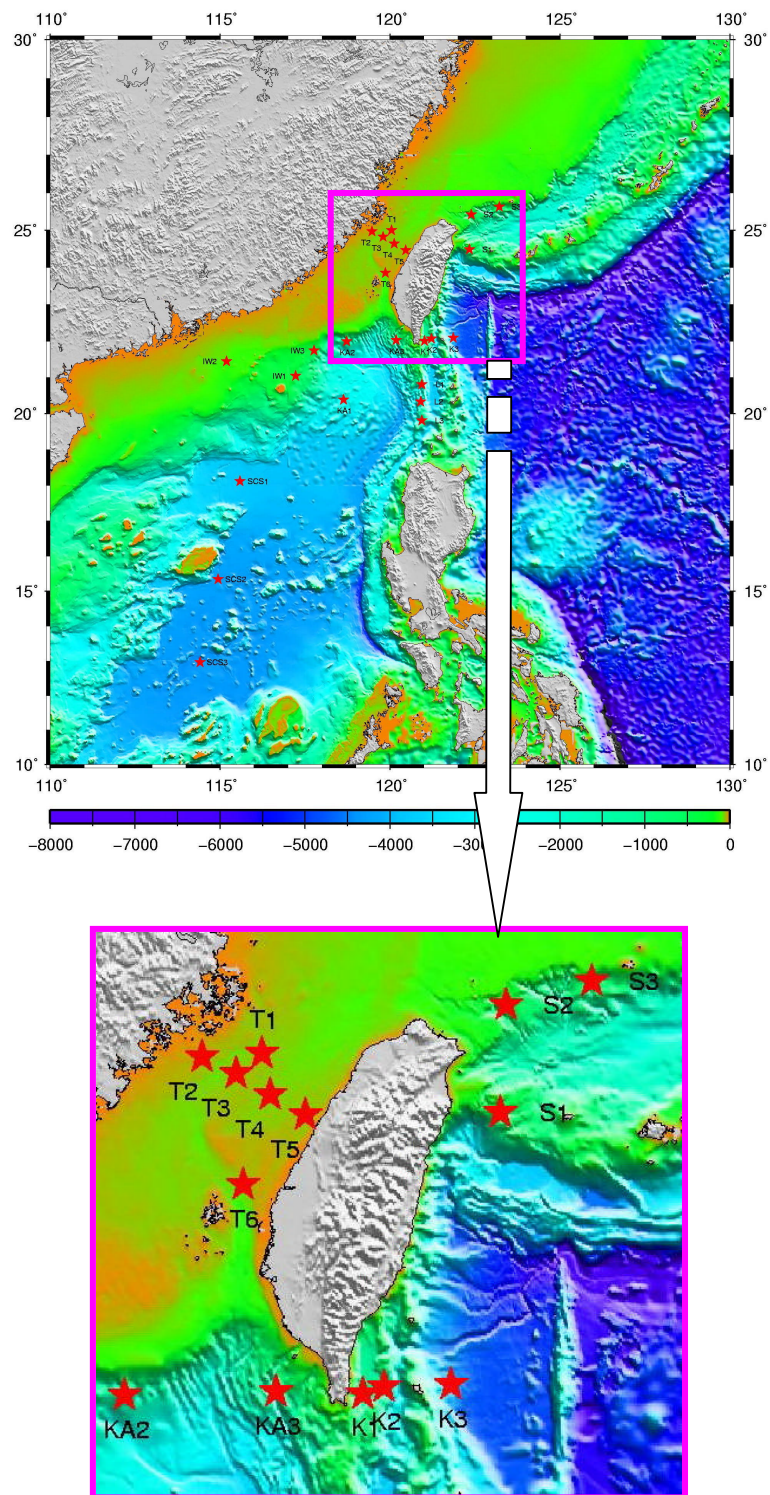


圖 4-33 臺灣鄰近海域以錨碇方式進行海流研究之施放量測點位分布  
(圖片來源：<http://odb.oc.ntu.edu.tw/Physics/buoy/index.htm>)

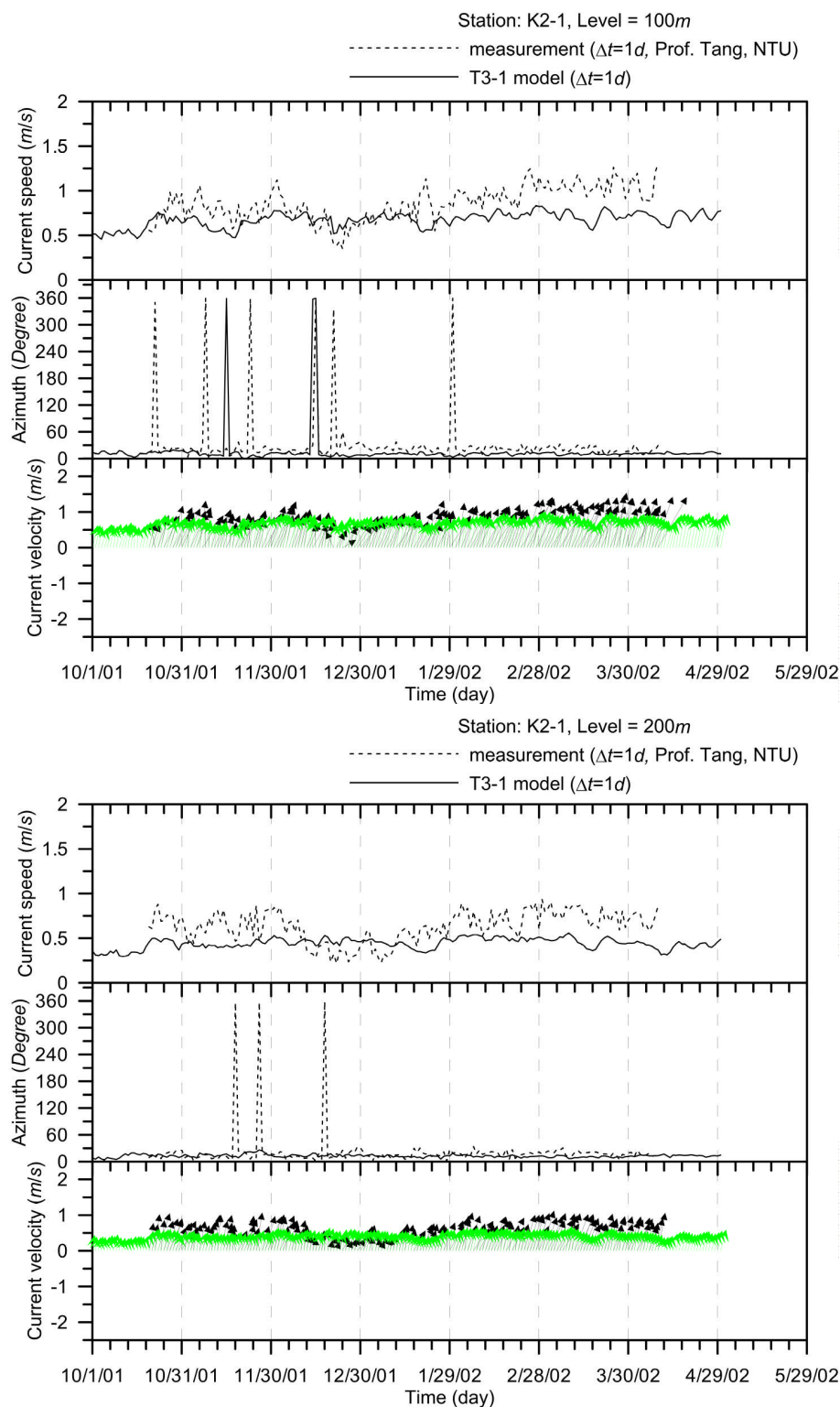


圖 4-34 臺灣東部海域 K2-1 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇  
實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較



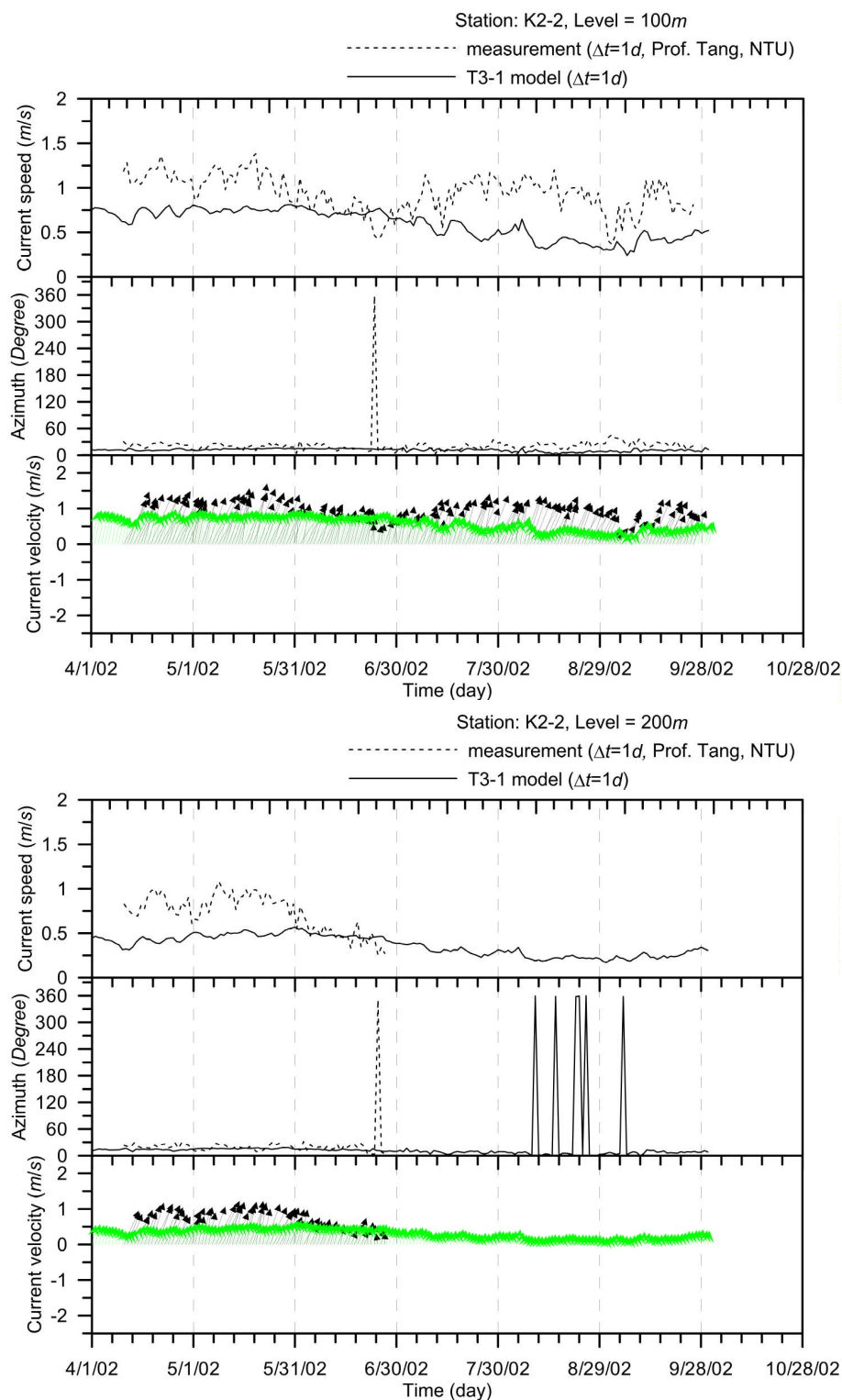


圖 4-35 臺灣東部海域 K2-2 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇  
實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較

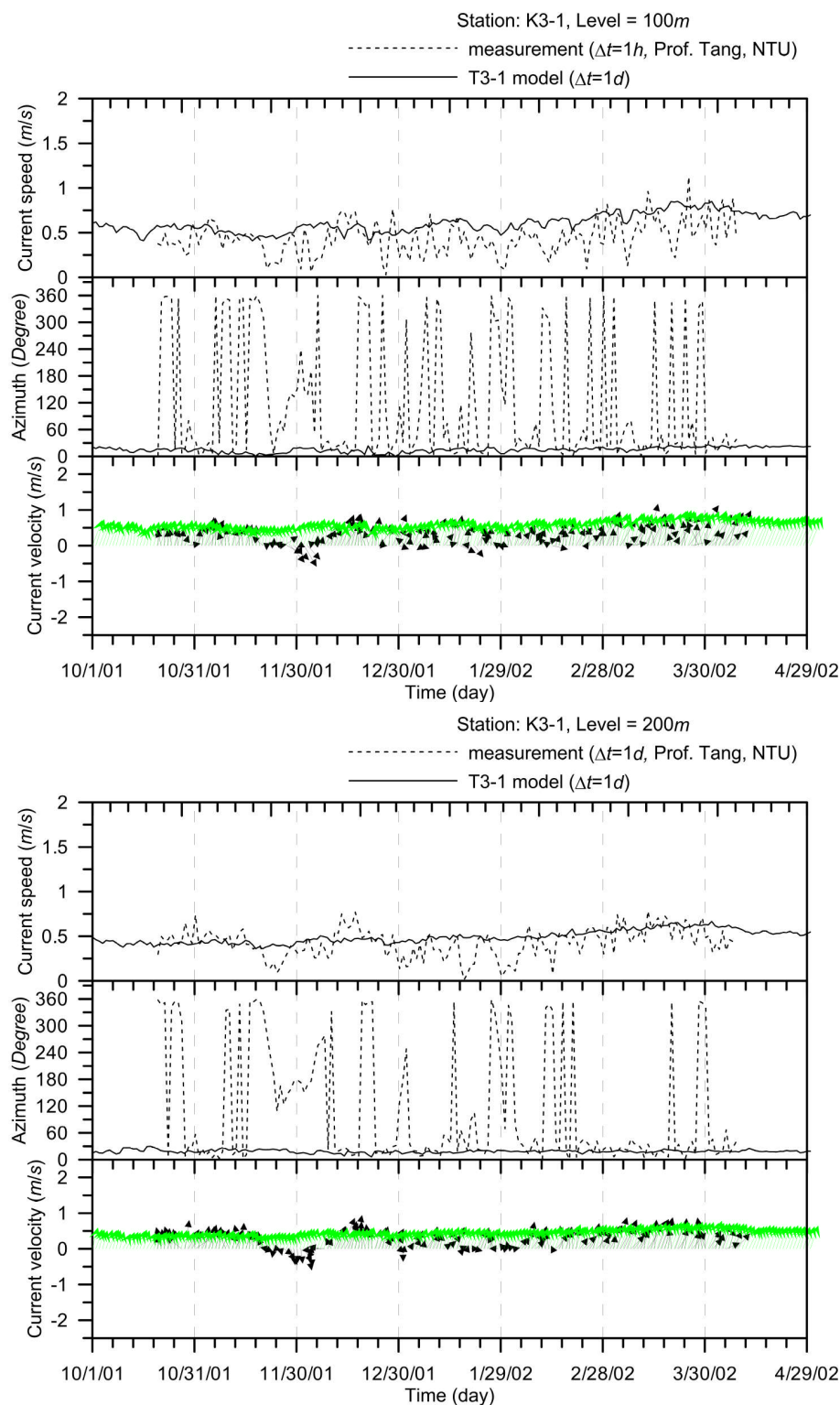


圖 4-36 臺灣東部海域 K3-1 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇  
實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較

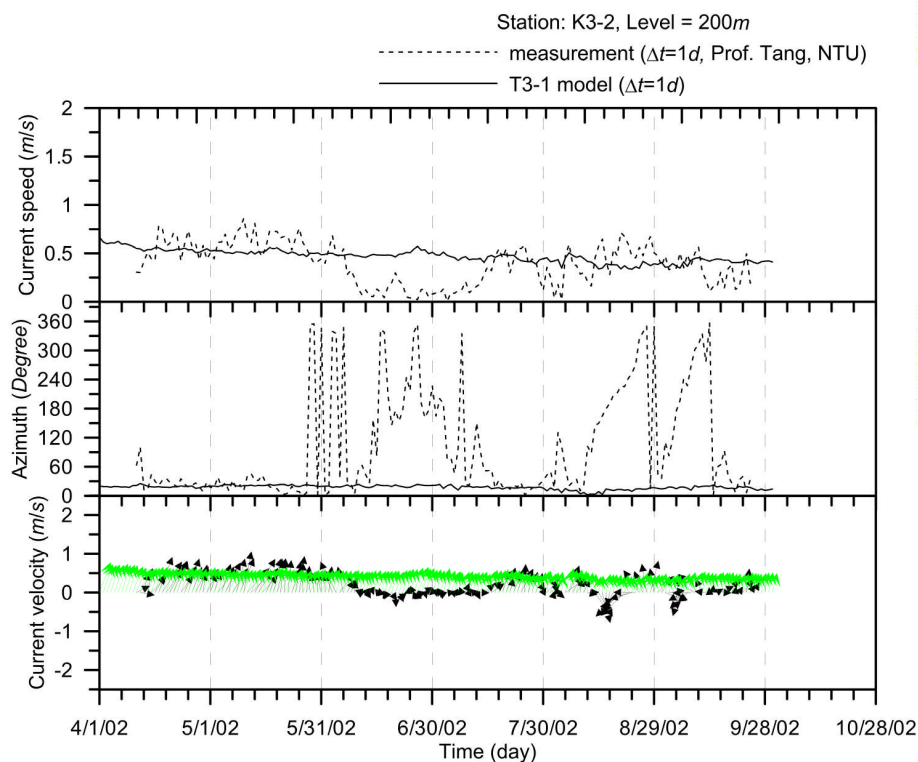
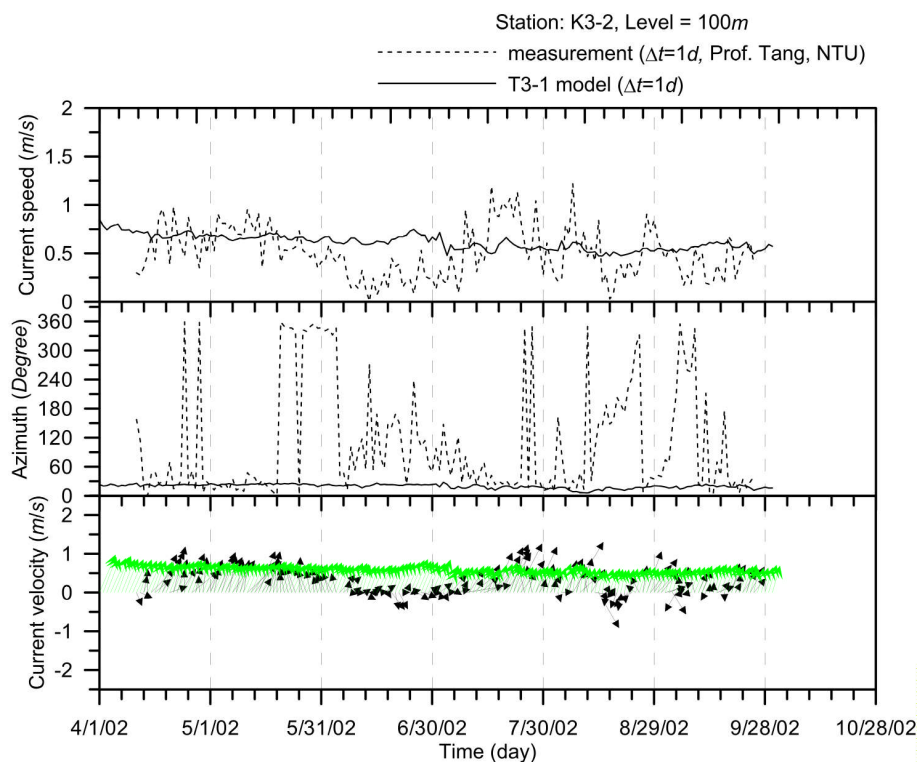


圖 4-37 臺灣東部海域 K3-2 測點於水深 100 米(上)與 200 米(下)之錨碇  
實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較

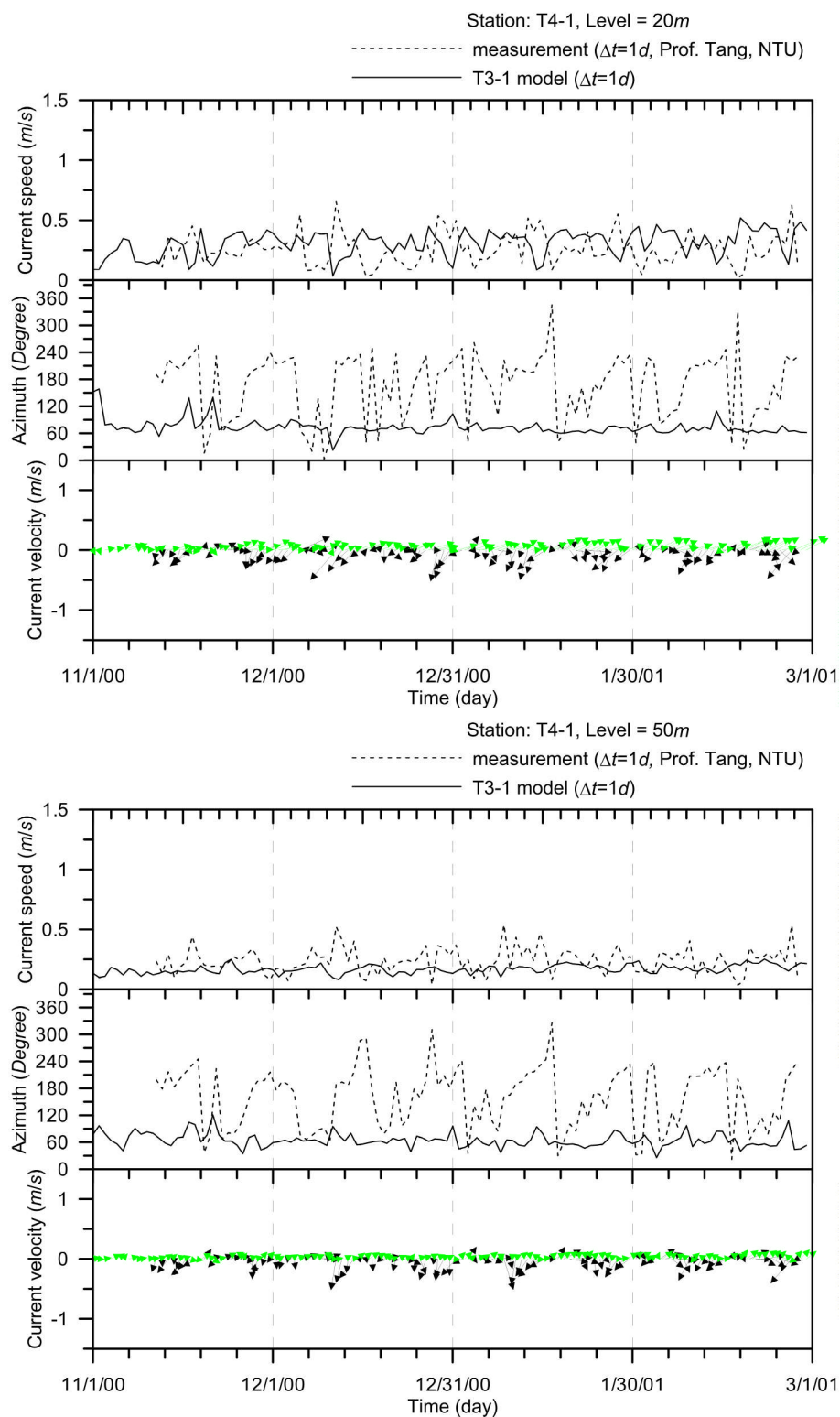


圖 4-38 臺灣海峽中段海域 T4-1 測點於水深 20 米(上)與 50 米(下)之錨碇實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較

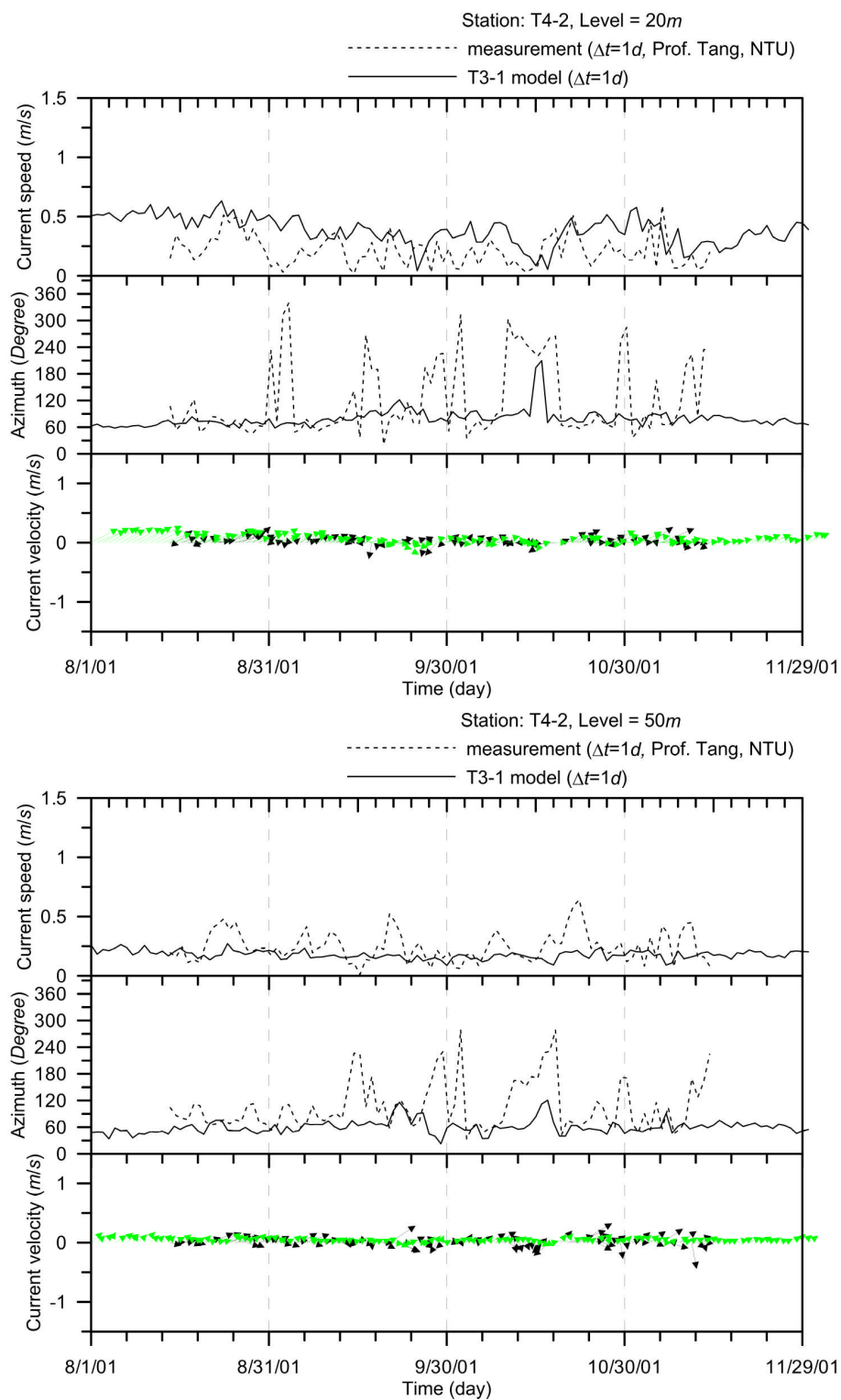


圖 4-39 臺灣海峽中段海域 T4-2 測點於水深 20 米(上)與 50 米(下)之錨碇實測(點虛線)與模擬計算(實線)海流時序對照比較

#### 4.4.7 臺灣東部海域 CODAR 海表面實測流速驗證

CODAR (Coastal Ocean Dynamics Application Radar)是岸基高頻測流雷達的縮寫與簡稱。其測流原理係利用岸基測流雷達天線主動向海面發射電磁波，然後藉電磁波在粗糙海面所造成之布拉格散射(Bragg Scatter)及因海流的相對運動所造成電磁波回波頻率移位之都卜勒效應，從而推算海表面之海流流場。財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心(簡稱海洋中心)為建置海洋科技發展相關之基礎設施與觀測平台，自 2009 年起，已於臺灣東部海岸完成三座長距離岸基高頻測流雷達站，同時並已試行海表面海流流場觀測。

最近期，即於 2010 年 2 月，海洋中心利用 CODAR，針對臺灣東部海域所實測之海面流場，其與同時期臺灣四周海域模擬計算流場之對照比較，結果如圖 4-40 所示。圖中，流速大小及流向，除了以箭尺長短及指向表示外，尚以圖下之參考色階深淺陳現。由圖 4-40 綜合觀察可知，臺灣東部海域，利用 CODAR 所觀測之流向，其與模擬計算流向，總體上具有甚好的相似性；至於利用 CODAR 所觀測之流速，其大小約介在 0.6~0.8 m/s，普遍低於平均流速達 1.2 m/s 之模擬計算流速；另外，對於黑潮海表面寬度而言，CODAR 所實測之寬度約 60 公里，亦低於寬度約達 100 公里之模擬計算值，顯見，就黑潮流速大小及海表面寬度而言，實測值皆低於模擬計算值。造成之原因，經檢討應係 CODAR 既有配置及觀測限制所造成。因為海洋中心目前在臺灣東部海岸所完成之三座 CODAR，其量測之海流流速係以各座雷達為中心之軸向速度，惟因既有配置之限制，各座雷達之量測角度，均約與黑潮流向成垂直，故而可能造成量測流速偏低，另外，海洋中心目前僅應用 CODAR 試行黑潮海表面流場觀測，尚未完成其校驗，故現階段逐時合成之海表面海流流場，其月平均統計分析特性應僅供參考。儘管如此，對於臺灣東部海域之黑潮海表面流場，CODAR 實測已可概略且近似地陳現出模擬計算之特性。



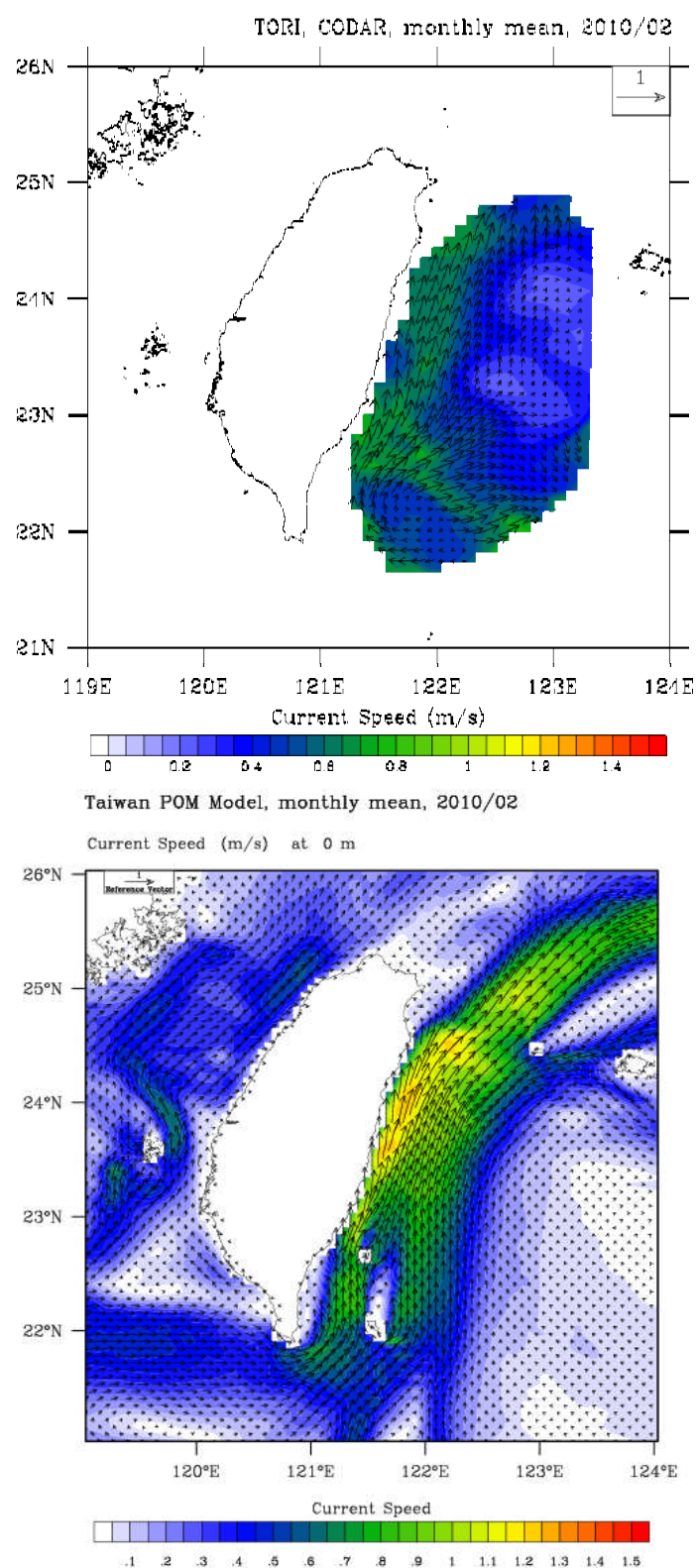


圖 4-40 臺灣東部海域 CODAR 實測(上；資料來源：國研院台灣海洋科技研究中心)及模擬計算(下)所得之海表面黑潮流場對照比較

## 4.5 臺灣西南部海域綜合洋流與潮汐效應之海流模擬

### 4.5.1 巢狀網格計算海域配置

由於巴士海峽內海脊、海槽及東亞大陸棚架緣地形的綜合影響，臺灣西南部高雄近岸海域的海流，流向與漲退潮的關係甚具特殊性(莊、江，2002)。而為綜合考慮洋流與潮汐效應，據以評估本研究建置臺灣鄰近海域海流模式在臺灣西南部高雄近岸海域之適用性，故延續巢狀網格架構，計算海域範圍以圖 4-4 所示的臺灣四周海域(T3-1)為基礎，邊界及初始條件，除自圖 4-3 所示西北太平洋計算海域(N2-1)範圍內之海流流場萃取相對應之水位及流速外，尚採用 NAO99b 全球潮位模式(Matsumoto et al., 2000)之預報天文潮位，據以調整邊界水位設定，從而進行並達成綜合考慮洋流與潮汐效應之海流模擬。

另外，為充分陳現臺灣西南海域高屏近海之水深地形效應，故再延續巢狀網格架構，建置如圖 4-5 所示格網解析度為 $1/64^{\circ}$ ，即約為 1.5 公里之臺灣西南計算海域範圍(T-SW)，藉以進一步探討計算格網空間解析度對近岸海流模擬準確度之影響。總體綜合考慮洋流與潮汐效應之巢狀網格海流模擬計算架構，如圖 4-41 所示。

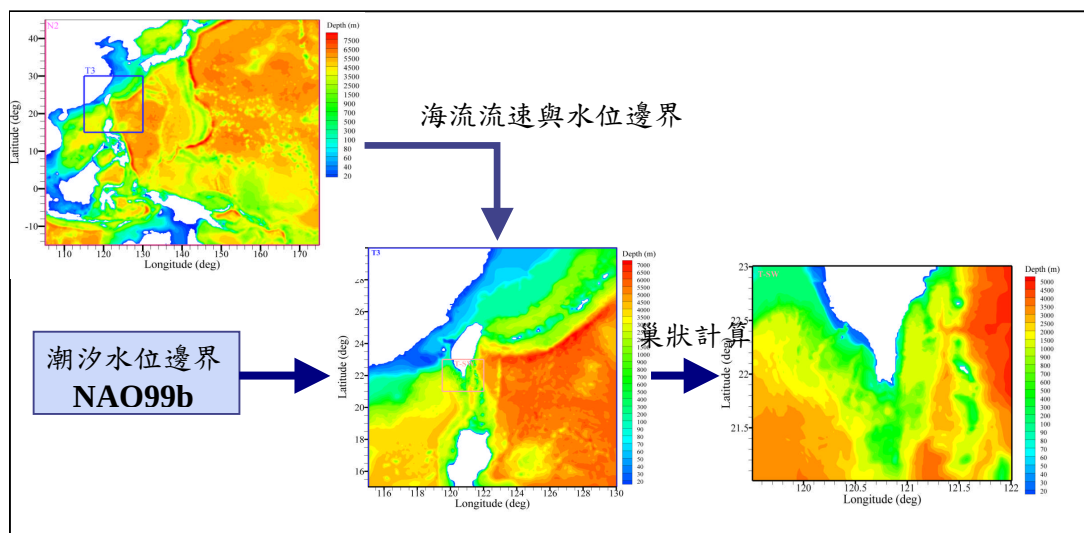


圖 4-41 臺灣西南海域高屏近海綜合洋流與潮汐效應之巢狀網格配置  
海流模擬計算架構

#### 4.5.2 綜合洋流與潮汐效應之海流流場

針對臺灣西南計算海域(T-SW)，以高雄港驗潮站之逐時預報潮位為參考基準，自 2008/12/15 12:00 起至 2008/12/16 10:00 止之一個完整潮汐週期內，綜合考慮洋流與潮汐效應之每二小時逐時流場時序變化，分別如圖 4-42 至圖 4-53 所示。各圖中，圖上之流場，其流速大小及流向，除了以箭矢長短及指向表示外，尚以圖下參考色階之深淺陳現；圖下之潮位歷程對照比較，黑色實線為預報天文潮位，綠色實線為綜合洋流與潮汐效應之圖示時序對應計算潮位。

綜合觀察圖 4-42 至圖 4-53，由圖中預報與計算潮位時序之對照比較可知，綜合考慮洋流與潮汐效應所得之計算潮位，確實與純天文潮流效應之預報潮位存在些微之差異，由此可推知，本研究綜合考慮洋流與潮汐效應之海流流場，應較純天文潮流流場更與實際流場貼合。

再由圖 4-42 至圖 4-53 所陳現連續時序變化之計算海流流場綜合觀察，在臺灣東南部海域，明顯可見流向經常向北的黑潮洋流；在臺灣南部之巴士海峽及墾丁近岸海域，亦清楚可見黑潮套流及受海脊地形影響、綜合洋流與潮汐效應後，流向陳現往復變化之海流及內潮流(internal tidal currents)(Wang et al., 2004；Lee et al., 2009)；至於在高雄及小琉球之近岸海域，更明確可見流速、流向會隨潮位漲落而陳現時序變化之海流。

#### 4.5.3 綜合洋流與潮汐效應之近岸海流驗證

關於臺灣西南部高雄中洲近岸海域之實測海流及潮汐特性，根據李 等(2010)之調查報告指出：本海域之潮汐以全日潮型為主，部分期間為混合潮型。當潮型明顯屬於全日潮型時，海流流向與潮位變化存在明顯關係，即在漲潮時，其流向主要為 SE 及 SSE，且以 SSE 為主；而在退潮時，其流向反轉為 NW 及 NNW，且以 NNW 為主。另外，本海域因受沿岸地形及水深影響，於部分漲退潮段交換期間，海流流向之轉換，可能產生時間遲滯現象，亦即海流流向無法立即反應漲退潮

段之變化。

針對以上臺灣西南部高雄中洲近岸海域之實測海流特性，承蒙國立中山大學海洋環境及工程學系陳陽益教授提供部分實測紀錄，俾使本研究得以順利進行純潮流及綜合洋流與潮汐效應之近岸計算海流驗證。高雄中洲近岸海域之海流實測資料，係國立中山大學海洋環境及工程學系所執行「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」合作研究計畫之海流監測調查成果(李 等，2010)。海流監測調查採用美國 RD Instruments 之底碇式都卜勒海流剖面儀(ADCP)，佈放儀器以漁船作業，並使用 DGPS 定位，再配合潛水人員進行。所有之海流監測點位與編號如圖 4-54 所示。在實際水深地形影響及計算海域之時空解析度限制考量下，本研究引用編號 C3 之部分監測調查紀錄進行海流驗證，C3 測站之點位座標在 TWD67 座標系統為(2497840, 173500)，即位在(120.256°E, 22.579°N)，水深 20 米處，取樣頻率為每 10 分鐘 1 筆，三段用以供驗證之監測期間，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。

在臺灣西南計算海域(T-SW)，若僅考量純潮汐漲退之影響效應，則針對 C3 測站 2006 年 11 月、2007 年 5 月及 2008 年 12 月期間之近岸實測海流，其與模擬計算所得潮流之比較驗證結果，分別如圖 4-55、圖 4-56 及圖 4-57 所示。圖中，黑色實線為實測資料，綠色帶三角形實線為模擬計算結果；由上而下分別為海流流向、流速、流矢及海面水位之時序比較。綜合觀察圖 4-55 至圖 4-57 所示之實測海流與計算潮流之逐時比較驗證結果可知，計算潮流之流向，明顯皆陳現週期性之往復變動，故與實測海流流向存在顯著差異；而計算流速，明顯皆比實測海流流速微弱，因此，兩者間之時序變動特性亦甚難相近似。基於以上比較驗證之結果及往昔之研究經驗(莊、江，2002)可知，在臺灣西南部之高屏與小琉球近岸海域，海流甚具特殊性，在模擬計算上，若僅單純考量潮流效應，則其在實測海流比較驗證上，尤其是在預測上，將存在甚大之困難度與挑戰性。

在綜合洋流與潮汐效應下，首先，針對 C3 測站 2006 年 11 月期間之實測海流，其與具不同空間格網解析度之臺灣鄰近計算海域(T3-1)及臺灣西南計算海域(T-SW)內綜合洋流與潮汐效應之計算海流逐時比較驗證結果，分別如圖 4-58 及圖 4-59 所示。圖中，黑色實線為實測資料，綠色帶三角形實線為模擬計算結果；由上而下分別為海流流向、流速、流矢及海面水位之時序比較。綜合觀察圖 4-58 及圖 4-59 所示之實測與計算海流之逐時比較驗證結果可知，在臺灣鄰近計算海域(T3-1)內，由於其具較粗之空間格網解析度，故近岸之水深地形僅能概略陳現其影響，因此，計算之海流，不論流向與流速大小之逐時變化，均與實測有所差誤；至於，在臺灣西南計算海域(T-SW)內，由於其具較細之空間格網解析度，故近岸之水深地形較能詳細陳現其影響，因此，計算之海流，僅管流速大小之逐時變化，與實測仍有所差異，但流向之逐時變化，則與實測已概略相近似。

其次，針對 C3 測站 2007 年 5 月夏季期間之實測海流，其與在臺灣鄰近計算海域(T3-1)及臺灣西南計算海域(T-SW)內綜合洋流與潮汐效應之計算海流逐時比較驗證結果，分別如圖 4-60 及圖 4-61 所示。由圖綜合觀察實測與計算海流之逐時比較驗證結果可知，在具較粗空間格網解析度之臺灣鄰近計算海域(T3-1)內，計算海流之流速，明顯比實測小，不過流向之逐時變化，已能與實測相近似；至於，在具較細空間格網解析度之臺灣西南計算海域(T-SW)內，僅管流速大小之逐時變化，仍與實測具差異性，但不論月期間內潮汐之潮位與潮型變化，流向之逐時變化，明顯已可與實測近似符合。

最後，針對 C3 測站 2008 年 12 月冬季期間之實測海流，其與在臺灣鄰近計算海域(T3-1)及臺灣西南計算海域(T-SW)內綜合洋流與潮汐效應之計算海流逐時比較驗證結果，分別如圖 4-62 及圖 4-63 所示。由圖綜合觀察實測與計算海流之逐時比較驗證結果可知，在具較粗空間格網解析度之臺灣鄰近計算海域(T3-1)內，僅管計算流向之逐時變化，已概略近似於實測，但計算海流之流速大小，仍明顯與實測具相當差異；至於，在具較細空間格網解析度之臺灣西南計算海域(T-SW)內，

不論月期間內潮汐之潮位與潮型變化，流速大小與流向之逐時變化，均明顯可與實測相符合。

為量化檢驗上列 C3 測站各監測期間實測與計算海流流速之相互近似性，進一步將實測與計算海流流速及其東—西(U)與南—北(V)分量進行拆解，再分別繪製流速與流向及流速各分量之相關圖，結果分別如圖 4-64 及圖 4-65 所示。圖中，橫軸為實測之流速、流向、或流速分量值，縱軸為計算之流速、流向、或流速分量值；綠色空心圓代表臺灣西南計算海域(T-SW)內綜合洋流與潮汐效應之計算海流流速、藍色空心三角形代表臺灣西南計算海域(T-SW)內純潮流效應之計算潮流流速、紅色空心正方形則代表臺灣鄰近計算海域(T3-1)內綜合洋流與潮汐效應之計算海流流速。由圖 4-64 配合圖 4-65 綜合觀察可知，實測與計算海流流速分量之相關圖普遍呈水平橢圓形散亂分佈，這顯示兩者之相關性不高，而且計算流速之大小變化不大，一般皆比實測流速弱。至於其對應之相關係數，經統計分析計算，結果如表 4-5 所示。由表觀察可知，在臺灣西南計算海域(T-SW)及臺灣鄰近計算海域(T3-1)內，各監測期間之相關係數皆顯示，使用較高空間解析度之計算網格，所得之計算海流流速與實測流速之相關性相對較高，即模擬計算海流較能貼近於實測；另外，再由表 4-5 觀察比較可見，僅管將洋流與潮汐效應作綜合考量，但模擬計算之海流流速，其與實測流速之相關性，實際上均仍偏低，主要原因，可能係實測與計算海流流速隨潮位變化時，存在時序相位延遲所致。

表 4-5 高雄中洲海域實測與計算海流 U、V 分量之相關係數

| 模擬計算<br>期間 | 計算海域<br>範圍 | 實測與計算流速相關係數 |         |
|------------|------------|-------------|---------|
|            |            | 東西分量(U)     | 南北分量(V) |
| 2006/11    | T-SW       | 0.210       | 0.210   |
|            | T3-1       | 0.230       | 0.131   |
| 2007/05    | T-SW       | 0.139       | 0.272   |
|            | T3-1       | 0.243       | 0.202   |
| 2008/12    | T-SW       | 0.434       | 0.496   |
|            | T3-1       | 0.299       | 0.184   |



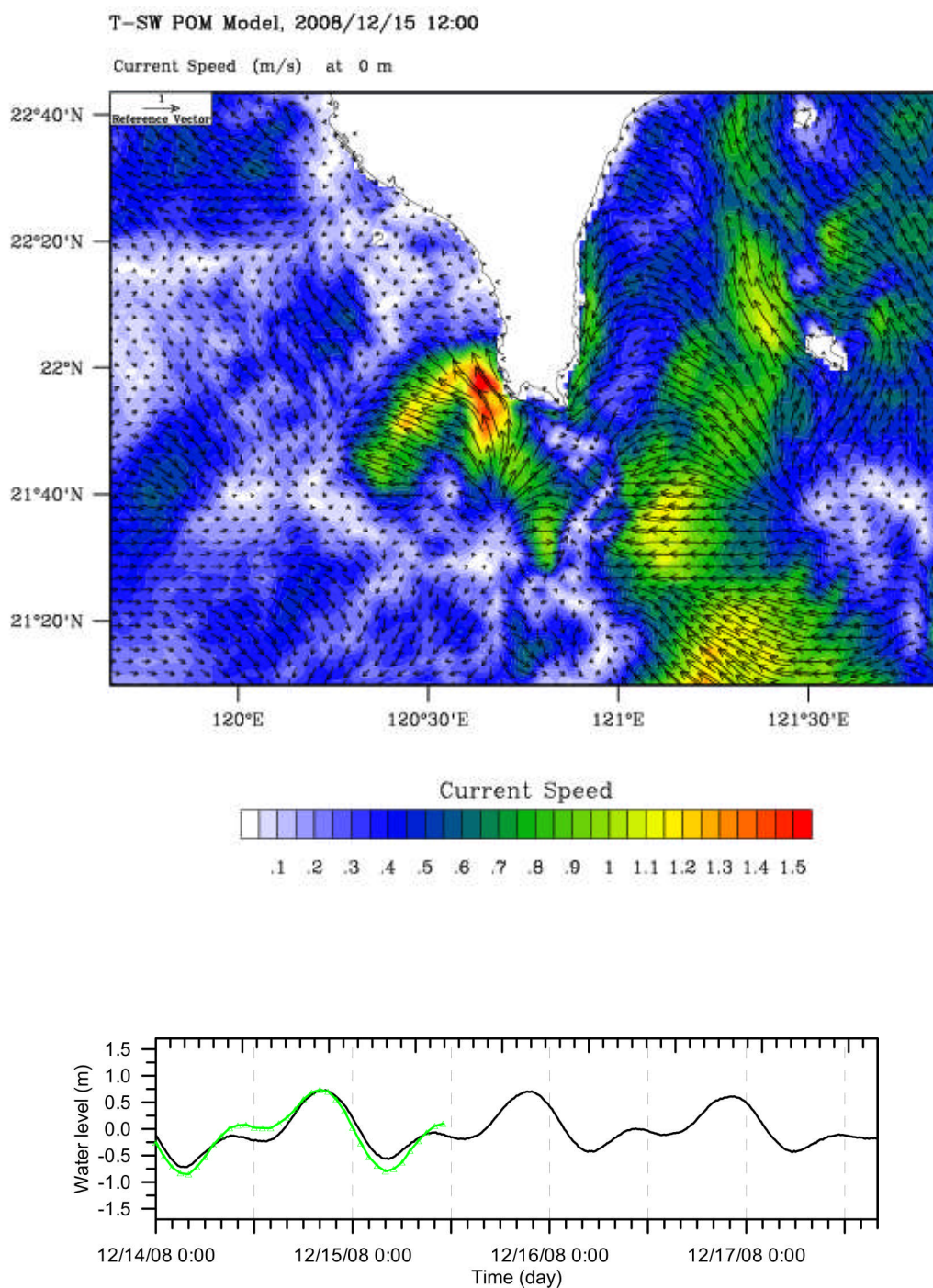


圖 4-42 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 12:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

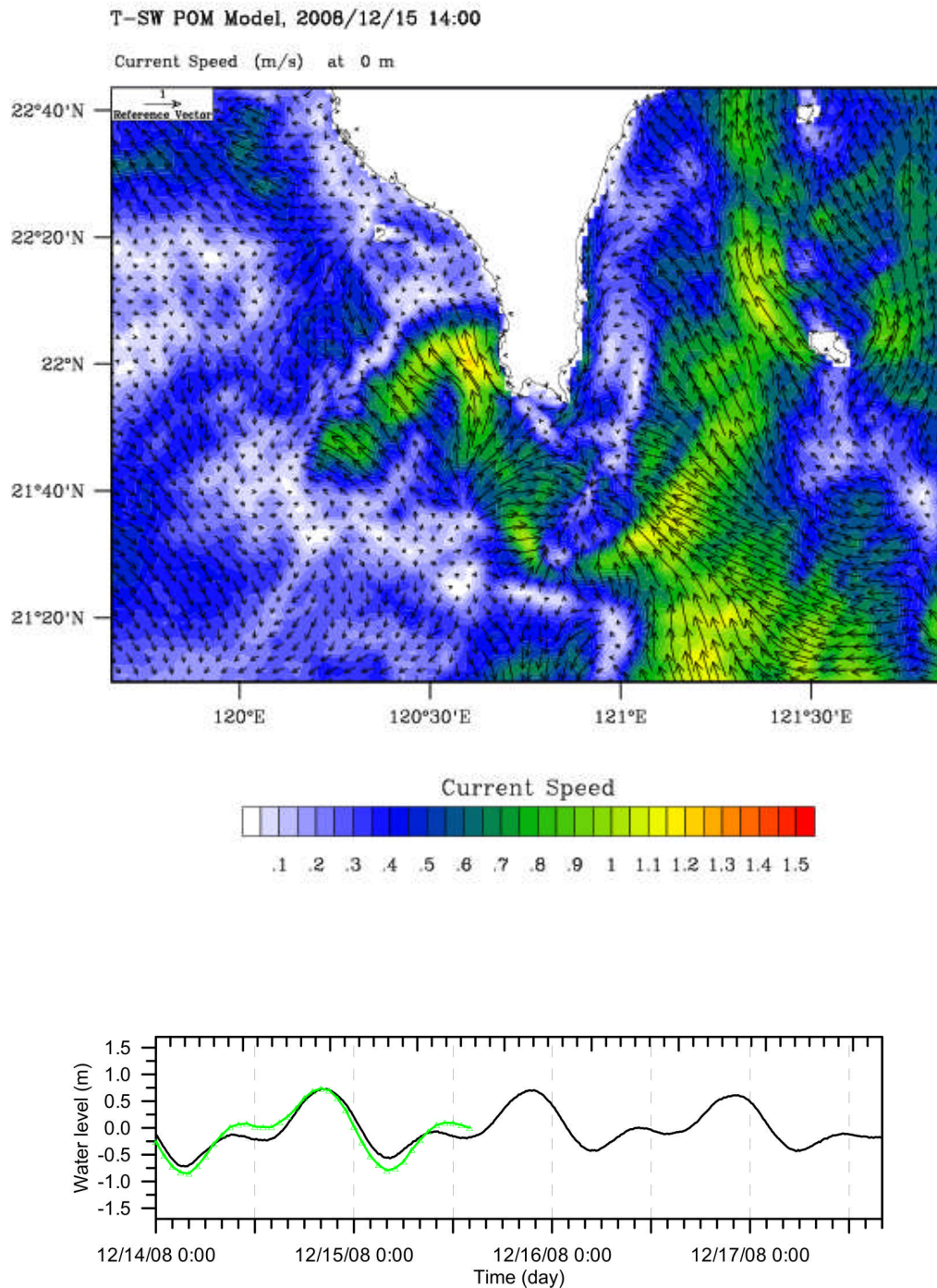


圖 4-43 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 14:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

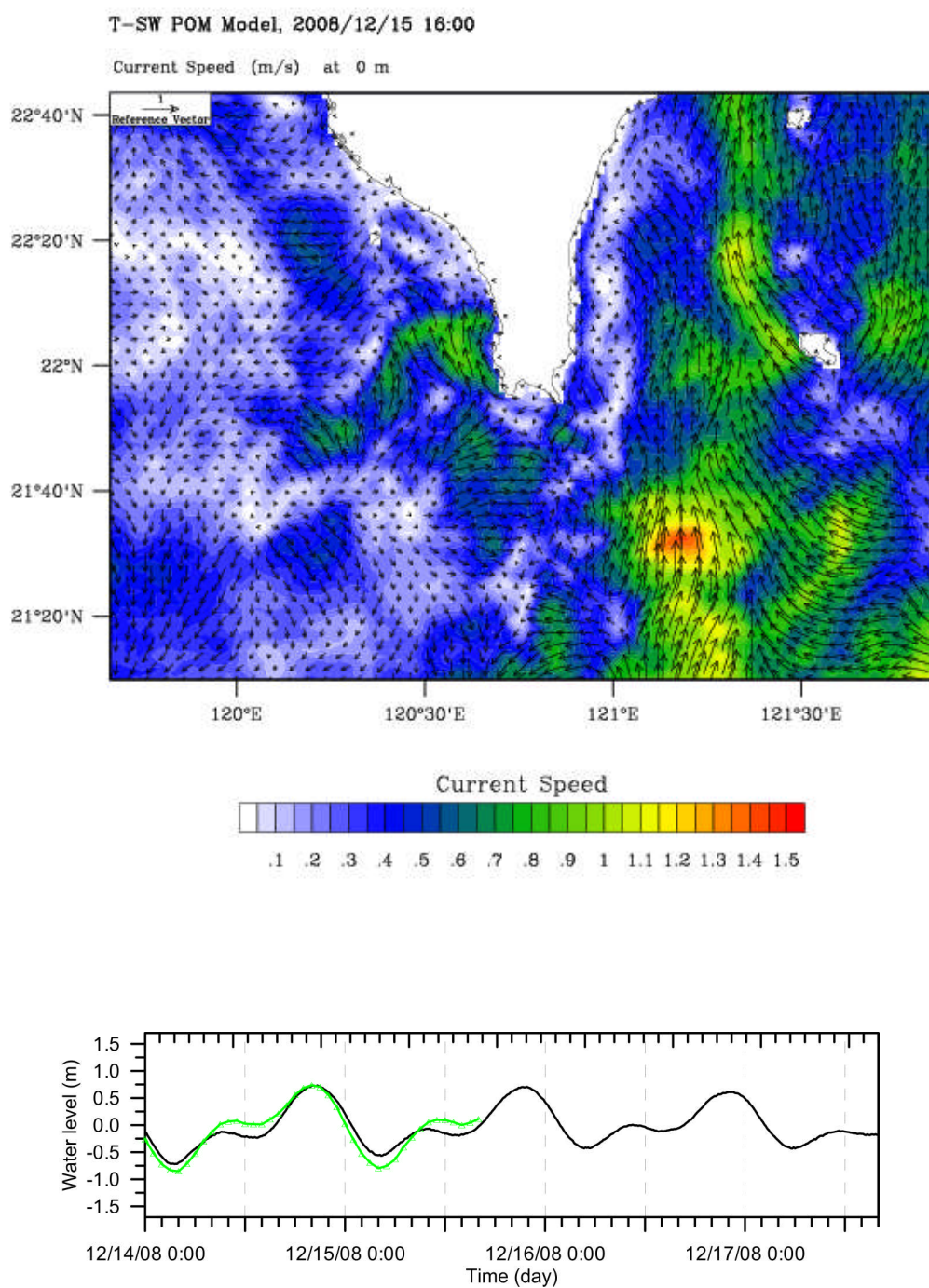


圖 4-44 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 16:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)



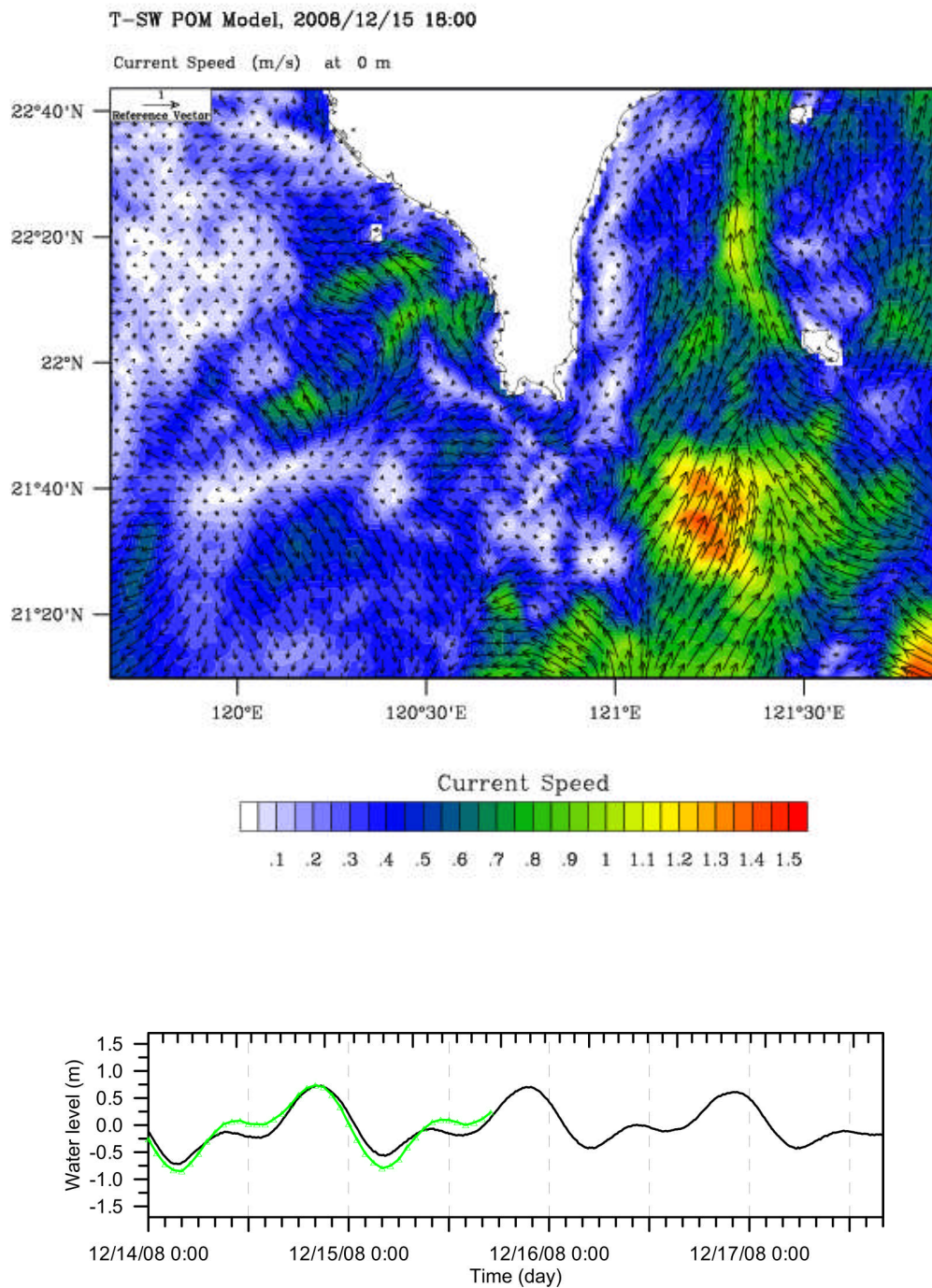


圖 4-45 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 18:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

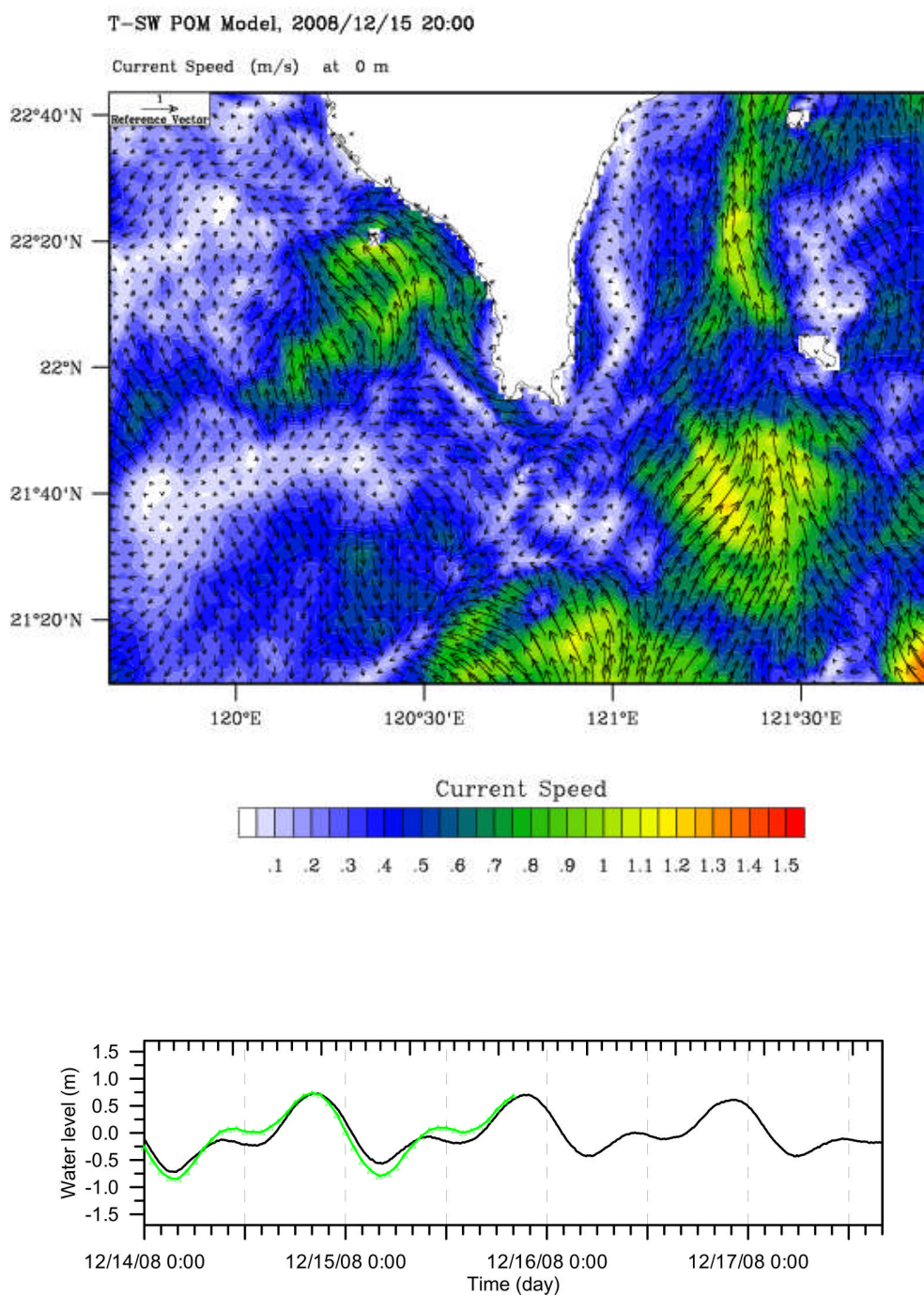


圖 4-46 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 20:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

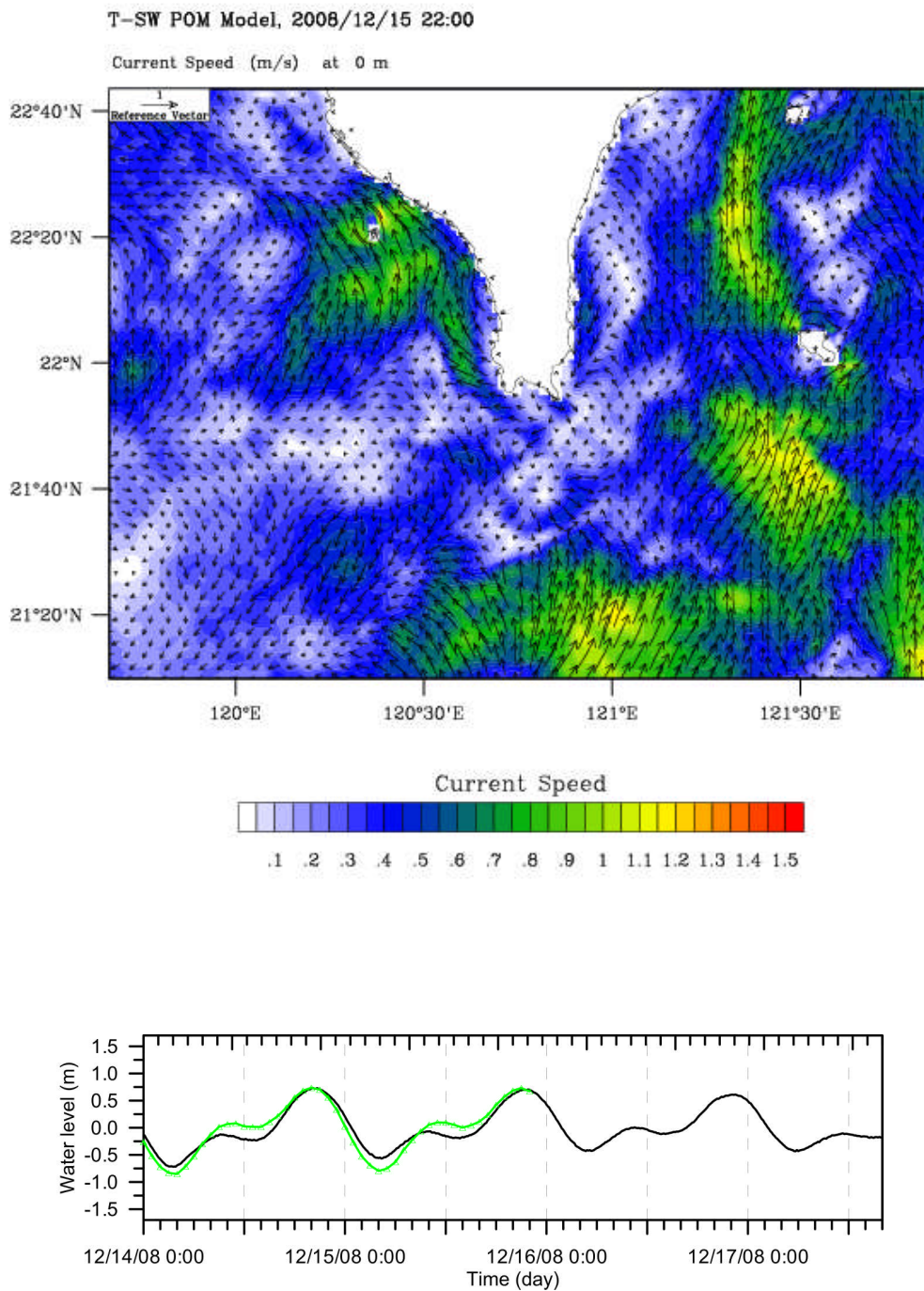


圖 4-47 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/15 22:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)



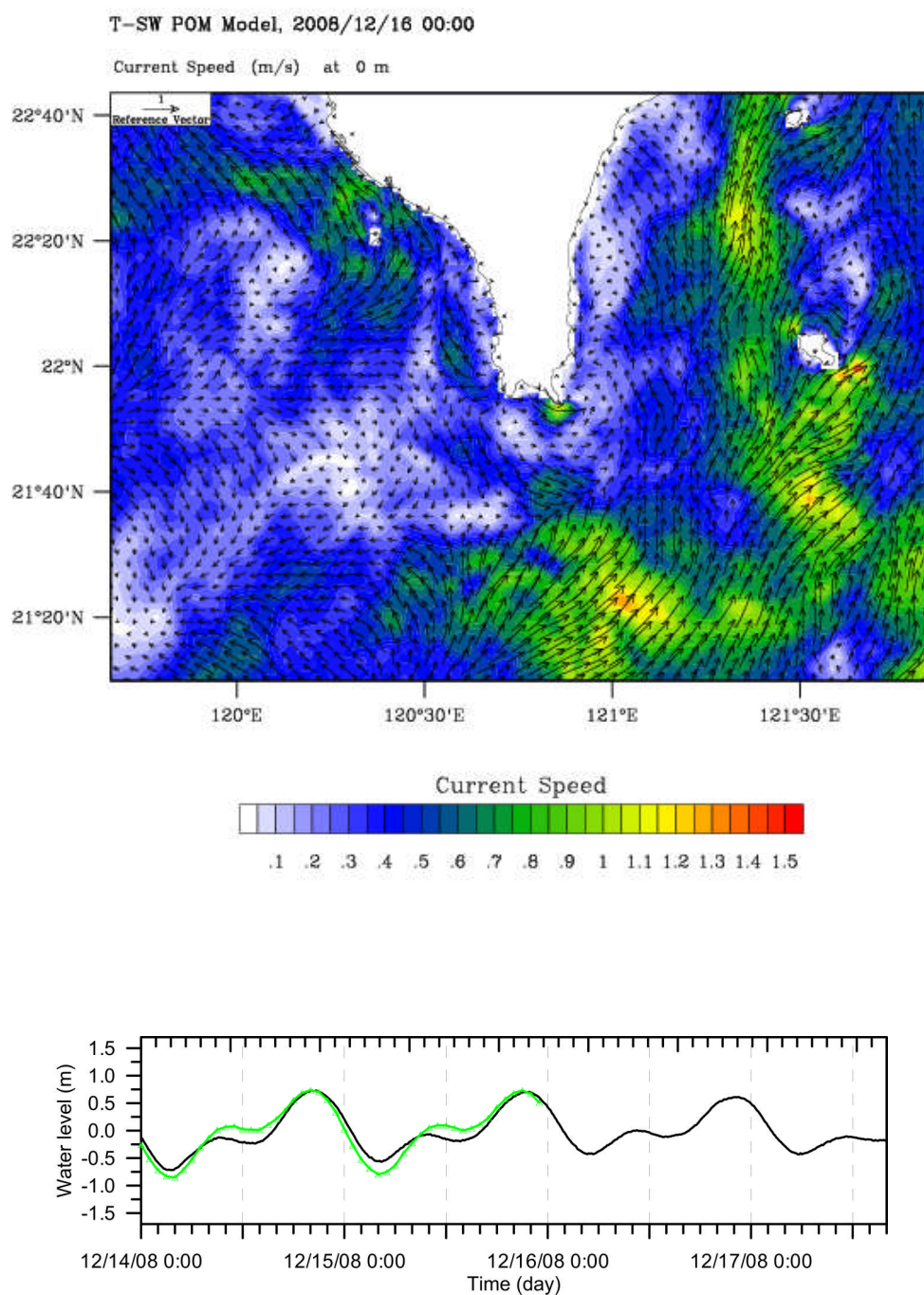


圖 4-48 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 00:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

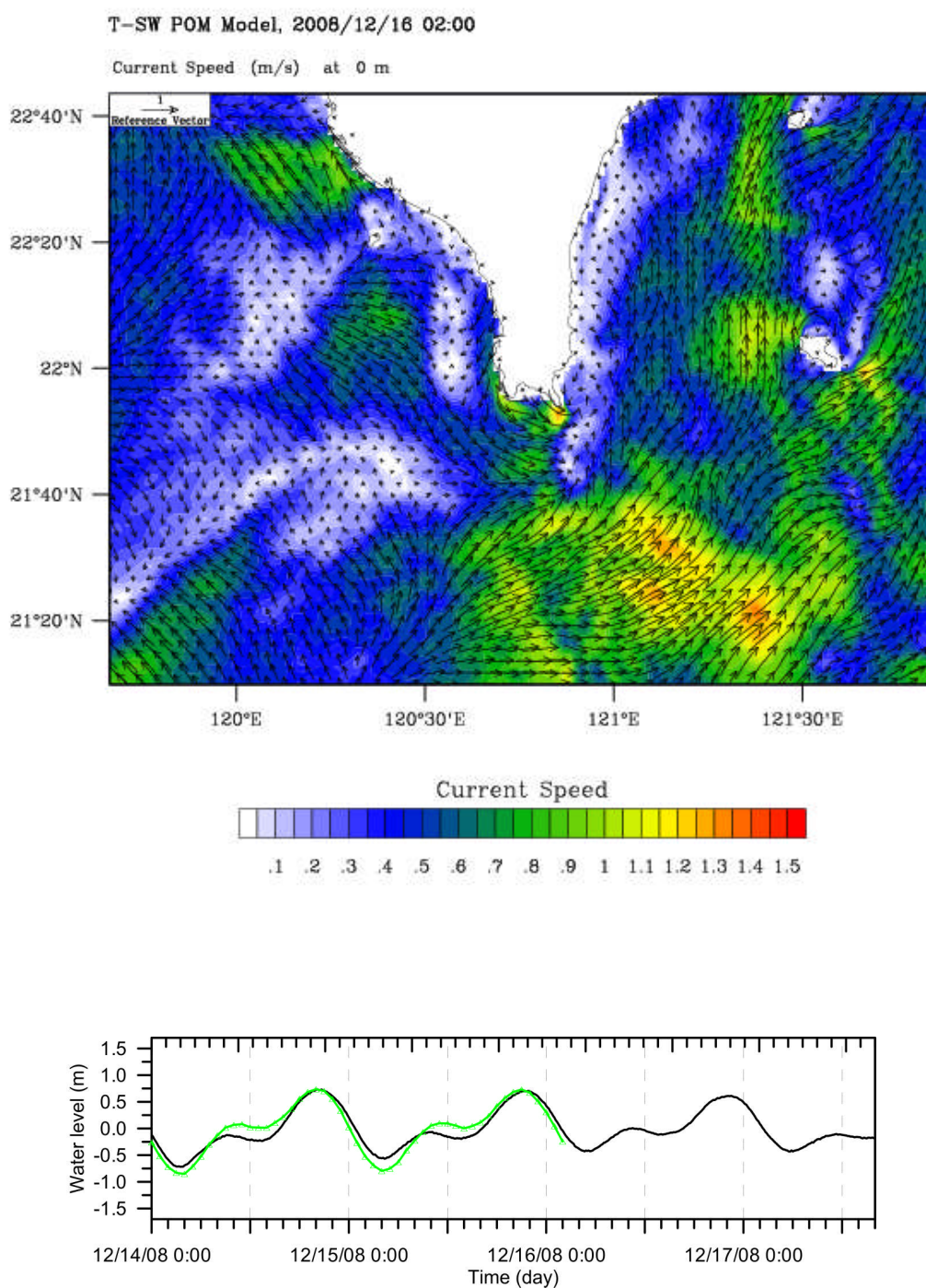


圖 4-49 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 02:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

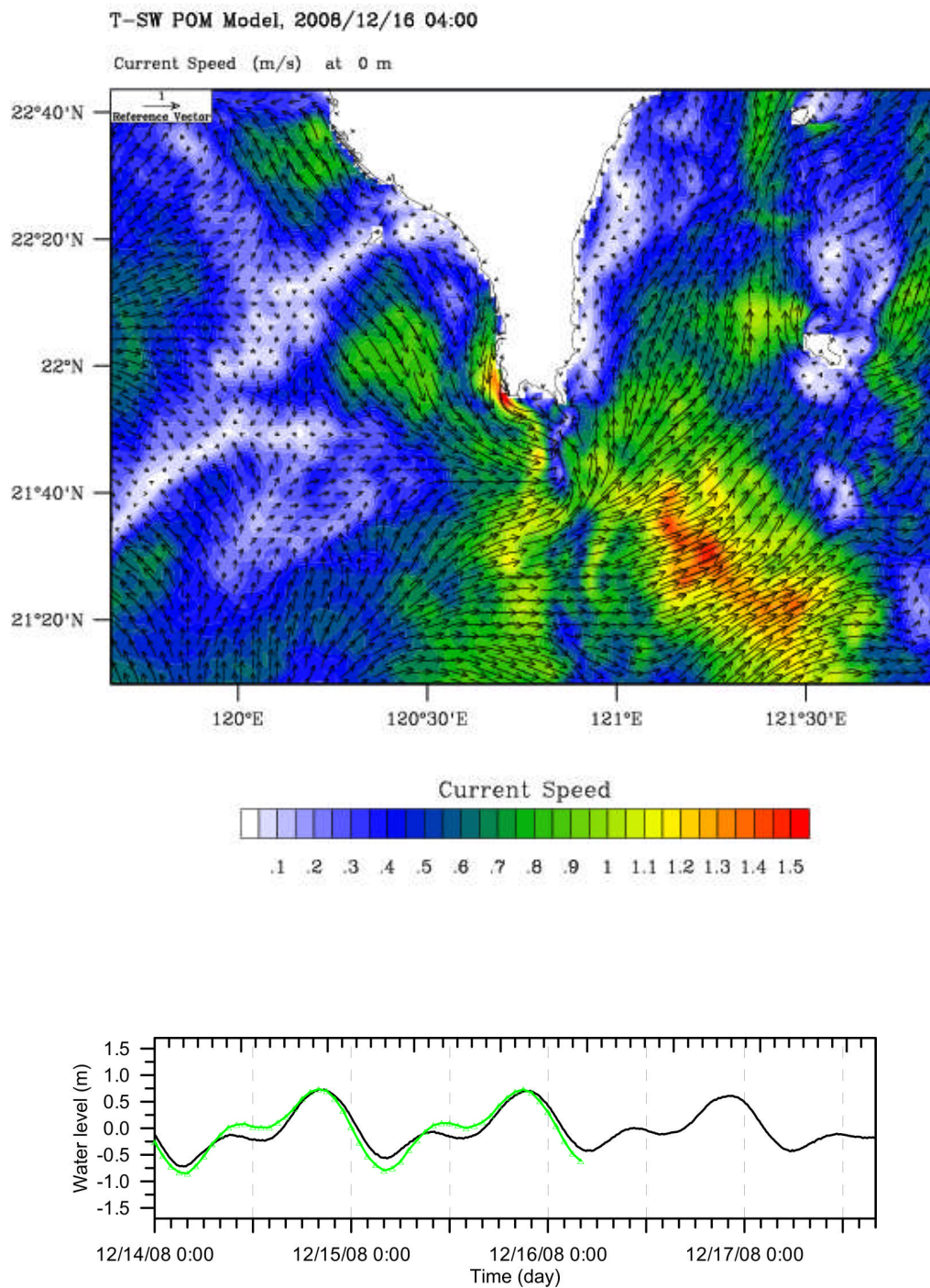


圖 4-50 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 04:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)



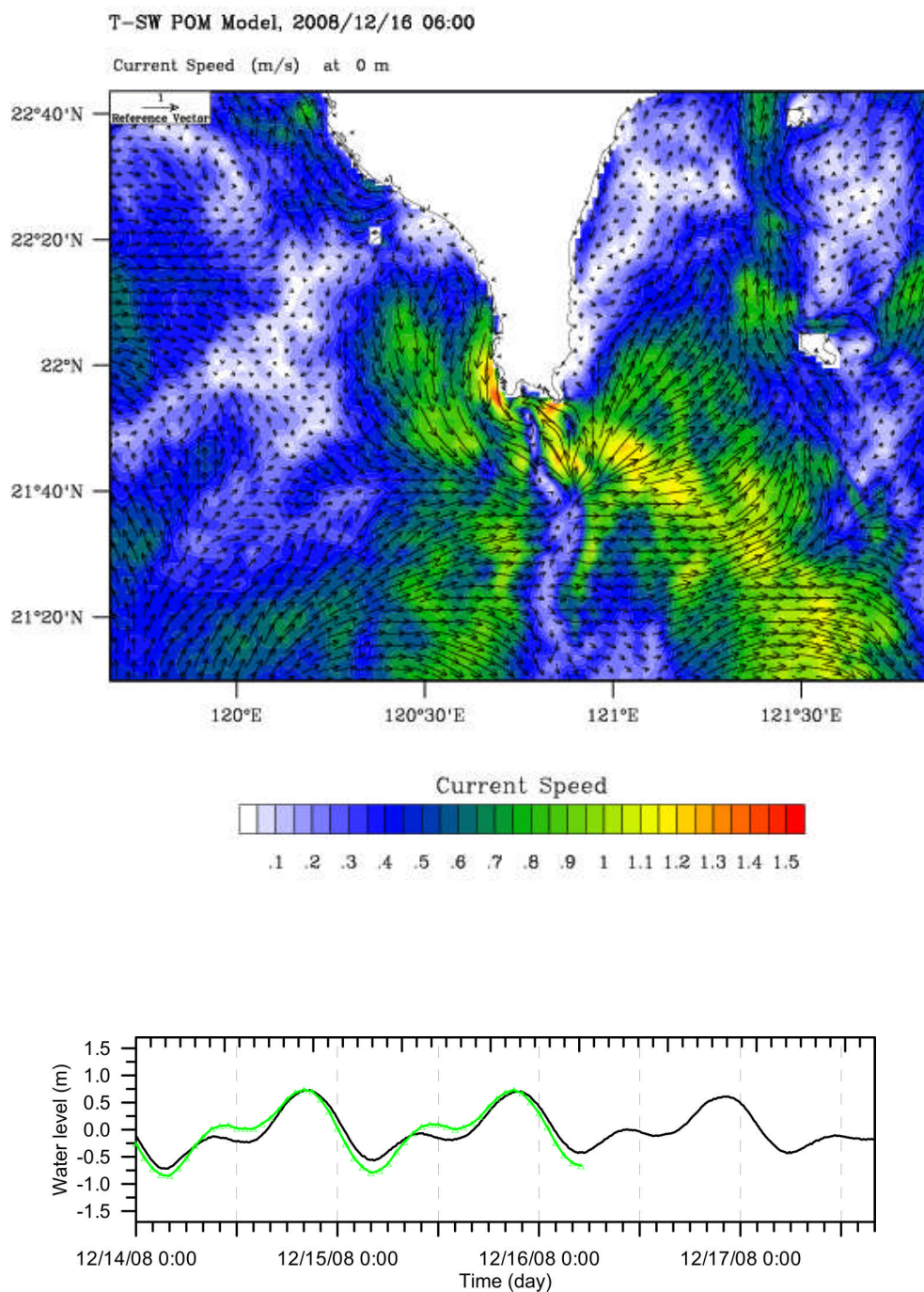


圖 4-51 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 06:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

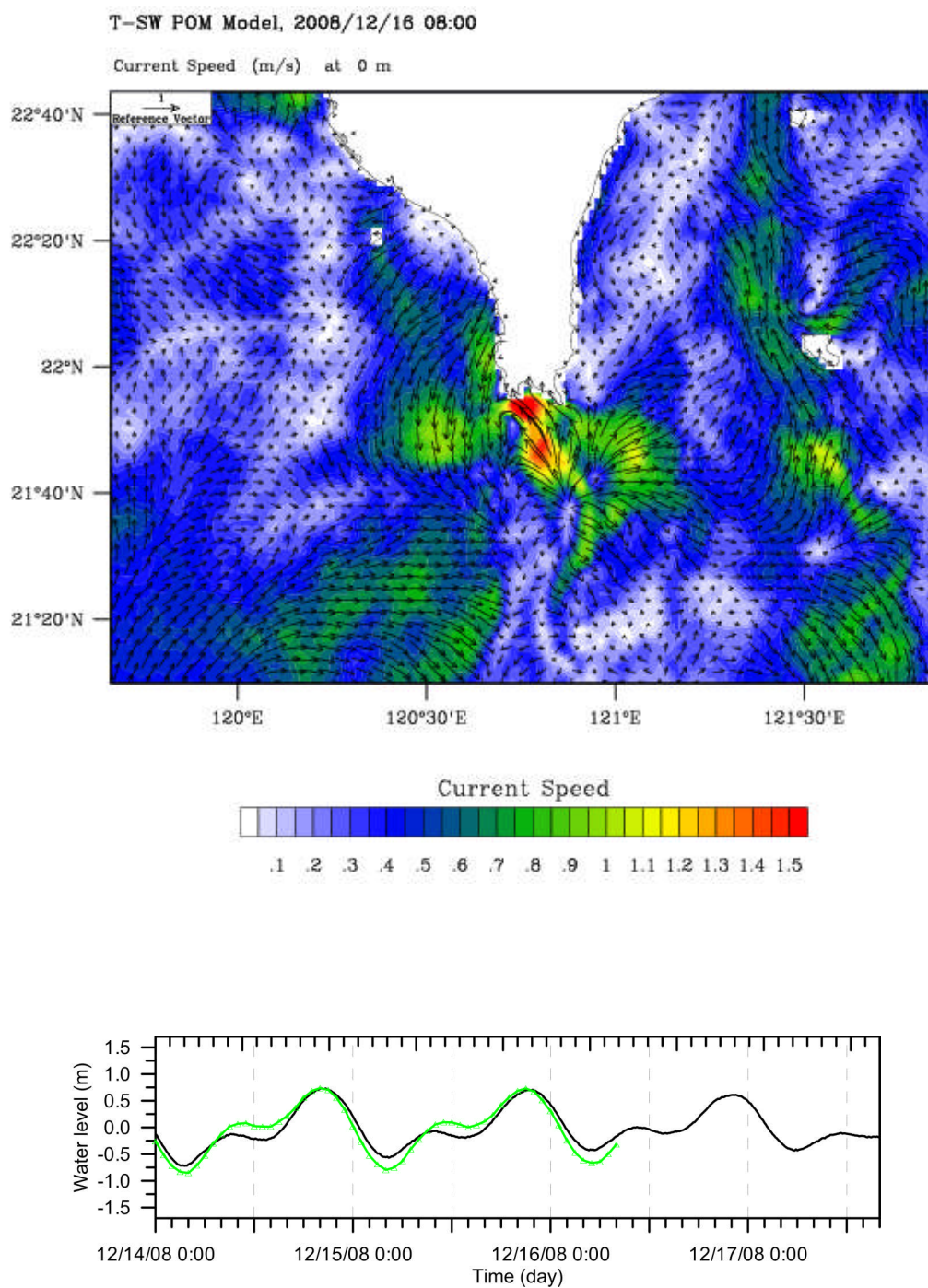


圖 4-52 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 08:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)

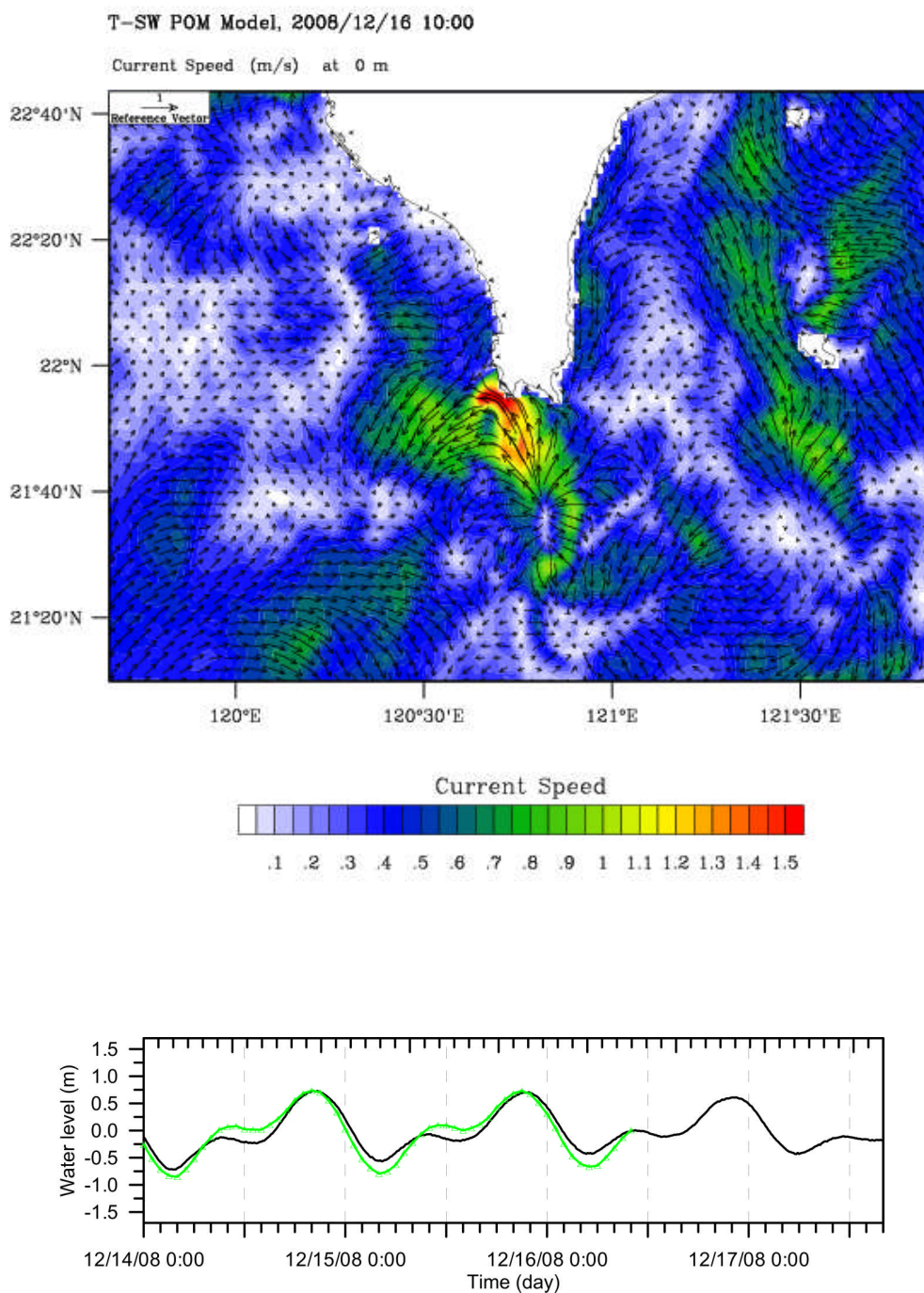


圖 4-53 臺灣西南部海域(T-SW)綜合洋流與潮汐效應之表層海流流場  
(上)及參考高雄驗潮站之 2008/12/16 10:00 計算(綠)及預報(黑)潮位(下)



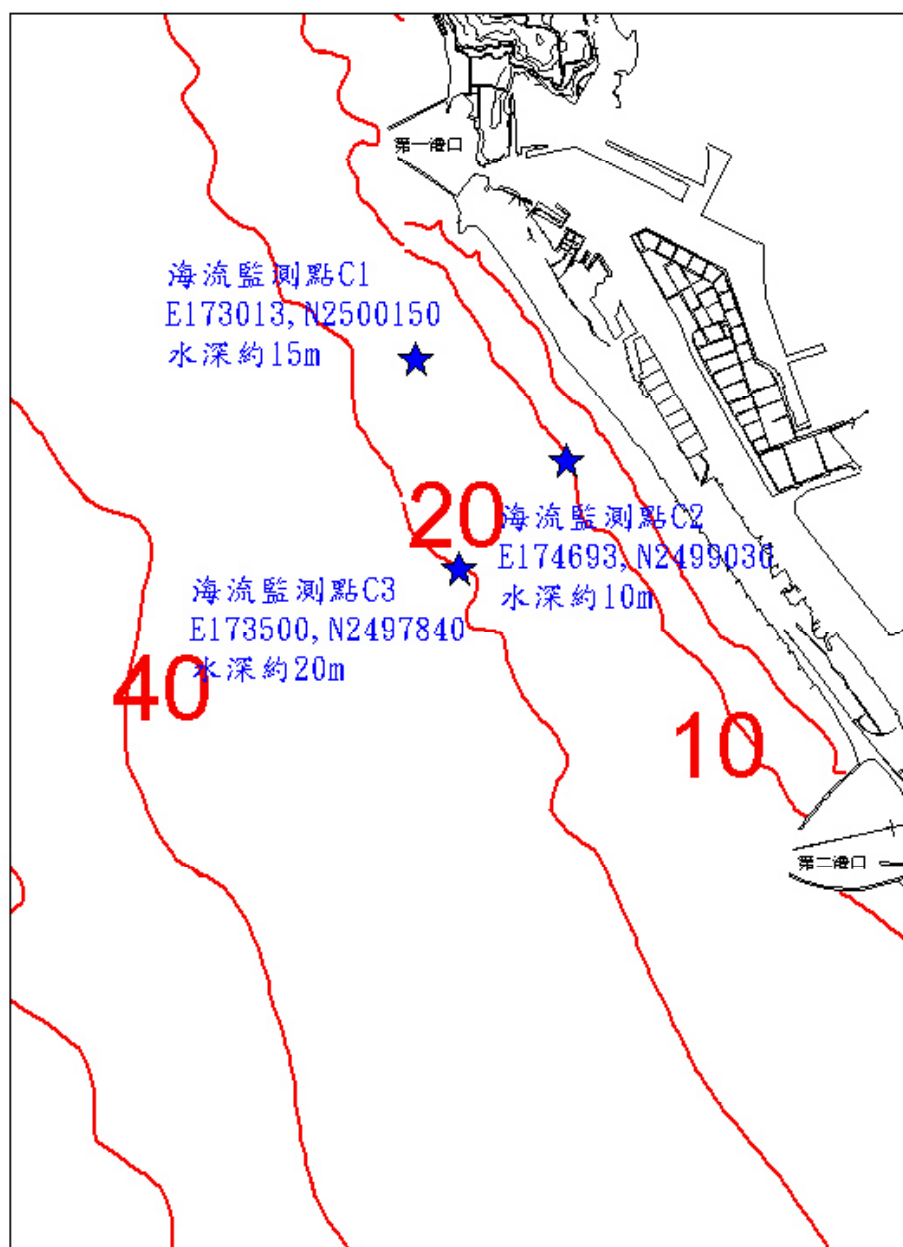


圖 4-54 高雄中州海域海流監測站位置圖(李 等人，2010)

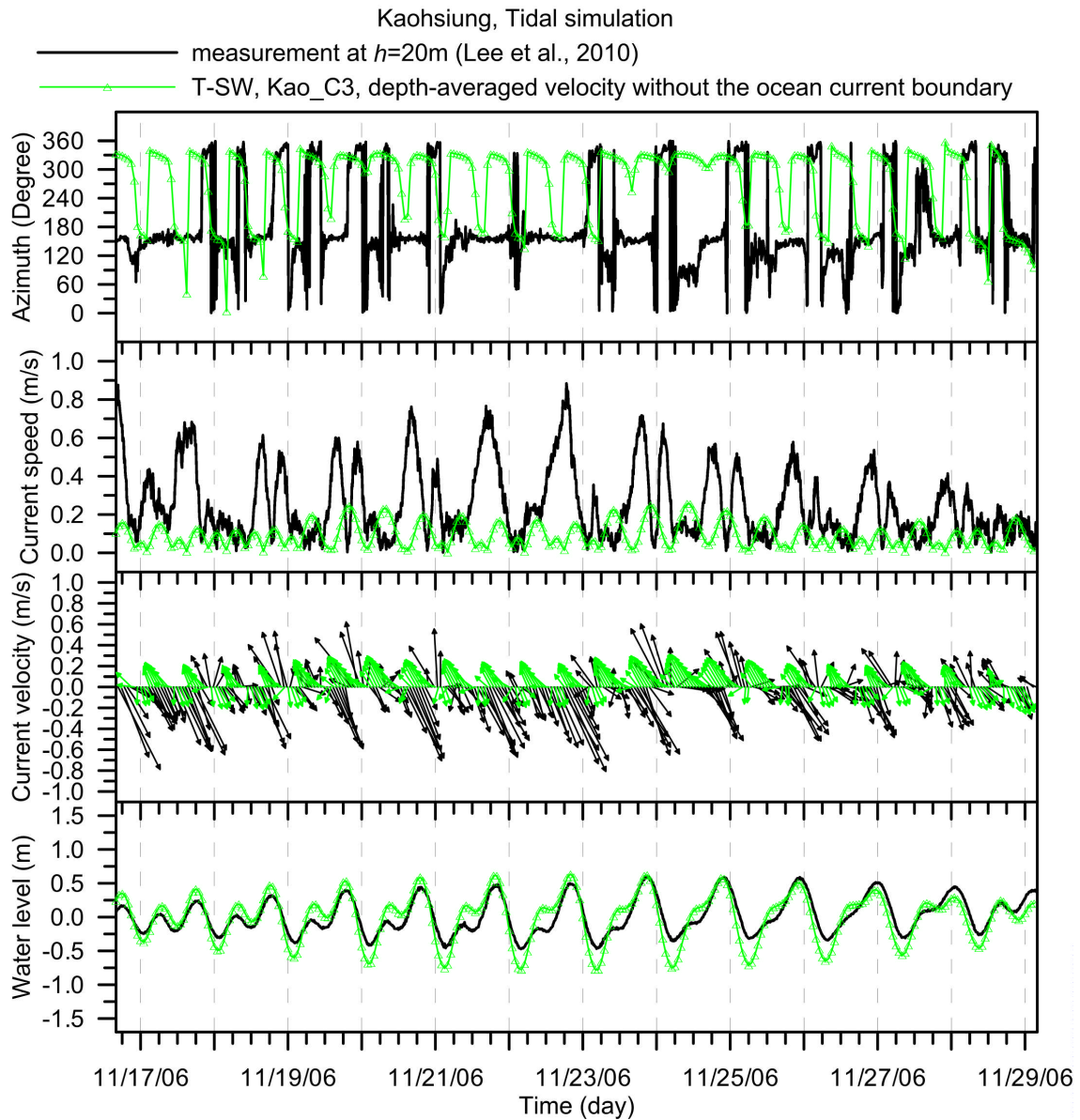


圖 4-55 臺灣西南計算海域(T-SW) 2006 年 11 月實測海流與考量純潮汐效應所得計算潮流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較

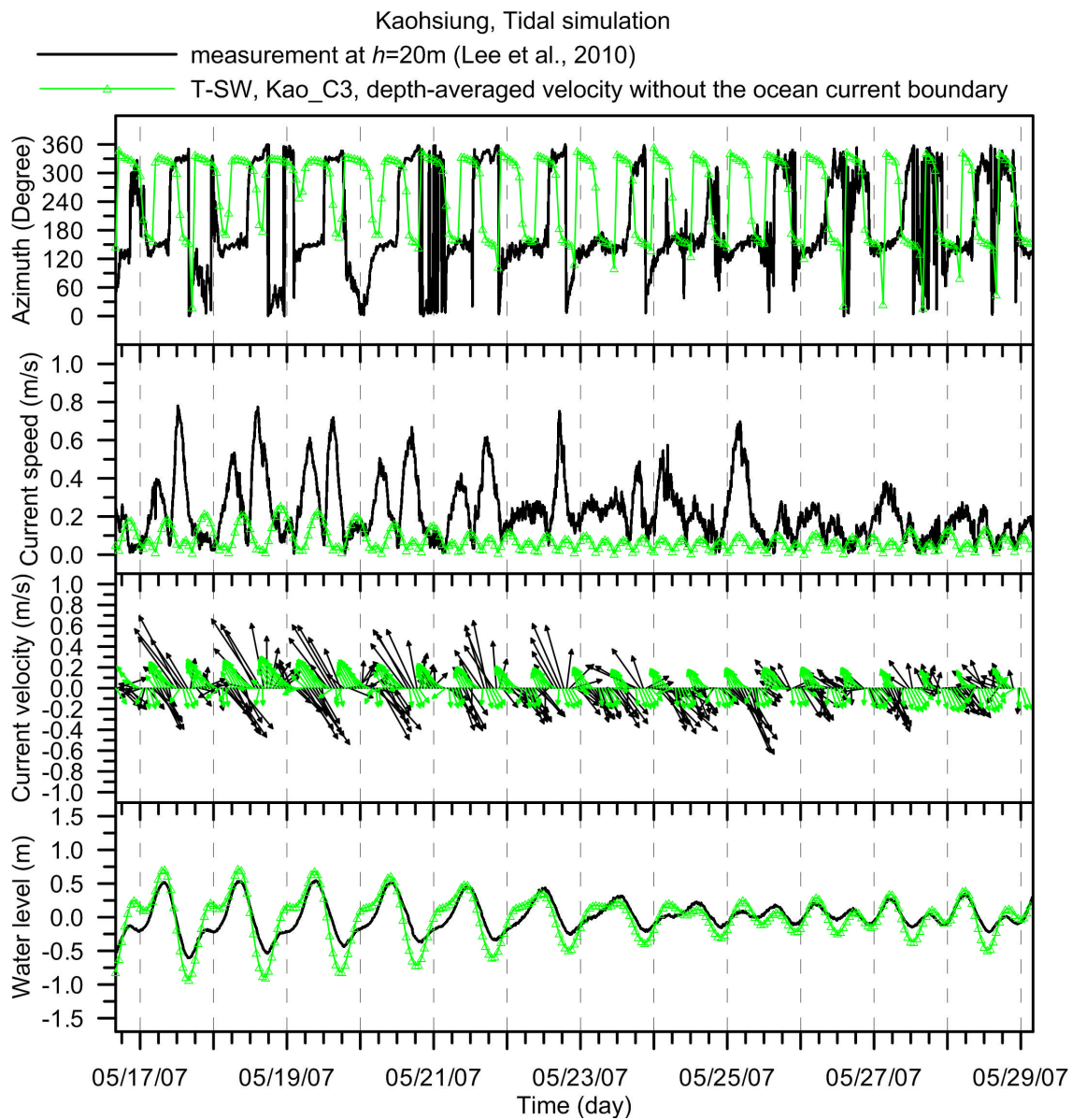


圖 4-56 臺灣西南計算海域(T-SW) 2007 年 5 月實測海流與考量純潮汐效應所得計算潮流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較

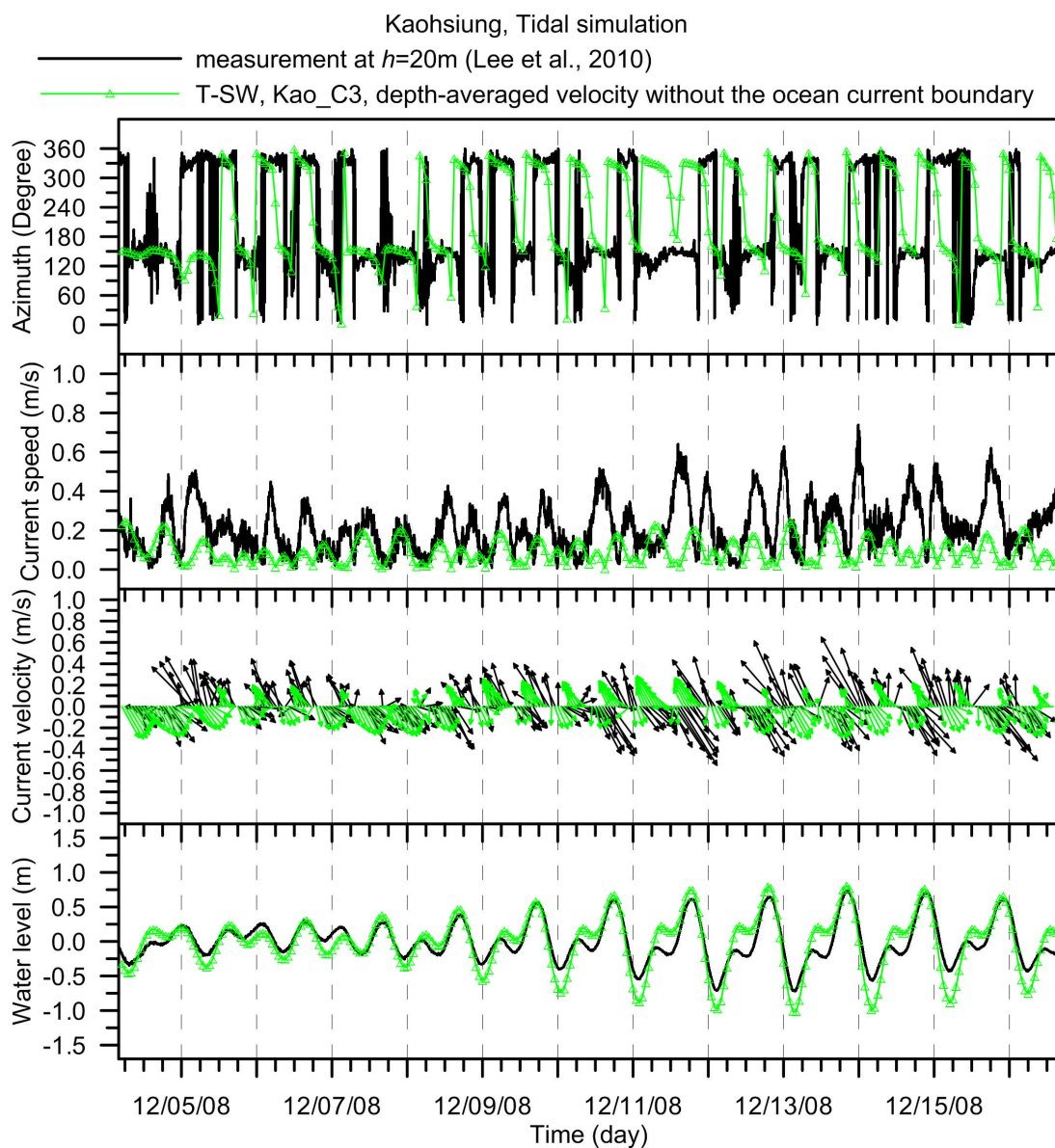


圖 4-57 臺灣西南計算海域(T-SW) 2008 年 12 月實測海流與考量純潮汐效應所得計算潮流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較

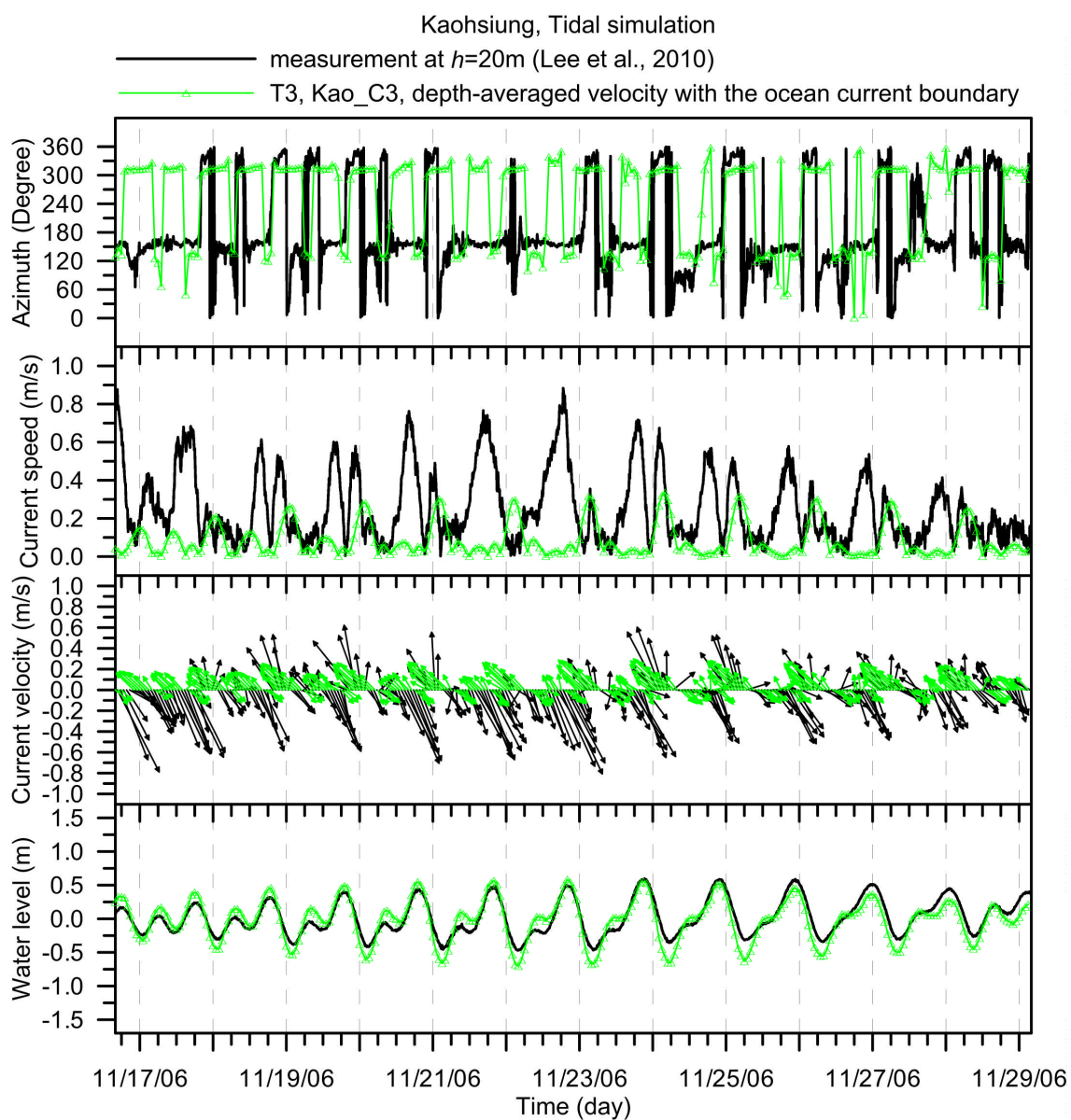


圖 4-58 臺灣四周計算海域(T3-1) 2006 年 11 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下) 時序驗證比較



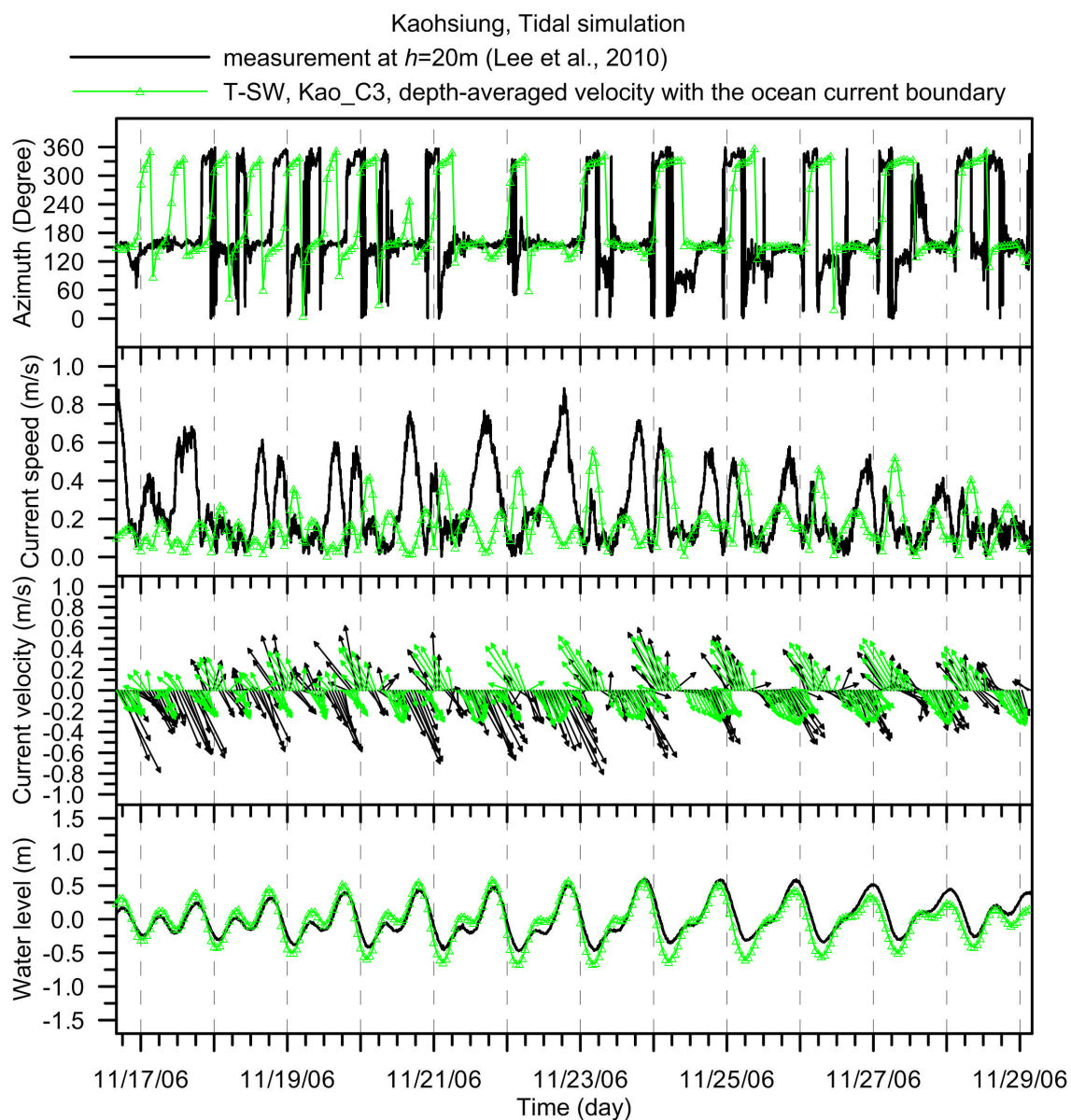


圖 4-59 臺灣西南計算海域(T-SW) 2006 年 11 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較



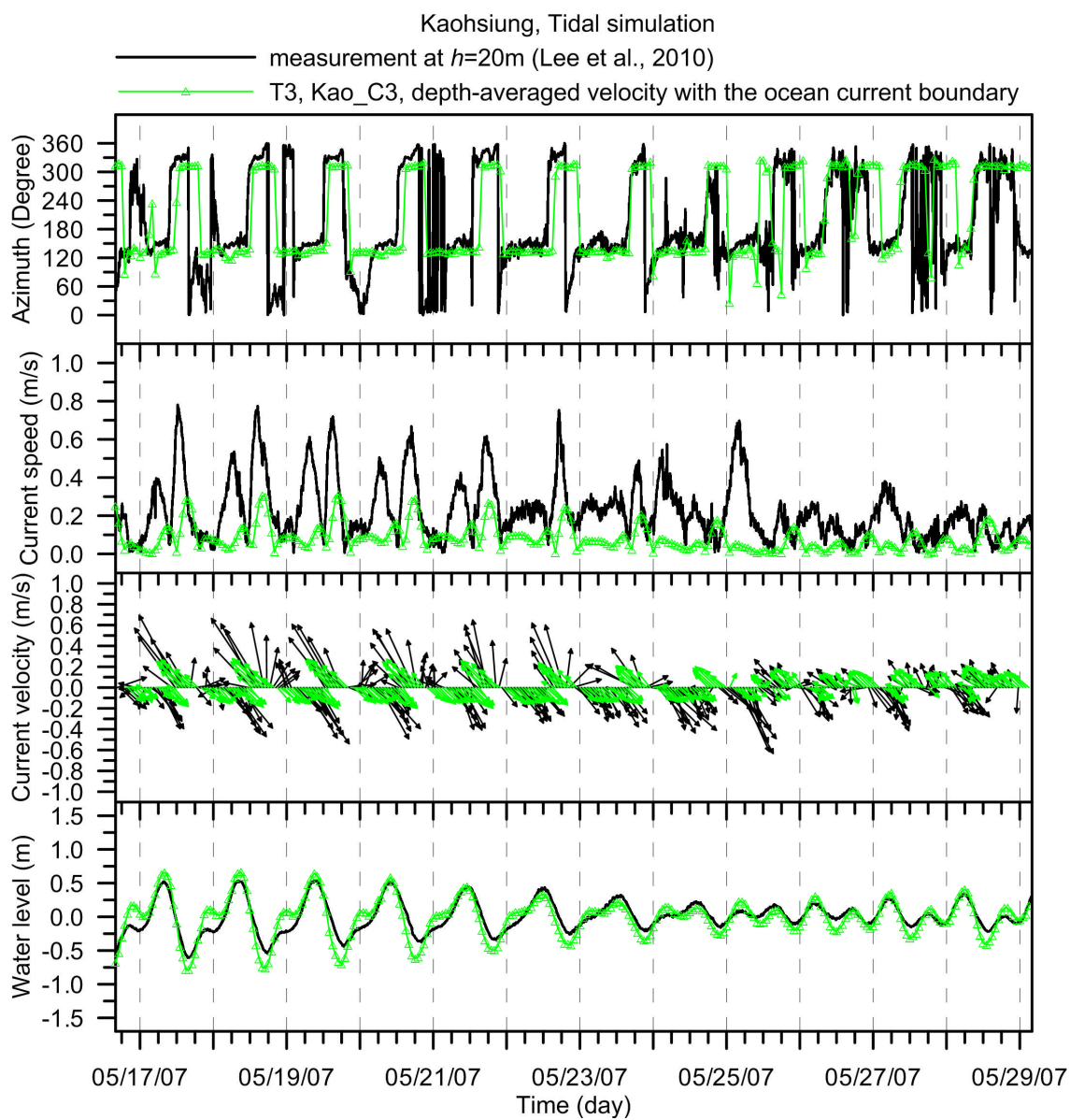


圖 4-60 臺灣四周計算海域(T3-1) 2007 年 05 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下) 時序驗證比較

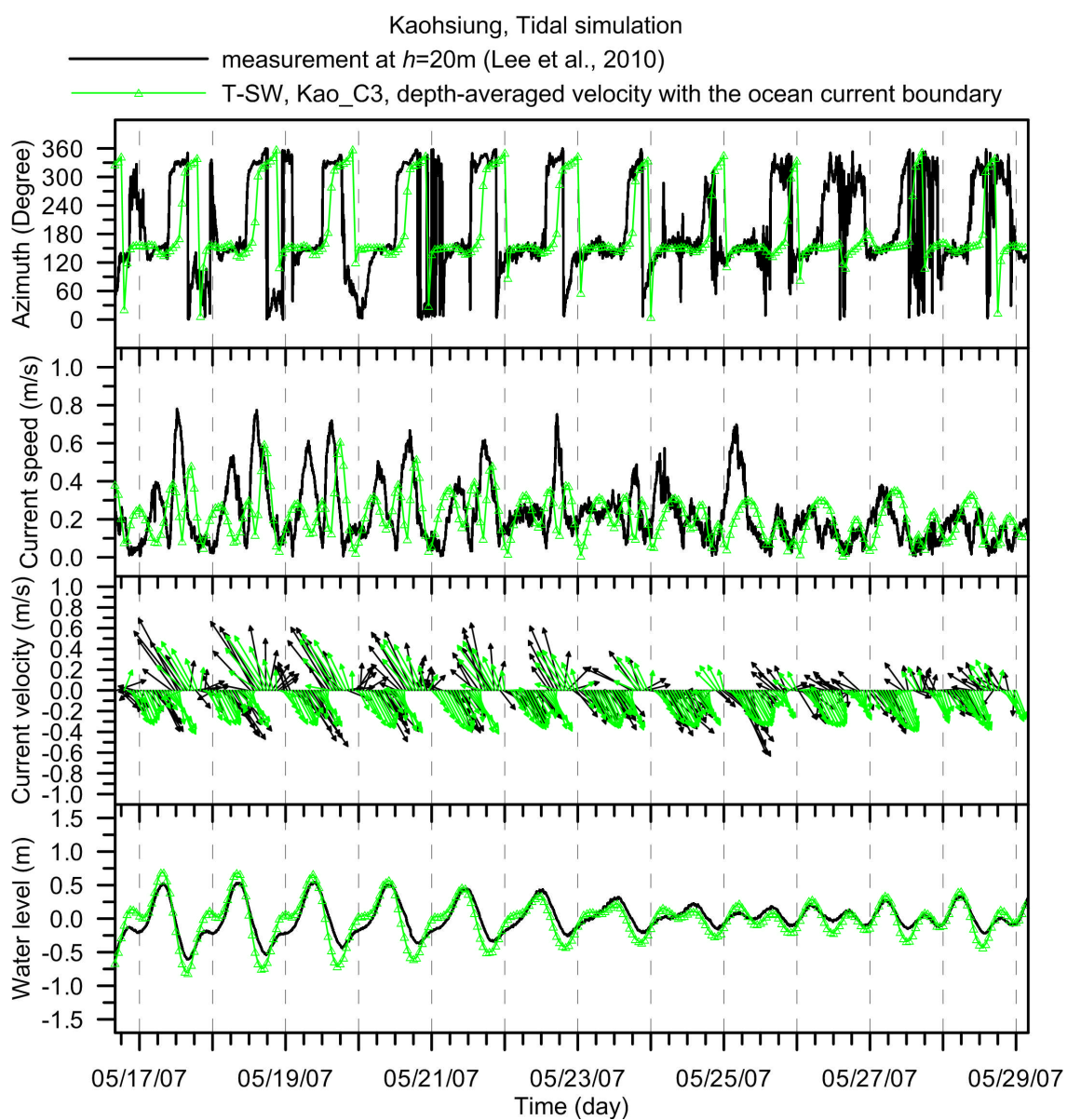


圖 4-61 臺灣西南計算海域(T-SW) 2007 年 05 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下) 時序驗證比較

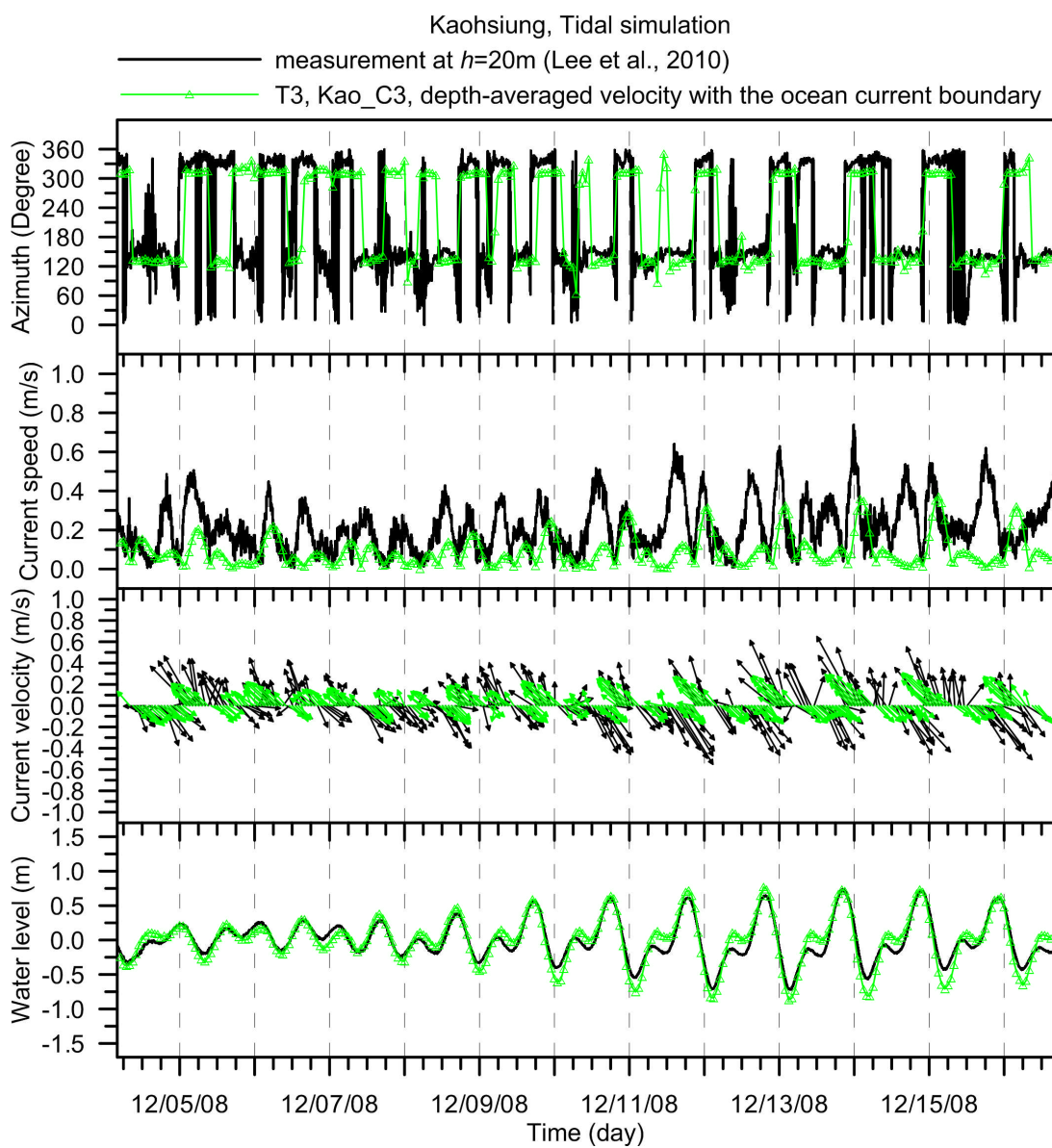


圖 4-62 臺灣四周計算海域(T3-1) 2008 年 12 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下) 時序驗證比較

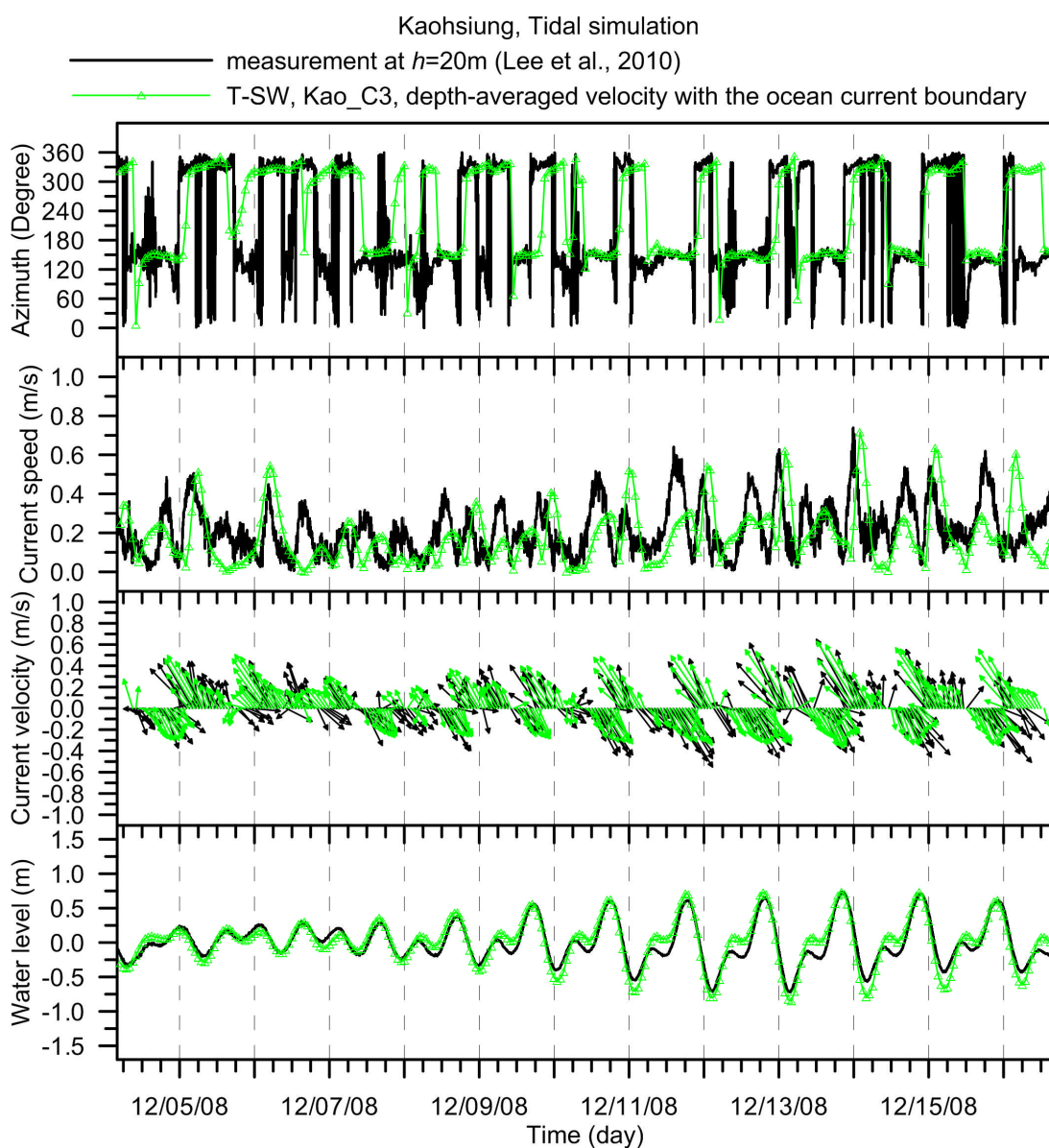


圖 4-63 臺灣西南計算海域(T-SW) 2008 年 12 月實測與綜合考量洋流與潮汐效應所得計算海流之流向(上)、流速(中上)、流矢(中下)及潮位(下)時序驗證比較



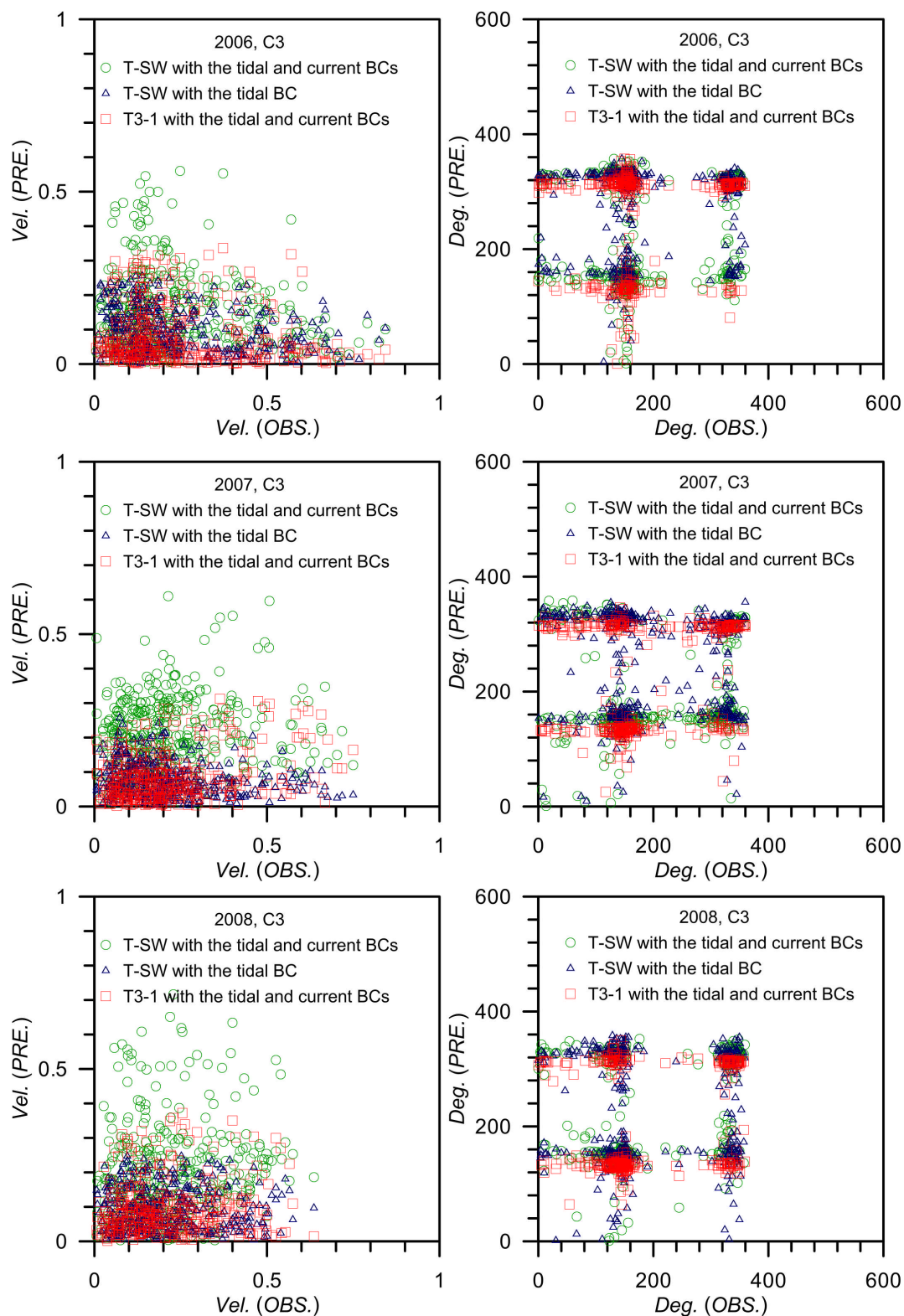


圖 4-64 高雄中洲近岸海域 C3 海流測站 2006/11(上)、2007/05(中)、2008/12(下)之實測(橫軸)與計算(縱軸)海流流速(左)與流向(右)相關圖

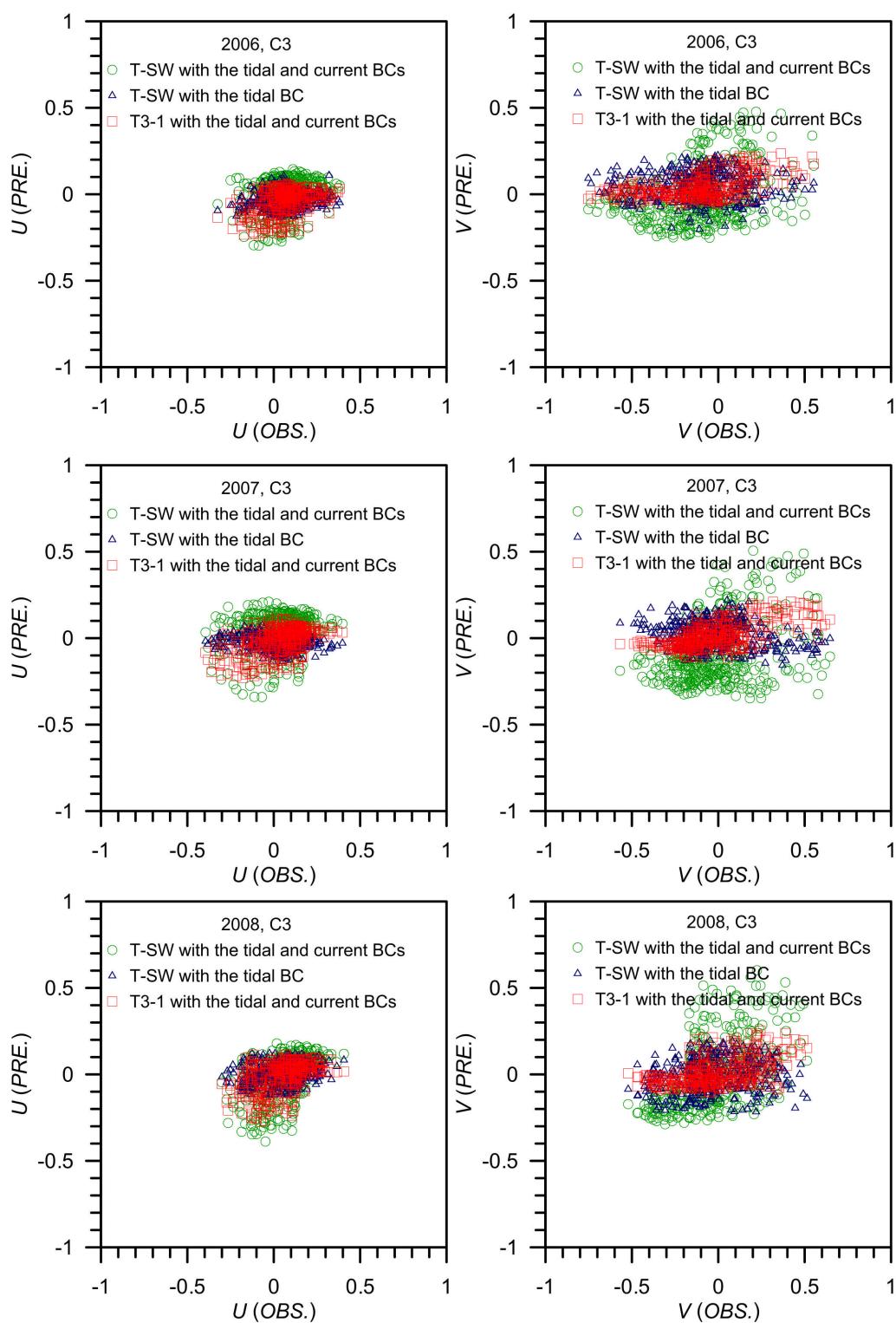


圖 4-65 高雄中洲近岸海域 C3 海流測站 2006/11(上)、2007/05(中)、2008/12(下)之實測(橫軸)與計算(縱軸)海流流速東—西向分量(U；左)與南—北向分量(V；右)相關圖



## 第五章 結論與建議

### 5.1 研究目的與問題簡述

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

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮，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。

本研究課題，與海洋資水水溫源的開發及海洋能源永續發展利用息息相關，其不僅具有本土化特色，更與海洋國家長期性、全面性、總體性的海岸保育策略關聯密切。因此，本研究之推展與深化，不僅將有助於適合本土性自然工法及先期水海環境資源保育技術之研發，最重要的，尚可有效提昇近岸海域海水資源管理與防救災科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵。

本研究全程研究之總目標，主要在針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，透過引進建置美國普林斯頓大學新進發展公開之海洋數值模式 POM (Princeton Ocean Model)，利用其三維模式的特性，建立作業化的程序，透過數值模式的應用，完成臺灣鄰近海域的洋流模擬，再藉實測資料，檢驗分析洋流特性，從而達成港灣及海岸水動力

數值模擬之應用，研究港灣及海岸水理，改善港灣環境，維護海岸穩定，配合採行「自然生態工法」策略，厚植近岸防災預警與風險管理机制之關鍵技術，精進災害風險評估系統，補充既有地球環境科技監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升近岸海域災害應變與預警能力，達成「藍色國土」之保育，促進領海資源之「永續經營及利用」。

## 5.2 結論

針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，本研究延續應用第一年所建構之 POM 三維海洋環流模式，在巢狀格網配置下，本年度結合具較細時空解析度之國際海洋海氣象資料庫資源，現階段已可順利進行臺灣鄰近海域的海流模擬。另外，在綜合考量洋流與潮汐效應下，透過臺灣東部海域黑潮流量與其主流離岸寬度特性及臺灣鄰近海域及高雄近岸海域錨碇實測海流資紀錄之驗證，概略確認本研究所建構之海流模式，在臺灣近岸海域之海流模擬計算上，具有可接受之準確性及應用性。主要之研究結論，綜述如后：

- (1) 應用 POM 模式，計算海域採用巢狀格網架構，母子格網緩衝區並應用邊界推進(nudging)技術，再結合較高時空解析度之海氣象資料庫作邊界及初始趨動力設定，本研究因此可較準確地模擬計算臺灣鄰近海域之黑潮及其套流之海流特性。
- (2) 臺灣東部海域模擬計算之黑潮海流，在主流最大流速、寬度及離岸距離等特性上，均與相關研究或觀測結果相近似。其中，主流最大表面流速約 1.0~1.5 m/s；主流離岸距離約 80 公里；主流寬度約 100 公里；在水深 300 米處，流速尚約有 0.3 m/s；流量穩定，月平均流量約  $23.2 \pm 5$  Sv，且冬季期間較小，而夏季期間較大。至於臺灣海峽內之海流流量，月平均流量約  $3.1 \pm 1.5$  Sv，冬季期間，月平均流量甚至可小於 1.0 Sv。

- (3) 臺灣東部海域垂直海岸之水深斷面上，其年、月、季模擬計算之平均溫、鹽度，稍低於實測值，但總體分布特性均仍與實測相近似，其中，臺灣東部花蓮外海水深 20 米處之溫度，夏秋季出現之最高溫約  $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ ，但隨著深度增加，月平均最高溫度有略往秋季延遲之趨勢，而在水深 500 米以下，溫度之月季變化將趨於不明顯。至於鹽度之變化，海表面鹽度之變化在黑潮流量最低之秋冬季期間達到最高，但水深在 100 米以下時，鹽度之月、季變化已趨於不明顯。
- (4) 基於實測與計算浮標追蹤之流跡驗證結果，確認計算海域採用較細解析度之空間網格，可得較準確之浮標追蹤流跡。而現況本研究在臺灣鄰近計算海域之空間網格解析度約為  $1/16^{\circ}$ ，即約為 6 公里。
- (5) 基於臺灣東南部海域及臺灣海峽中段海域錨碇海流各水深層實測流速與流向之逐時變動特性驗證結果，確認本研究模擬計算所得之日平均海流，雖然現階段尚無法準確模擬計算錨碇點位上海流之逐時變動特性，但就日平均流速大小之時序變動趨勢而言，實測與計算海流彼此間仍具近似性且可相互對照比較。
- (6) 針對臺灣四周計海域範圍(T3-1)，本研究在臺灣東部海域海表面所模擬計算之海流流場，其與現階段尚未準確校驗之岸基測流雷達(CODAR)實測結果相驗證，可見其彼此間具有相似的空間分布特性，因此，儘管計算海流流速與實測比較具有徧大趨勢，但計算海流在未來應用上，預期可提供 CODAR 校驗之全平面充分詳細資訊。
- (7) 針對臺灣西南部高雄中洲近岸海域特殊之實測海流特性，本研究在單純考量潮汐之漲退效應下，確認計算海流不足以準確描述實測海流隨潮汐逐時變動之特殊性；而在綜合洋流與潮汐效應下，採用適當細緻之空間網格解析度( $1/64^{\circ} \approx 1.5$  公里)，則

所得之計算海流特性，包括流速大小與流向之時序變化，均可概略與實測相近似。

- (8) 在巢狀格網架構之各次網格計算海域範圍中，僅管其起始與邊界條件資料皆直接萃取並沿用自上層母網格海域，但原始用以趨動模式之風力、氣壓、及海水溫鹽度等水動力海氣象資料庫，皆僅具特定的時空解析度(時間解析度最小為日平均；空間解析度最小為 1.0 分 $\approx$ 1.85 km)，故計算海流，現況尚難以與實測海流作逐時之時序驗證，而僅能就其日平均變動特性作近似性之對照比較。

### 5.3 建議

- (1) 由於洋流之模擬計算，需要長時間之數值積分與大量計算儲存空間，而本研究在既有電腦計算資源之限制下，所建置之模式及所完成之模擬計算，時空解析度均較粗略，未來待電腦計算資源與能量增加，在臺灣鄰近海域，預期應可得到更客觀準確的詳細海流模擬計算結果。
- (2) 本研究利用四層巢狀格網架構，藉以提高計算海域範圍之空間解析度，惟巢狀格網架構之計算方式與計算步驟甚繁複，且需要大量資料儲存空間與計算時間，因此，未來若個人電腦之計算效能可提昇，則應可朝平行計算或非結構型格網方式來減少計算步驟與模擬所需之計算時間。
- (3) 在臺灣鄰近海域，當數值模式之格網範圍減小、空間解析度提高時，模擬計算所得之特徵海流特性，相對地也異形詳細，故而現階段之初步成果，尚有待蒐集更多的實測資料，藉以驗證模式，從而提昇海流模擬之準確度。
- (4) 政府在海岸及海洋領域的科研重點，近年來偏重在近岸颱風期間的防災預警與風險管理機制之建立，對於海岸及海洋具時空

大尺度特性的防災預警基礎科研課題及人力與物力等資源的投注，尚甚欠缺長期持續性、全面性的總體規劃。為配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，本研究因此建議應強化規劃應用海洋水動力數值模擬科技之學能，並充實既有水海資源資料庫之基本資訊，藉以掌握臺灣鄰近海域海流之水動力特性，推展適合本土性的海洋能資源開發利用，研發先期水海環境保育與經理之關鍵技術，俾有效提昇近岸海域防救災相關科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵，落實國家海洋政策。

#### 5.4 研究成果之效益

- (1) 在學術成就(科技基礎研究)方面，發表國內外研討會學術論文 4 篇，並出版研究報告 2 冊。
- (2) 在技術創新成就(科技整合創新)方面：引進及應用國際培訓資源，建置專業整合環境，強化國際互動機制，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，提昇海洋科技－藍色科技之科研能力，落實跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，統合國科會海洋學門海洋水文資料庫、NCEP/NCAR 海表面分析風場、NCEP/NCAR 海平面大氣壓力、NOAA OI SST 及 ERSST 海面溫度、及 NODC WOA 海洋溫、鹽度等 5 大類型之海洋物理資料庫，並將相關資料應用於臺灣鄰近海域的海流模擬。
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：預期可促進深層海水及海流能源開發利用之相關產業，提昇品管及經理效能。強化海洋資源與能源資訊，敦節實施全面監測之人力及物力投注，提供政府及業界有關臺灣近岸海域深層海水水溫與水質之月季變動資訊，輔助海洋資源與能源開發利用之有效經理，強化防災效能，樽節應變、減災、救災的成本。
- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：透過臺灣四周近岸海域大尺度恆常海流特性的研究，可充分掌握大尺度長期性之海岸輸沙優勢方向，從順應長期性大平面範圍之自然海流水

動力輸運特性著手，避免對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，進而可配合採行「自然工法」策略，減少海岸災害防救各項人力、物力及財力等社會資源之投注，達成海岸保育與永續利用目標。

- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面:本研究引進及應用國際培訓資源，培育海洋專業人才，建置科技人才訓練與實習之專業學習環境，強化國際互動機制，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，強化海洋科技—藍色科技之科研能力，結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，強化跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，在國內自力完成臺灣鄰近海域之洋流流場模擬計算，相關成果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。此外，本研究尚具體配合政府推展「海洋國家」之策略目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海岸侵蝕治理之決策資訊，敦節海岸保育之人力及物力投注，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，精進災害風險評估系統，補充既有地球環境科技監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升近岸海域災害應變與預警能力。

## 5.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形

- (1) 試行綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬；建立臺灣鄰近海域海流數值模擬作業系統；探討臺灣鄰近海域海流之水動力特性，有效掌握臺灣鄰近海域海流水動力特性之季節性變化，俾利交通部、水利署、內政部、環保署、及縣市政府等從事海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)保育及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)開發利用之評估依據。
- (2) 建立並提供臺灣東部海域深層海水水溫水質季節性變化之資訊，俾利交通部、經濟部、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣東部海域深層海水開發之海洋物理特性評估。



- (3) 在臺灣四周海岸，建立綜合洋流與潮流效應之優勢海流作用力與大尺度之優勢輸沙方向，從順應長期性大平面範圍之自然海流水動力輸運特性著手，減少對自然海灘沖淤變遷過程之人為(非自然及小尺度)因素介入或干擾，藉以厚植維護海岸穩定及採行「近自然工法」策略之關鍵技術，提供臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之詳實影響評估資訊，俾利水利署、經建會、內政部、環保署、及縣市政府等從事臺灣海岸長期沖淤潛勢之影響評估。
- (4) 全面性與總體性地評估臺灣鄰近海域洋流對近岸潮流之影響，配合行政院推動海洋國家的長期性、全面性、總體性的海岸保育與防災策略，厚植臺灣維護海岸穩定之關鍵技術及採行「近自然工法」策略之依據。
- (5) 配合行政院構建海洋國家的目標，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，強化海洋科技－藍色科技之科研能力；依據國家科學技術發展計畫，補充既有地球環境科技監測體系的完整，推進本土化監測及評估關鍵技術之發展，推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。

## 參考文獻

1. Aikman, F., G. L. Mellor and D. B. Rao, T. Ezer, D. Shenin, K. Bosley and P. Chen (1996) "Toward an operational nowcast/forecast system for the U.S. east coast," *Modern Approaches to Data Assimilation in Ocean Modeling*, P. Malanotte-Rizzoli, Ed., Elsevier, pp. 347-376.
2. Amante, C. and B. W. Eakins, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, March 2009
3. Barron, C. N., A. B. Kara, R. C. Rhodes, C. Rowley and L. F. Smedstad (2007) *Validation test report for the 1/8° 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. Chen, C. T. A., C. T. Liu, W. S. Chuang, Y. J. Yang, F.-K. Shiah, T. Y. Tang, and S. W. Chuang, (2003) "Enhanced buoyancy and hence upwelling of subsurface Kuroshio waters after a typhoon in the southern East China Sea," *J. Mar. Sys.*, 42, pp.65-79.
8. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.

9. Ezer, T. and G. L. Mellor (1997) "Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model," *J. Geophys. Res.*, 102, pp. 15647-15657.
10. Ezer, T. (1999), "Decadal variabilities of the upper layers of the subtropical North Atlantic: An ocean model study," *J. Phys. Oceanogr.*, 29(12), pp. 3111-3124.
11. Ezer, T. and G. L. Mellor (2000) "Sensitivity studies with the North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32, pp. 155-208.
12. Hsin, Y.-C., C.-R. Wu and P.-T. Shaw (2008) "Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan, 1982-2005: A numerical study," *J. Geophys. Res.*, 113, C04002.
13. Kalnay et al. (1996) "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, pp.437-470.
14. Lardner, W. and H. M. Cekirge (1988) "A new algorithm for three- dimensional tidal and storm surge computation," *Appl. Math. Modelling*, 12, pp. 471-481.
15. Lee, I. H., Wang, Y. H., Liu, J. T., Chuang, W. S. and J. P. Xu (2009) "Internal tidal currents in the Gaoping (Kaoping) Submarine Canyon," *Journal of Marine Systems*, 76, pp.397-404.
16. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation," RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
17. Liang, W. D., T. Y. Tang, Y. J. Yang, M. T. Ko, and W. S. Chuang (2003) "Upper-ocean currents around Taiwan," *Deep-Sea. Res.*, II, 50, pp.1085-1105.
18. Liu, C. S., S. Y. Liu, S. E. Lallemand, N. Lundberg and D. Reed (1998) "Digital elevation model offshore Taiwan and its tectonic implications," *TAO*, Vol. 9, No. 4, pp.705-738.
19. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans," *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.

20. Martin, P.J. (2000) *Description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0*, NRL Report No. NRL/FR/7322/00/9962, 45pp.
21. Martin, P.J., G. Peggion, and K.J. Yip (1998) *A comparison of several coastal ocean models*, NRL Report No. NRL/FR/7322/97/9692, 96pp.
22. Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe (2000) "Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan," *J. Oceanogr.*, 56, pp. 567-581.
23. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
24. Mellor, G. L., S. Hakkinen, T. Ezer and R. Patchen (2002) "A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids," *Ocean Forecastings: Conceptual Basis and Applications*, Pinardl, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
25. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982) "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems," *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, pp. 851-875.
26. National Geophysical Data Center (2006) ETOPO2v2 data set, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html>.
27. Nihoul, J. C. J. (1977) "Three-dimensional model of tides and storm surges in a shallow well-mixed continental sea," *Dyn. Atmos. Oceans*, 2, pp. 29-47.
28. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985a) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part I: Description of the model and model simulations," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1676-1692.

29. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985b) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part II: Comparison with observation," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1693-1709.
30. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985c) "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part III: Salt flux analyses," *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1711-1720.
31. Oey, L. Y. (2005) "A wetting and drying scheme for POM," *Ocean Modelling*, 9, pp. 133-150.
32. Oey, L. Y. (2006) "An OGCM with movable land-sea boundaries," *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.
33. Park, K. and A. Y. Kuo (1993) "A vertical two dimensional model of estuarine hydrodynamics and water quality," *Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering*, 321, Virginia Institute of Marine Science.
34. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
35. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
36. Simons, T. J. (1974) "Verification of numerical models of Lake Ontario. Part I, circulation in spring and early summer," *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 507-523.
37. Smagorinsky, J., S. Manabe and J. L. Holloway (1965) "Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere," *Mon. Weather Rev.*, 93, pp. 727-768.
38. Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson and Jay Lawrimore (2008) "Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006)," *J. Climate*, 21, pp. 2283-2296.

39. Stelling, G. S., A. K. Wiersma and J. B. T. M. Willemse (1986) "Practical aspects of accurate tidal computations," *J. Hydr. Eng.*, ASCE, 112(9), pp. 802-817.
40. Tang, T. Y. and J. C. Ma (1995) "A note on the accuracy of shipboard ADCP on Ocean Research I," *Acta. Oceanogr.*, Taiwanica, 34, pp. 71-81.
41. Tang, T. Y., J. H. Tai, and Y. J. Yang (2000) "The flow pattern north of Taiwan and the migration of the Kuroshio," *Cont. Shelf Res.*, 20, pp.349-371.
42. Wang, D.-P. and L.-Y. Oey (2008) "Hindcast of waves and currents in Hurricane Katrina," *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, April, pp.487-495.
43. Wang, Y. H., Chiao, L. Y., Lwiza, K. M. M. and D. P. Wang (2004) "Analysis of flow at the gate of Taiwan Strait," *J. Geophys. Res.*, 109, C02025. doi:10.1029/2003JC001937.
44. Wu, C. R., Tang, T. Y. and S. F. Lin (2005). "Intra-seasonal variation in the velocity field of the northeastern South China Sea." *Continental Shelf Research*, 25, 2075-2083.
45. Wu, C. R. and Y. C. Hsin (2005). "Volume transport through the Taiwan Strait: A numerical study." *Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences, TAO*, 16(2), 377-391.
46. Wu, C. R. and C. W. J. Chang (2005). "Interannual variability of the South China Sea in a data assimilation model." *Geographical Research Letters*, 32, L17611, 4pp.
47. Wu, C.-R., S.-Y. Chao and C. Hsu (2007) "Transient, seasonal and interannual variability of the Taiwan strait current," *J. Oceanogr.*, 63, pp.821-833.
48. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
49. 林勝豐、楊穎堅、唐存勇 (1995) 「臺南近海 M2 潮流及淨流之三度空間分佈」，第 17 屆海洋工研討會論文集，pp.1479-1489.
50. 吳仁友 (1997)，「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。



51. 陳陽益、許弘莒、許志宏 (1998), 「海潮流軌跡之數理推測與實測」, 第二十屆海洋工程研討會論文集, 基隆, 71-79。
52. 林政偉 (1999), 「感潮河段之計算研究」, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
53. 莊文傑 (2000), 「臺灣海峽潮波協振盪之研究」, 國立臺灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。
54. 莊文傑、江中權 (2000), 「台灣四周海域海流數值模擬研究」, MOTC-IOT-IHMT-NA8916 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 282 頁。
55. 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。
56. 王玉懷 (2002), 「臺灣海峽流量知多少」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.132-136。
57. 詹森 (2002), 「全方位探索臺灣海峽」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.127-131。
58. 劉康克 (2002), 「認識臺灣附近的海洋環境」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.102-111。
59. 葉姍霈 (2002), 「臺灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」, 國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。
60. 莊文傑、江中權 (2002), 「台灣四周海域海流數值模擬研究(二)—高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」, MOTC-IOT-IHMT-NA9017 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 182 頁。
61. 郭金棟 (2004), 「海岸保護—海岸環境創造序論」, ISBN: 9576553814, 科技圖書, 共 439 頁。
62. 盧鴻復、吳朝榮 (2005), 「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」, 海洋技術在軍事上應用(三)專輯, 海洋技術, 第十四卷, 第四期, pp.8-14。

63. 張育綾、吳朝榮、陳陽益 (2006), 「納莉颱風強度變化與黑潮之關係」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.301-306。
64. 江紫綾、吳朝榮、李忠潘 (2006), 「呂宋海峽渦流之脫離與運動」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.331-336。
65. 盧鴻復、吳朝榮、李忠潘 (2007), 「臺灣東北海域湧升流之時空變化」, 第 29 屆海洋工程研討會論文集, 國立成功大學, 臺灣海洋工程學會, pp.613-618。
66. 徐泊樺、顏志偉 (2007), 「淺談我國海洋能源之開發前景」, 物理雙月刊, 第 29 卷, 第 3 期, pp.718-726。
67. 莊文傑 (2008), 「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(1/2)－臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」, MOTC-IOT-96-H3DA002 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 200 頁。
68. 莊文傑 (2009), 「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)－臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬」, MOTC-IOT-97-H3DA002 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 140 頁。
69. 廖建明、莊文傑、許泰文 (2009), 「臺灣鄰近海域洋流模擬之初步探討」, 第 31 屆海洋工程研討會論文集, 國立中興大學, 臺灣海洋工程學會, pp.609-614。
70. 李忠潘等人 (2010), 「中區汙水處理廠填海造陸工程環境監測計畫-海域環境調查」, 四年期計畫報告書稿, 國立中山大學。
71. 林勝豐、張恆文 (2010), 「POM 海洋模式在東部海域之應用研究」, 2010 天氣分析與預報研討會暨第 5 屆國際海洋大氣研討會論文集, 中央氣象局, pp.59-64。
72. 莊文傑、廖建明 (2010), 「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(1/4)－POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」, MOTC-IOT-98-H3DA004 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 142 頁。
73. 廖建明、莊文傑、許泰文、何興亞 (2010), 「台灣西南海域海潮流模擬與特性探討」, 第 32 屆海洋工程研討會論文集, 國立臺灣海洋大學, 臺灣海洋工程學會, pp.609-614。
74. 國立臺灣大學海洋研究所海流數值模擬, <http://140.112.65.17/odbs/Achievement/numerical/main.html>, 台北, 臺灣, 中華民國。
75. 行政院國家科學委員會海洋學門資料庫, <http://www.odb.ntu.edu.tw/wordpress/>。

## **附錄 1 POM 模式操作手冊**

### **POM 模式操作手冊**

## 一、前言

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

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

## 二、模式架構

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

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

的指令，使用者可藉此區別不同的用途。

## 2.1 模式檔案與目錄架構

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

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

f、for、f90：Fortran 程式語言檔。

sh：Linux 作業系統中 BASH 環境之命令腳本檔。

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

in：為程式執行所需的命令檔，其格式為文字檔。

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

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

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

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

至於各目錄之用途與包含的主要應用程式，則分別說明如下，

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Topography**：目錄中為地形資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置



處理程式進行地形資料庫的處理。

**omap**：目錄中為 NAO99b 模式運算時所須的潮位資料庫。

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

(3) **src** 目錄：包含各種程式的原始碼。

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

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

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

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

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

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

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

**inp**：其目錄中放置本計算方案的資料輸入檔，計算模擬所需設定檔則是放置在此目錄，而 *prepom.exe* 運算後的資料檔也是放置在此目錄中。此目錄中亦包括 **wind**、**slp**、**sst**、**topo** 與 **omap**

等目錄，其利用目錄連結方式將 **data** 目錄中之海氣象與地形資料庫進行連結。

## 2.2 編譯與安裝

### 2.2.1 POM 模式之安裝

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

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

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

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

Intel Fortran 之設定為：

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

PGI Fortran 之設定為：

F90 = pgf90 或 pgfortran

FLAGS\_OPT = -O2 -mp -I\$(NETCDF)/include

FLAGS\_MSC = -DCOARDS

GNU Fortran 之設定為：

F90 = gfortran

FLAGS\_OPT = -O2 -fopenmp -I\$(NETCDF)/include

FLAGS\_MSC = -DCOARDS

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

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

```
> createproj.sh project
```

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

腳本自動建立之 *namelist.pom*、*project.in* 與 *grid.h* 等檔案之意義則於下節中分別說明。而模式執行前必須將模式中可執行程式進行編譯，編譯方式可由 *maketools.sh* 命令腳本完成，其作用在於編譯 *prepom.exe*、*ncmean.exe* 與 *ncread.exe*，編譯完成後命令腳本會自動將程式安裝於模式安裝目錄中的 **bin** 目錄。在命令模式下執行：

```
> maketools.sh
```

即可完成上述工具程式的編譯。

### 2.2.2 Intel Fortran 安裝說明

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

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

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

### 2.2.3 NetCDF 安裝說明

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

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

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

### 2.2.4 GMT 安裝說明

GMT (Generic Mapping Tools)為美國 NSF 所支援開發之開放源碼軟體，其官方網站網址為 <http://gmt.soest.hawaii.edu/>，最新版本為 4.5.1。GMT 為受科學界歡迎之資料處理與繪圖軟體，其中包含 60 餘種之資

料處理與繪圖方式，亦支援 30 餘種地圖座標呈現，其具有高度彈性可供使用者做為資料後置處理之軟體。使用者可至官方網站之程式下載區(DOWNLOAD)下載 `install_gmt` 程式，於命令列模式中執行

```
> ./install_gmt
```

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

```
export GMTHOME=/opt/GMT
```

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

#### 2.2.5 NCL 安裝說明

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

```
export NCARG_ROOT=/opt/ncarg
```

```
export NCARG_BIN=$NCARG_ROOT/bin
```

```
export NCARG_LIB=$NCARG_ROOT/lib
```

```
export NCARG_INCLUDE=$NCARG_ROOT/include
```

```
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:  
$NCARG_ROOT/lib
```

```
export PATH=$PATH:$NCARG_BIN
```



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

其中目錄/opt/ncarg 為解壓縮後安裝位置之路徑。

### 三、程式說明

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

#### 3.1 前置處理程式

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

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

```

# 地形資料設定。第一參數為資料庫檔案名稱，如為 ETOPO2.nc 則
# 表示使用 Etopo2 地形資料庫。使用者可自行定義地形資料名稱，如輸入不
# 同的檔案名稱則會經由 topobyuser.f90 的 Fortran 程式輸入地形資料，
# 使用者可自行定義資料。第二參數為將地形資料內插至計算格網後存放的資料
# 檔案名稱，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於 1.0 表示不
# 進行地形水深之平滑化。
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET  OUTPUT_FILENAME  SLMAX)
#
ETOPO2.nc  topo.inp  2.0
#
# POM 模式水位邊界資料。第一參數為潮位資料庫之選擇，現僅有 nao99b
# 與 none 兩種輸入選擇，若選擇 nao99b 則 prepom.exe 程式會呼叫 NAO99 模式進行
# 潮位邊界之計算，輸入 none 則表示不處理潮位邊界資料。第二參數
# 為水位邊界輸出檔名。第三參數為水位邊界資料檔之時間間距，單位為天。
# ETA (INPUT_DATASET  OUTPUT_FILENAME  TIME_INTERVAL)
#
nao99b  eta.inp  0.04166
#
# POM 模式大氣壓力邊界資料。第一參數為大氣壓力資料庫的選擇，現
# 僅有 ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm、
# none 與 user 等六種輸入選擇，若選擇 ncep_reanalysis_mon 則會選擇 NCEP 月平均
# 海面氣象資料庫，輸入 none 則表示不處理大氣壓力邊界資料，輸入 user 使用者必須
# 自行更改 slpbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為
# 大氣壓力輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SLP (INPUT_DATASET  OUTPUT_FILENAME  TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_mon  slp.inp  31
#
# POM 模式風場邊界資料。第一參數為風場資料庫的選擇，現僅有
# ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm 與 none
# 與 user 等六種輸入選擇，若選擇 ncep_reanalysis_mon 則會選擇 NCEP 月平均海面
# 氣象資料庫，輸入 none 則表示不處理風場邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更改
# windbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為風場輸
# 出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# WIND (INPUT_DATASET  OUTPUT_FILENAME  TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_mon  wind.inp  31
#
# POM 模式海面溫度邊界資料。第一參數為海面溫度資料庫的選擇，現僅有
# noaa_ersst_ltm、noaa_ersst_mon、noaa_oisst_week、noaa_oisst_ltm 與 none 與 user
# 等五種輸入選擇，若選擇 noaa_ersst_mon 則會選擇 NOAA Extended Reconstructed
# 月平均海面溫度資料庫，輸入 none 則表示不處理海面溫度邊界資料，輸入 user 使用
# 者必須自行更改 sstbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二
# 參數為海面溫度輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SST DATA (INPUT_DATASET  OUTPUT_FILENAME  TIME_DURATION)
#
noaa_ersst_mon  sst.inp  31
#
# POM 模式鹽溫度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的鹽度資料檔，
# s00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正

```

```

# salbyuser.f90 程式。第二參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的溫度資料檔，t00an1 為
# 全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正 tempbyuser.f90
# 程式。第三為輸出資料檔檔名。
# STATE
# (SALINITY_DATASET TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1 t00an1 state.inp
#
# POM 模式流場初始資料。現不可使用，請設定為 none。
# INIT (INPUT_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
none init.inp
#
# POM 模式巢狀母格網之設定，如本計算方案為某一計算方案之巢狀子格網，請於此處
# 設定巢狀格網資訊。第一參數為巢狀母格網計算方案中 POM 模式計算所之 NetCDF
# 資料輸出檔，為了節省磁碟空間通常以 link 形式連結至本計算方案之 inp 目錄。第二
# 參數為外模式之流速與水位邊界條件處理，輸入 1 表示處理，輸入 0 表示不處理。
# 第三參數為內模式之鹽溫度與流速邊界 nudging 處理，輸入 1 表示處理，輸入 0 表示
# 不處理。
# NEST (INPUT_NC IUA I3D IHALO)
#
pom2k.nested.nc 1 1 10
#
# 海面邊界條件輸入，尚未測試完成，現不可使用。
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET OUTPUT TIME_DURATION)
#
none sflx.inp 0.0
#
# END OF CONFIG
#

```

*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。

### 3.2 主程式 **pom2k.exe**

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

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

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

```
&params
C Input of filenames and constants:
C
C-----
C 計算方案名稱，可自由設定
C
      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
      netcdf_file='pom2k.nc' ! netCDF output file
C      netcdf_file='nonetcdf' ! disable netCDF output
C
C-----
C
C      Problem number:
```

```

C
C      iproblem      problem      initialisation
C                   type          subroutine
C           1      seamount      seamount
C           2      conservation  box
C                   box
C           3      IC from file   file2ic
C 計算方案編號，預設值為 5，請勿更改
C
C      iproblem=5
C
C-----
C
C      mode          description
C      2      2-D calculation (bottom stress calculated in advave)
C      3      3-D calculation (bottom stress calculated in profu,v)
C      4      3-D calculation with t and s held fixed
C 計算模式，設定為 2 表示二維模式，3 為三維模式，4 為三維模式溫度鹽度為定值
C      mode=3
C
C-----
C
C      Advection scheme:
C
C      nadv      Advection scheme
C      1      Centred scheme, as originally provide in POM
C      2      Smolarkiewicz iterative upstream scheme, based on
C              subroutines provided by Gianmaria Sannino and Vincenzo
C              Artale
C 水平對流項的數值技巧，預設值為 1
C
C      nadv=1
C
C-----
C
C      Constants for Smolarkiewicz iterative upstream scheme.
C
C      Number of iterations. This should be in the range 1 - 4. 1 is
C      standard upstream differencing; 3 adds 50% CPU time to POM:
C 改善水平對流項數值技巧穩定度的選項，預設值為 2
C
C      nitera=2
C
C      Smoothing parameter. This should preferably be 1, but  $0 < sw < 1$ 
C      gives smoother solutions with less overshoot when nitera > 1:
C 改善數值結果之平滑參數，預設值為 0.5
C
C      sw=0.5e0
C
C-----

```

```

C
C      Index to indicate whether run to start from restart file
C      (nread=0: no restart input file; nread=1: restart input file):
C 是否進行重新執行的選項，預設值為 1，請勿更改
C
C      nread=1
C
C-----
C
C      External (2-D) time step (secs.) according to CFL:
C 二維模式的計算時間間距，單位為秒。請依照數值穩定條件進行更改，其值會過大會
C 使程式發散。請注意，由 pom.prn 輸出的資訊中可判斷最適當的最大值
C
C      dte=5.0e0
C
C-----
C
C      <Internal (3-D) time step>/<External (2-D) time step>
C      (dti/ dte; dimensionless):
C 三維模式的計算時距，單位為次數。如設定 60，表示 dti=dte*isplit=300 秒，
C 建議值為 30 至 80
C
C      isplit=60
C
C-----
C
C      Date and time of start of initial run of model in format (i.e.
C      UDUNITS convention)
C
C      YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C      where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C      Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time
C      axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C      real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C      and time as required:
C 計算起始時間，請依照計算方案設定
C
C      time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----
C 計算時間延時
C
C      days=31.e0      ! run duration in days
C
C-----
C 起始輸出資料間距，單位為天
C
C      prtd1=12.0 / 24.0  ! Initial print interval (days)
C

```



```

C-----
C 最後輸出資料間距，單位為天
C
C      prtd2=12.0/24.0          ! Final print interval (days)
C
C-----
C 由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
C      swtch=1000.e0          ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----
C 設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C
C      iskp=5                  ! Printout skip interval in i
C
C-----
C 設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
C      jskip=5                 ! Printout skip interval in j
C
C-----
C
C      Logical for inertial ramp (.true. if inertial ramp to be applied
C      to wind stress and baroclinic forcing, otherwise .false.)
C 是否使邊界條件漸進式啟動，可避免數值不穩定，預設值為.false.
C
C      lramp=.false.
C
C-----
C
C      Reference density (recommended values: 1025 for seawater,
C      1000 for freshwater; S.I. units):
C 水體密度參考值，預設值海水預設為 1025，淡水為 1000
C
C      rhoref=1025.e0
C
C-----
C 水體溫度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C      tbias=10.e0             ! Temperature bias (deg. C)
C
C-----
C 水體鹽度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C      sbias=35.e0             ! Salinity bias
C
C-----
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
C      grav=9.806e0            ! gravity constant (S.I. units)

```

```

C
C-----
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
C      kappa=0.4e0      ! von Karman's constant
C
C-----
C 底床粗糙度，其值會影響底床磨擦力大小，預設值為 0.01
C
C      z0b=.01e0      ! Bottom roughness (metres)
C
C-----
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
C      cbcmin=.0025e0      ! Minimum bottom friction coeff.
C
C-----
C 最大底床摩擦係數，預設值為 1.0
C
C      cbcmax=1.e0      ! Maximum bottom friction coeff.
C
C-----
C 水平擴散係數，預設值為 0.2，合理範圍為 0.1 至 0.2
C
C      horcon=0.2e0      ! Smagorinsky diffusivity coeff.
C
C-----
C
C      Inverse horizontal turbulent Prandtl number
C      (ah/am; dimensionless):
C
C      NOTE that tprni=0.e0 yields zero horizontal diffusivity!
C Pradtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
C
C      tprni=.2e0
C
C-----
C
C      Background viscosity used in subroutines profq, proft, profu and
C      profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C      umol=2.e-5
C
C-----
C
C      Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C      bcond (metres):
C 計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C 分佈設定一恰當之值

```

```

C      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
C      Maximum magnitude of vaf (used in check that essentially tests
C      for CFL violation):
C 最大可能的流速，單位為每秒公尺。大於此值則會終止程式運算
C
C      vmaxl=100.e0
C
C-----
C
C      Maximum allowable value of:
C
C      <difference of depths>/<sum of depths>
C
C      for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C      slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:
C 地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
C      slmax=2.e0
C
C-----
C
C      Integers defining the number of logarithmic layers at the
C      surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C      logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
C      at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C 垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C 數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定。
C 預設 Kl1=0.3*kb; kl2=kb-2
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 prof:
C
C      nbct      prescribed      prescribed      short wave
C                temperature      flux      penetration
C      1          no              yes              no
C      2          no              yes              yes
C      3          yes             no               no
C      4          yes             no               yes
C 海面溫度邊界條件，在 POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
C      nbct=3
C
C-----
C
C      Surface salinity boundary condition, used in subroutine prof:
C
C      nbcs      prescribed      prescribed
C                salinity      flux
C      1          no              yes
C      3          yes             no
C
C      NOTE that only 1 and 3 are allowed for salinity.
C 海面鹽度邊界條件，在 POM 模式中預設為 1，請勿更動
C
C      nbcs=1
C
C-----
C
C      Step interval during which external (2-D) mode advective terms are
C      not updated (dimensionless):
C 對流項更新時間間距，單位為次數。其值可改善數值穩定性，預設值為 5
C
C      ispadv=5
C
C-----
C
C      Constant in temporal filter used to prevent solution splitting
C      (dimensionless):
C 平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性，預設值為 0.1
C

```

```

C      smoth=0.10e0
C
C-----
C
C      Weight used for surface slope term in external (2-D) dynamic
C      equation (a value of alpha = 0.e0 is perfectly acceptable, but the
C      value, alpha=.225e0 permits a longer time step):
C      權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性，預設值為 0.225
C
C      alpha=0.225e0
C
C-----
C
C      Initial value of aam:
C      起始水平擴散項之值，預設值 500
C
C      aam_init=500.e0
C
C      End of input of constants
&end

```

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，在研究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。在模式執行後會輸出 *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啟資料檔，若程式

啟動時若有 *restart.71*(由 *fort.71* 更名)存放於計算目錄中則 *pom2k.exe* 程式會自動讀入，使用者不須設定。而 *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。

### 3.3 後置處理程式

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

```
# ncread.nml 檔案說明
#
# CGRID 段落為描述之 POM 模式之 NetCDF 格式輸出檔案資訊
# NCFILE 為檔案名稱
# TSKIP 為讀取時間間距
# IDATE 為起始時間，格式為 YYYYMMDDHH
# TOFST 為平移時間，可用於 UTC 時間與臺灣時間之轉換
# OUT3D 為 3D 變量輸出選擇，其值為.TRUE.表示輸出三維變量
#
&CGRID
  NCFILE = 'pom2k.nc',
  TSKIP = 1,
  IDATE = '1995120100',
  TOFST = 0,
  OUT3D = .FALSE.,
&END
#
# SITE 段落為單點測站輸出，程式會自動找尋最靠近測站座標的格網點輸出資訊
# SITENO 測站點數，如設定為 0 表示不輸出
# SITEX 為測站 x 方向座標，請依序測站排列
# SITEY 為測站 y 方向座標，請依序測站排列
# SITEN 為測站名稱，請依序測站排列，可自由輸入字串表示該測站，程式會依該測站
#名稱作為檔名輸出
#
&SITE
  SITENO = 4
  SITEX = 121.40 120.85 120.25 120.07
  SITEY = 25.40 24.75 23.90 23.21
  SITEN = 11 12 13 14
&END
```



```

#
# S2LEVEL 為垂直方向座標變換選項，會將 sigma 座標變量內插輸出於 z 座標上
# NLEV 為 z 座標層數，如設定為零表示不使用
# LEVELS 為水深值，單位為公尺
#
&S2LEVEL
  NLEV = 25
  LEVELS = 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0,
            70.0, 80.0, 90.0, 100.0, 110.0,
            120.0, 130.0, 140.0, 150.0, 160.0,
            170.0, 180.0, 190.0, 200.0, 210.0,
            220.0, 230.0, 240.0, 250.0, 260.0,
&END
#
# NESTOUT 為巢狀格網輸出選項，可利用該選項輸出子格網的流速與水位邊界條件
# NGRID 為子格網地形格網，與母網格使用相同格式
# 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.nc -Opom2k.mean.nc
```

其中-I 參數後為輸入之資料檔名，-O 參數後為輸出檔名。

### 3.4 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

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

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

```
> ncl ncl_script.ncl
```

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

附表 1 NCL 命令腳本與圖形對照表

| NCL 命令腳本名稱                                                                        | 可產生之圖型或圖號               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>pom_pltHeight_global_sst_Orthographic.ncl</i>                                  | 全球海表面溫度圖                |
| <i>pom_pltHeight_global_elb_Orthographic.ncl</i>                                  | 全球海表面水位圖                |
| <i>pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn.ncl</i><br><i>pom_pltHeight_0m_nwpo.ncl</i>     | 全球及北太平洋海域表面流場圖          |
| <i>pom_pltHeight_600m_global_ZoomIn.ncl</i><br><i>pom_pltHeight_600m_nwpo.ncl</i> | 全球及北太平洋海域 600 米深層之流場圖   |
| <i>pom_pltHeight_0m_nwpo_ZoomIn.ncl</i><br><i>pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl</i>     | 北太平洋及臺灣鄰近海域表面流場圖        |
| <i>pom_pltHeight_600m_nwpo_ZoomIn.ncl</i><br><i>pom_pltHeight_600m_taiwan.ncl</i> | 北太平洋及臺灣鄰近海域 600 米深層之流場圖 |

|                                                                                                |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <i>pom_pltSection_taiwan.ncl</i><br><i>pom_pltSection_600m_taiwan.ncl</i>                      | 垂直臺灣東岸特定斷面<br>之流場圖 |
| <i>pom_pltHeight_diff.ncl</i>                                                                  | 全球流場差值圖            |
| <i>pom_pltHeight_0m_tide.ncl</i>                                                               | 臺灣海域含潮流場圖          |
| <i>pom_pltHeight_600m_tide.ncl</i>                                                             | 臺灣海域含潮流場圖          |
| <i>pom_pltHeight_0m_tide_current.ncl</i>                                                       | 含潮流場比較圖            |
| <i>pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn2N2.ncl</i><br><i>pom_pltHeight_300m_global_ZoomIn2N2.ncl</i> | 圖 4-6              |
| <i>pom_pltHeight_0m_nwpo_ZoomIn2N1.ncl</i><br><i>pom_pltHeight_300m_nwpo_ZoomIn2N1.ncl</i>     | 圖 4-7              |
| <i>pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl</i><br><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             |

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

## 五、操作範例說明

以本研究第四章臺灣鄰近海域之洋流模擬為例，說明模式由 G1、N2 至 T2 模式之執行流程，而計算方案依序命名為 *global\_g1*、*nwpo\_n2* 與 *taiwan\_t2*。為便於了解所有流程，利用條列式說明讓使用者可按步驟逐一操作。以下為各步驟之說明：

1. 依據本操作手冊之模式安裝說明，設定 POM 模式環境變數。
2. 於終端機視窗中執行 *createproj.sh* 命令腳本，建立 *global\_g1* 計算方案之設定與目錄環境。於提示符號後輸入：

```
> createproj.sh global_g1
```

出現交談式選單，輸入 *global\_g1* 之計算條件，如附表 2 中所示。

3. 完成交談式輸入之後，在安裝目錄中即會出現 **global\_g1** 目錄，而該目錄中會出現 **inp** 與 **bin** 目錄與 *namelist.pom.tmp*、*grid.h* 等檔案，**inp** 目錄中會出現 *global\_g1.copy* 之 *prepom.exe* 之輸入檔，**bin** 目錄中則會出現 *pom2k.exe* 與 *prepom.exe* 等執行檔，**sst** 與 **wind** 目錄則是連接 **data** 目錄中之海氣象資料庫，*s00an1* 與 *t00an1* 則為 WOA 之年平均溫鹽資料。
4. 交談式輸入最後會可選擇自動執行模擬，若選擇自行執行模擬，其指令如下所示：

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

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

5. 模擬結束之後進行 N2 巢狀模式之模擬，執行 *createproj.sh* 命令腳本，建立 *nwpo\_n2* 計算方案之設定與目錄環境。於提示符號後輸入：

```
> createproj.sh nwpo_n2
```

出現交談式選單，輸入 *nwpo\_n2* 之計算條件，如附表 2 中所示。輸入後如 *global\_g1* 模式，程式會自動建立 **nwpo\_n2** 目錄與其中的檔案與目錄。

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



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

其中 1948 與 1950 表示從 1948 年 1 月 1 日模擬至 1950 年 12 月 31 日，而 *global\_g1* 表示巢狀母格網之方案名稱，程式會自動於 **global\_g1** 目錄中抓取相對應時間之計算結果，內插邊界條件至 *nwpo\_n2* 模式。

7. *nwpo\_n2* 模擬結束之後進行下一層 *taiwan\_t2* 之巢狀格網模擬，如同上述兩個方案之執行方式，利用 *createproj.sh* 建立模擬所需之相關設定，輸入下列指令進行模擬，而相關參數如附表 2 中所示。

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

8. 依上述 1~7 步驟執行後即會得到本研究所建置之 G1、N2 與 T2 模式結果，如需繪出附表 1 中之模擬計算結果圖形，則分別於 *global\_g1*、*nwpo\_n2* 與 *taiwan\_t2* 目錄中，輸入下列指令：

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

或

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

或

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

即會得到 Postscript 格式之圖形檔。

**附表 2 createproj.sh 命令腳本中所需參數表**

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

註：上表中未列出參數均可直接鍵入 enter，即為命令腳本中之預設值

## 附錄 2 期末報告審查簡報資料

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)

— 臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討 —

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心  
99 年度政府科技計畫期末報告審查

**臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)**  
— 臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討 —

- 研究人員：莊文傑<sup>1</sup>、廖建明<sup>2</sup>
  - 1. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
  - 2. 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心副研究員
- 研究方式：自行研究
- 研究經費：5萬元
- 研究期間：99/01~99/12



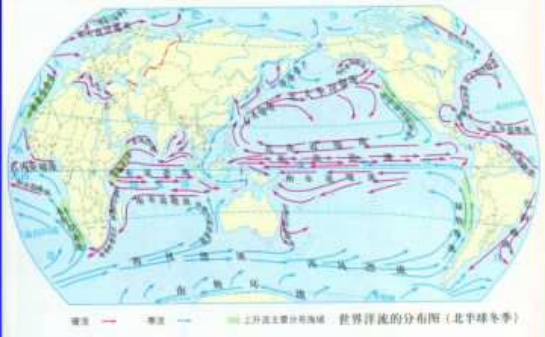
03/02/20111

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)

— 臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討 —

**簡報內容**

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 研究成果與討論
- 結論
- 成果效益自評



03/02/20112

## 研究緣起與目的

### ■ 研究緣起：

- ◆ 洋流的重要性：洋流，是大尺度、大規模的海水流動；它是海洋的動脈，近岸輸沙、河川污染質、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送，惟國內有關此一**時空大尺度**課題的研究，迄今仍甚有限。
- ◆ 臺灣的海域環境：國內海岸工程之學者專家常關切洋流的影響。
- ◆ 延續提昇研究成果：提昇臺灣鄰近海域大尺度海流(潮流與洋流)模擬計算之準確性。

### ■ 研究目的：

- 海流的研究，實為促進海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)及海洋能源(如：海流能、潮流能、溫差發電等)「永續經營及利用」的最根本課題，亦為**厚植近岸救災與海岸保育風險管理機制之關鍵技術**。
- 應用國科會海洋學門海流資料庫之實測海流紀錄，進行計算海流準確性驗證，提供**海岸及海洋工程**相關實際評估應用資訊
  - 臺灣東部深層海水產業\_水溫及鹽度月季變動資訊應用；
  - 海洋能源開發利用相關評估；
  - 海岸保育經理\_近岸長期優勢海流水動力(流速及流向)特性掌握；
  - 海事救災、救生。

03/02/2011

3

## 研究方法



### □ 引進建置海流數值模式

- POM (Princeton Ocean Model) 三維海流水動力模式
  - 善用國際培訓研究資源，全球甚多學研單位引用；
  - 含二階紊流閉合模式、溫度、鹽度對流擴散方程式，能描述三維複雜的海洋物理水動力變動特性；
  - 外模式(external mode)\_2D；和內模式(internal mode)\_3D；
  - 水深向Sigma座標；可解析地形梯度具大變化的海域；

### □ 進行數值模擬：

- 針對臺灣鄰近海域，建構巢狀格網架構；
- 巢狀母子格網之聯結銜接，應用邊界緩衝區之流場推進(nudging)技術
- 模式驅動動力：利用美國NGDC之ETOPO1環球水深地形資料庫，再結合美國NCEP/NCAR之風場與氣壓場資料庫、NOAA之ER SST海面溫度資料庫、及NODC之WOA05水深分層溫鹽資料庫；
- 模式調校驗證：利用國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文\_溫鹽、海流、水深等實測紀錄。

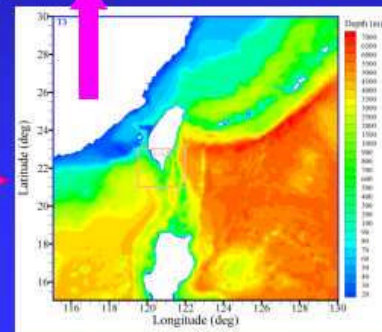
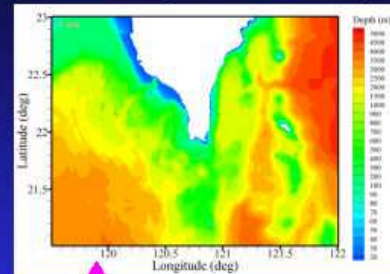
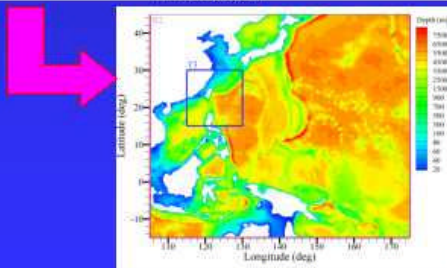
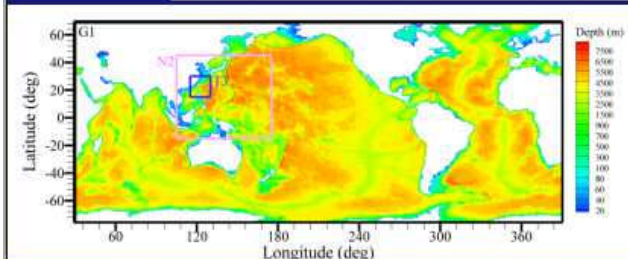
03/02/2011

4



## 巢狀格網架構

| 模式   | 海域範圍    | 解析度 (deg) | 計算時距 (sec) |
|------|---------|-----------|------------|
| G1   | 全球海域    | 1/2       | 30         |
| N2   | 西北太平洋海域 | 1/5       | 20         |
| T3   | 臺灣四周海域  | 1/16      | 6          |
| T-SW | 臺灣西南部海域 | 1/64      | 2          |



## 海流模式邊界及初始趨動力設定

### 粗細時空解析度之海氣象資料庫應用

| 模式   | 地形水深      | 海面風場                        | 海面溫度             | 計算起始時間     | 計算機時間 (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      |

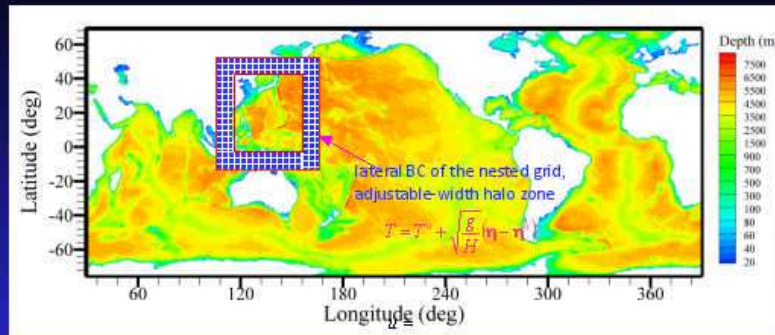
註：以雙四核心 Intel Xeon 3.0GHz 電腦於 SUSE Enterprise 10 Server 上執行，利用 OpenMP 進行 POM 模式平行化，使用八核心計算模擬一個月所需之計算機時間。

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2)(4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

03/02/2011

6

## 巢狀母子格網之緩衝邊界及流速推進技術



lateral B.C. of nested grids

線性淺水波流速

$$u = \frac{\eta}{h} C$$

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

■ 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

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{U} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} = 0$$

Upstream advection scheme

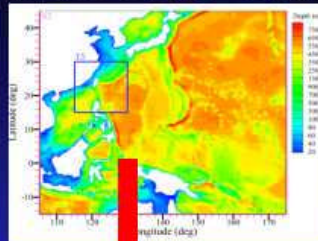
■ in the halo zone

$$U_i = U_i + \left( 1 - \tanh \left( 4 \frac{\Delta x_i}{L} \right) \right) (U_i^0 - U_i)$$

下標表示據邊界格網第點處之值；

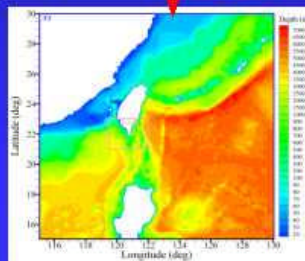
緩衝邊界取12層。

## 綜合洋流與潮汐效應之海流模擬計算

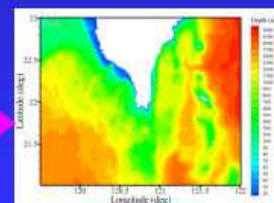


潮汐水位邊界  
NAO99b  
(Matsumoto et al., 2000)

萃取邊界對應之  
海流流速與水位



巢狀計算



臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

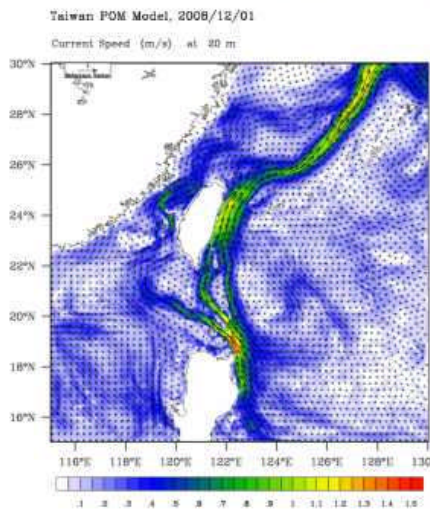
03/02/2011

8

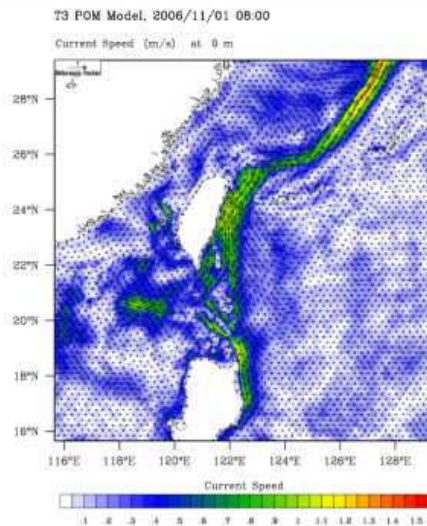


## 研究成果及討論

### POM模式臺灣四周計算海域海流流場 (1/13)



洋流之日平均流場



綜合洋流與潮汐效應之逐時流場

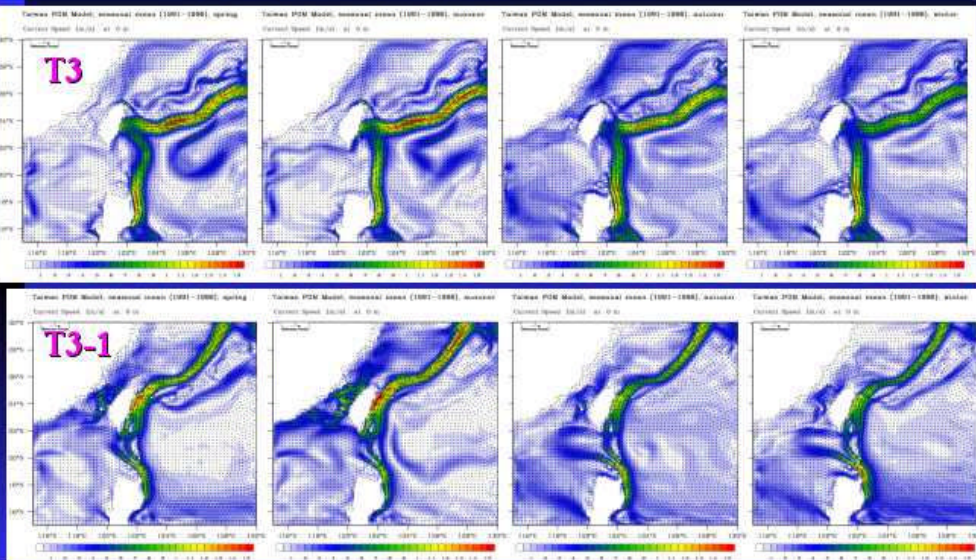
流速、流向 以色階深淺及箭尺長短、方向表示。

## 臺灣四周計算海域之季平均流場

### —應用不同時空解析度海氣象資料庫之比較 (2/13)

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)

臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討



1991~1996年春、夏、秋、冬季(左~右)之海表面流速與流向分佈  
 臺灣東部海域黑潮流速，因海溫與西南季風影響，春、夏季大於秋、冬季  
 臺灣南部海域黑潮套流型態，因東北季風之影響，秋、冬季比春、夏季明顯

03/02/2011

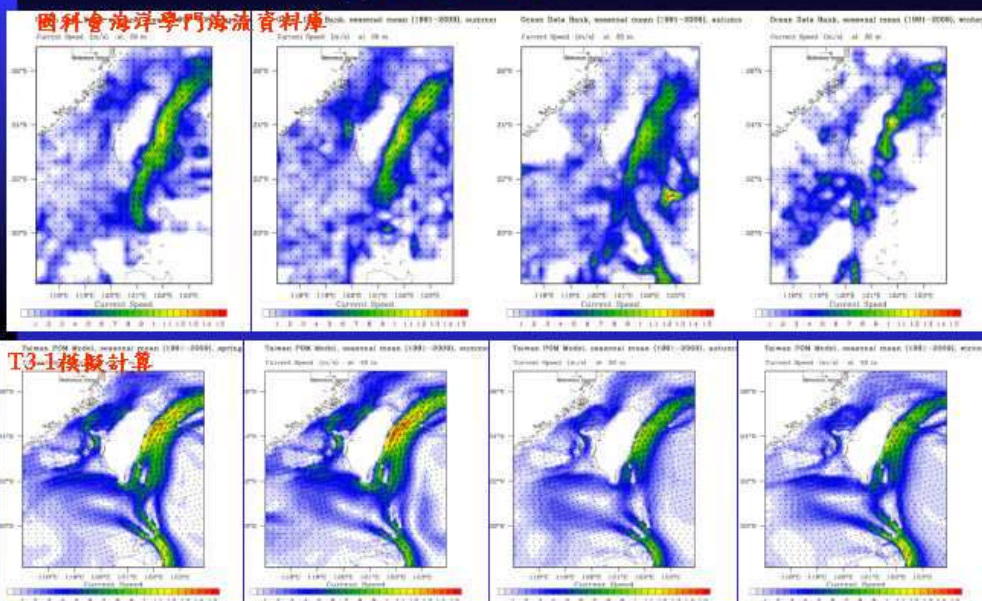
10



臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 臺灣四周海域 季平均之海流驗證 — 20米等水深層 (3/13)

國科會海洋學門海流資料庫



臺灣四周海域 20米等水深層 實測統計與模擬計算之春、夏、秋、冬 季平均流速流向對照比較與驗證

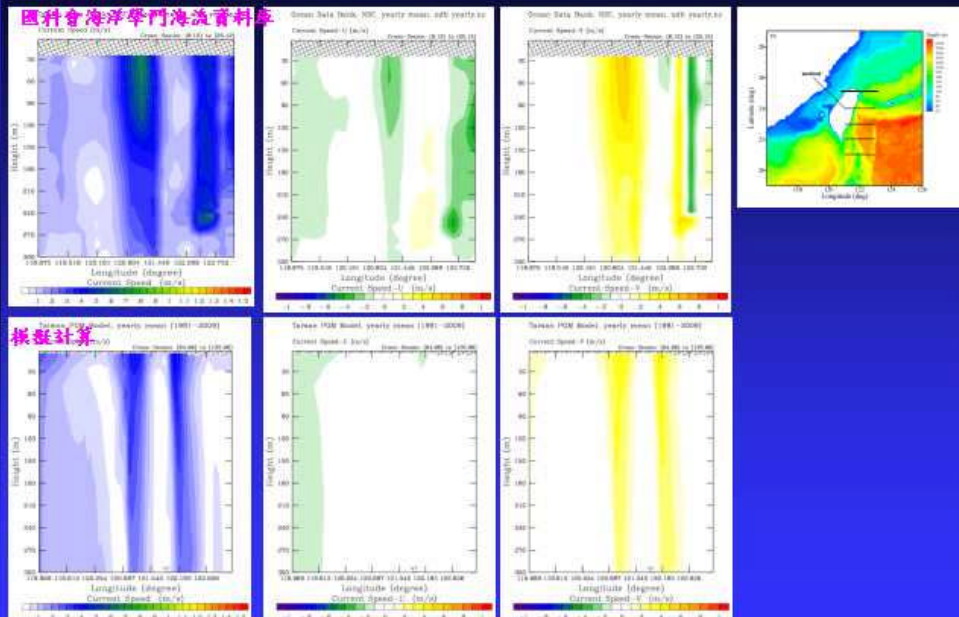
11

03/02/2011

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 臺灣東部海域 21.0N 水深斷面之年平均流速流向比較驗證 (4/13)

國科會海洋學門海流資料庫



主流分岔特性近似：實測流速與大於模擬計算

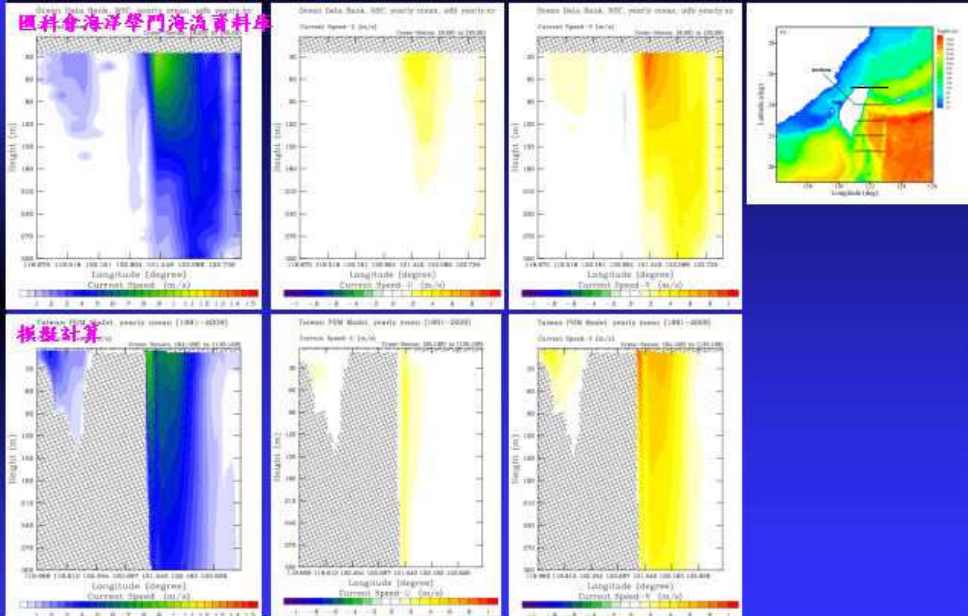
12

03/02/2011

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 臺灣東部海域 23.0N 水深斷面之年平均流速流向比較驗證 (5/13)

國科會海洋學門海流資料庫



主流離岸距離及水深分佈特性近似；實測流速略大於模擬計算

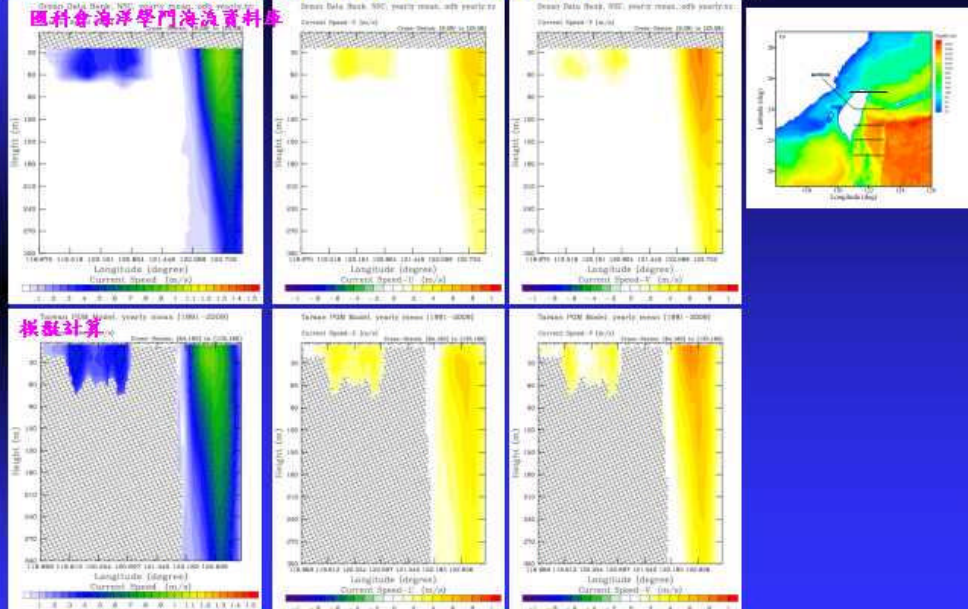
03/02/2011

13

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 臺灣東部海域 25.0N 水深斷面之年平均流速流向比較驗證 (6/13)

國科會海洋學門海流資料庫



主流離岸距離及水深分佈特性近似；實測流速略大於模擬計算

03/02/2011

14



## 臺灣東部近海相關黑潮傳輸量之研究 (7/13)

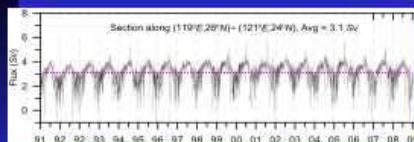
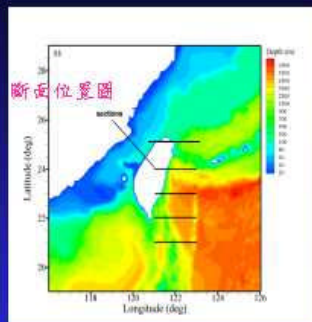
(Kuroshio transport, Hsin et al., 2008)

(※1 Sv=10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s)

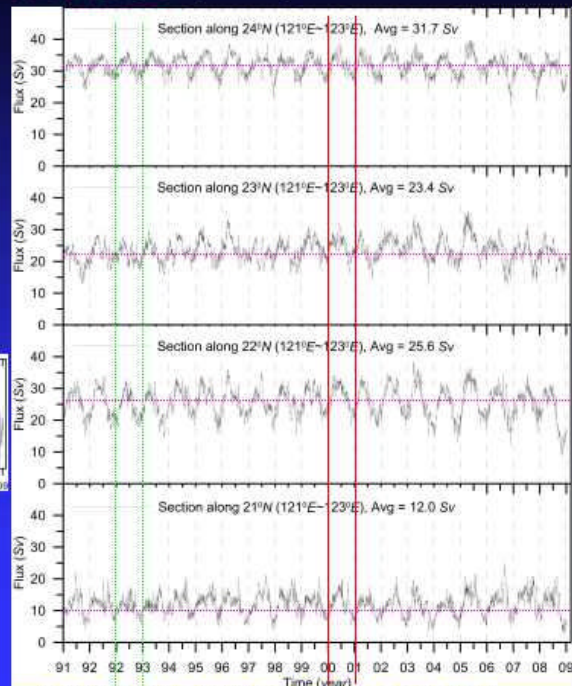
| Publication                | Period                         | Position                                          | Method                                        | Mean Q, Sv                           |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Chu (1970)                 | Sep 1965-May 1967 (4 cruises)  | 21.75-23.75N                                      | geostrophic (RD=800 dbar)                     | 17.8-20.4                            |
| Nitani (1972)              | 1965-1967 (5 cruises)          | ~23N                                              | geostrophic (RD=1200 dbar)                    | 40                                   |
| Nitani (1972)              | 1942-1966 (5 cruises)          | 25N                                               | geostrophic (RD=1200 dbar)                    | 33                                   |
| Chu (1976)                 | 1974-1975 (6 cruises)          | ~24N                                              | geostrophic (RD=800 dbar)                     | 29.3                                 |
| Liu (1983)                 | 26-29 Jul 1983 (1 cruise)      | 24N                                               | geostrophic                                   | 44.2                                 |
| Liu et al. (1998)          | Oct 1990-May 1995 (12 cruises) | ETC (~24.5N)                                      | adjusted geostrophic and S <sub>b</sub> -ADCP | 19.7 (0-350m)<br>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)<br>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)                                   | S <sub>b</sub> -ADCP                          | 15.4-24.3                            |
| Hsin et al. (2008)         | 1982-2005                      | 22-25N                                            | monetral study (POM)                          | 28.4±5.0 - 32.7±4.4                  |

## 臺灣東部海域模擬計算之月平均黑潮傳輸量 (8/13)

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討



臺灣海峽斷面之黑潮月平均流量變化

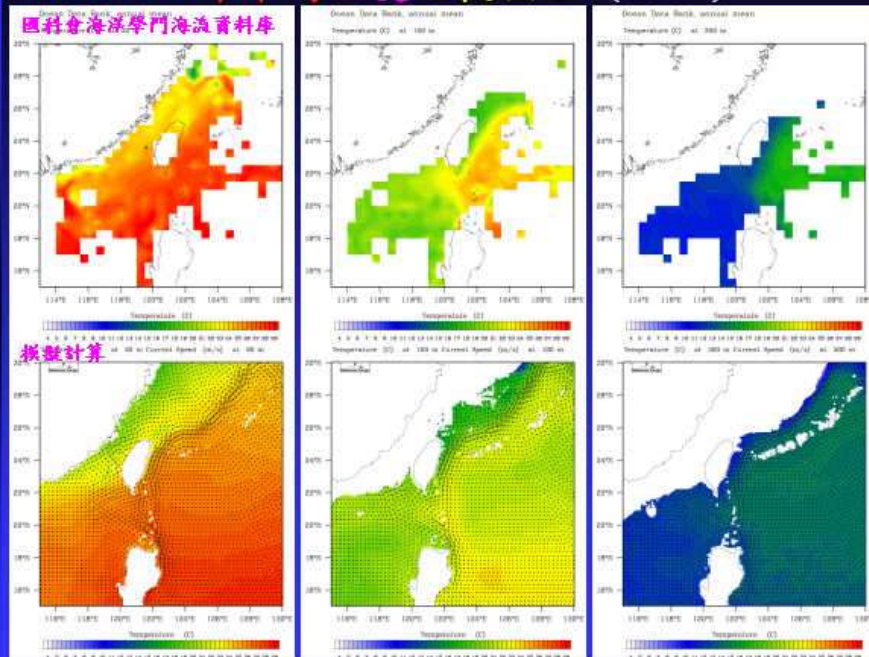


臺灣東部海域垂直海岸斷面之黑潮月平均流量變化

03/02/2011

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 臺灣海域20米、100米、300米之年平均溫度比較驗證 (9/13)



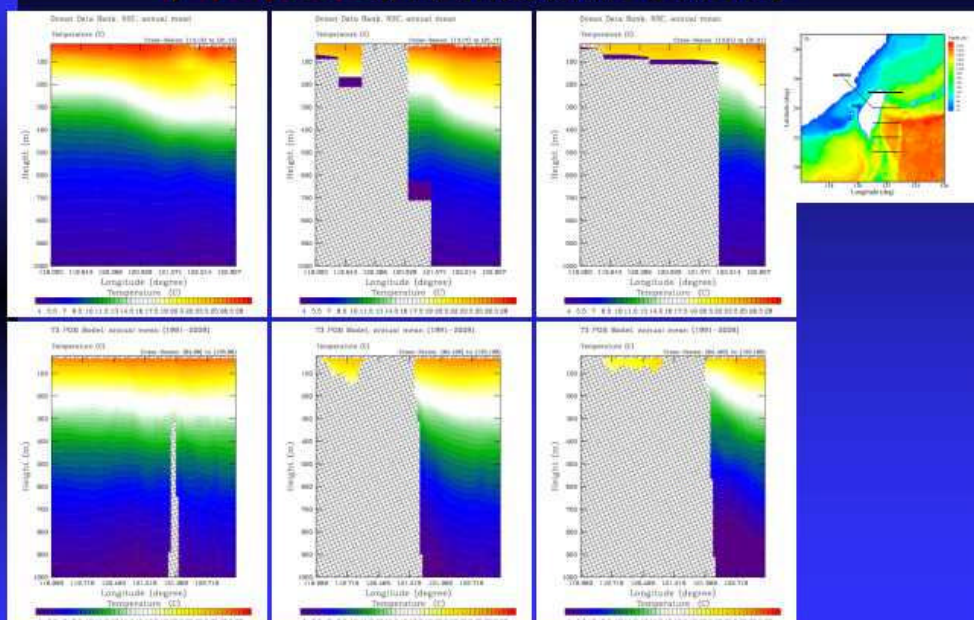
03/02/2011

各等水深層之溫度分佈特性近似；實測溫度略低於模擬計算

17

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 臺灣東部海域 21N、23N、25N 水深斷面之年平均溫度分佈比較驗證 (10/13)



03/02/2011

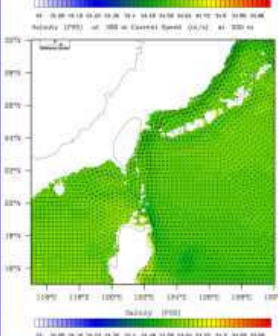
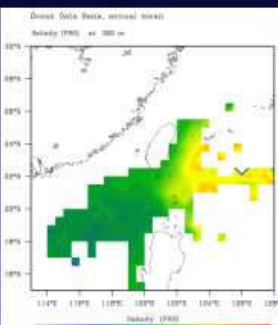
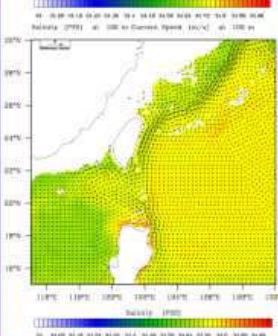
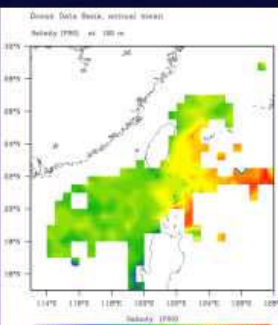
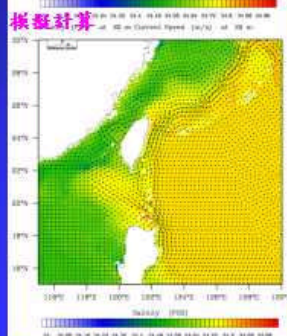
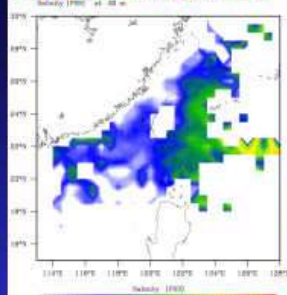
各水深斷面之溫度分佈特性近似；實測溫度略低於模擬計算

18



## 臺灣海域20米、100米、300米之年平均鹽度比較驗證 (11/13)

國科會海洋學門海流資料庫

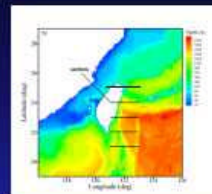
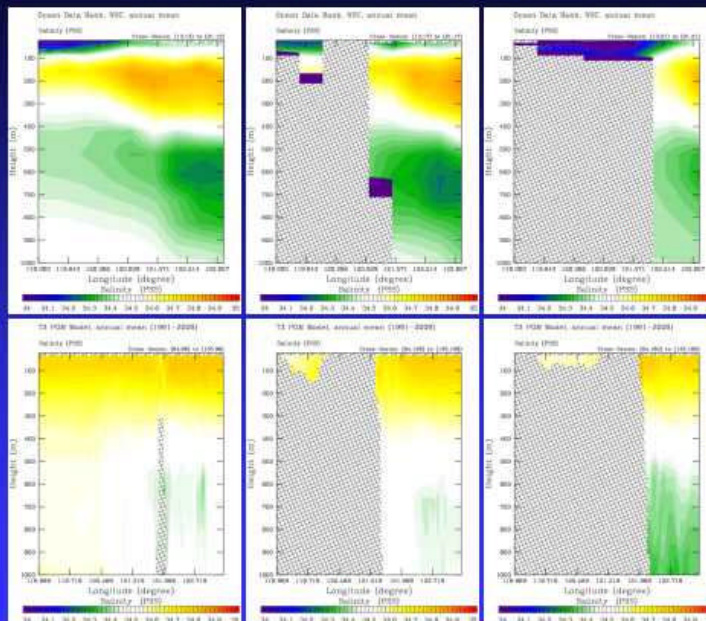


各等水深層之鹽度分佈特性近似；實測鹽度略低於模擬計算

03/02/2011

19

## 臺灣東部海域 21N、23N、25N 水深斷面之年平均鹽度分佈比較驗證 (12/13)



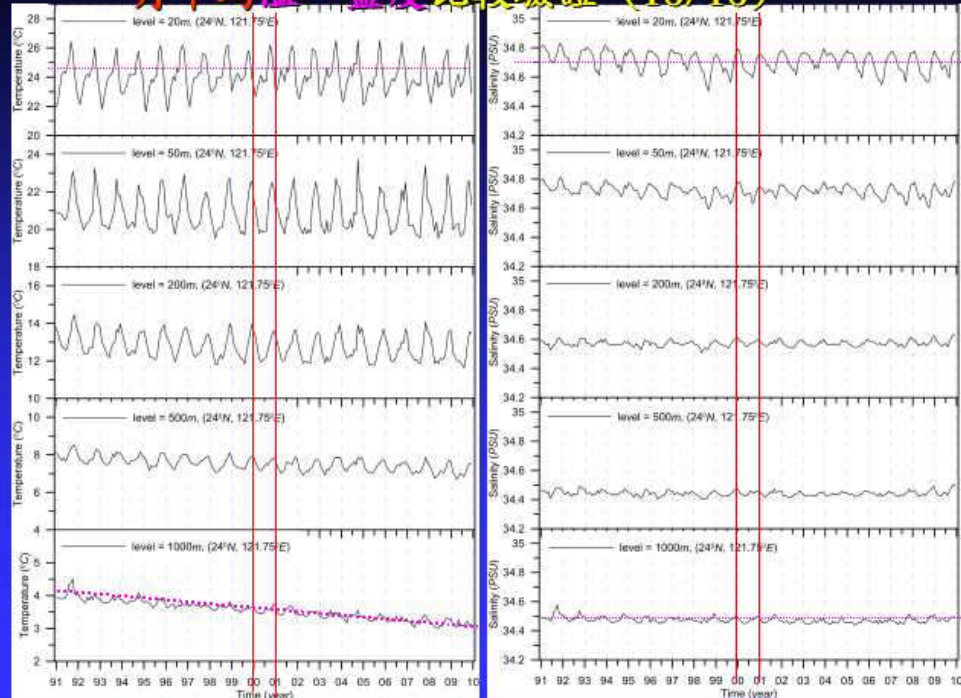
各水深斷面之鹽度分佈特性近似；實測鹽度略低於模擬計算

03/02/2011

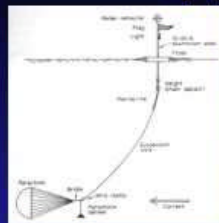
20

03/02/2011

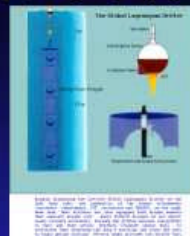
## 臺灣東部花蓮海域24.0N斷面各等水深層之月平均溫、鹽度比較驗證 (13/13)



## 浮標追蹤流跡驗證 (1/4)



Neumann(1972). Ocean Currents



NOAA-AOML Drift Buoy



若在同一顆流體質點之考慮下，以Lagrangian流迹追蹤，則流跡為

$$x = x_0 + \int_{t_0}^t U(x_0, y_0, t) dt = x_0 + \Delta x_0(t)$$

$$y = y_0 + \int_{t_0}^t V(x_0, y_0, t) dt = y_0 + \Delta y_0(t)$$

假定 $n$ 時刻質點位於 $P_0$ 點，其質點之Eulerian速度可分別以差分方式表示為

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

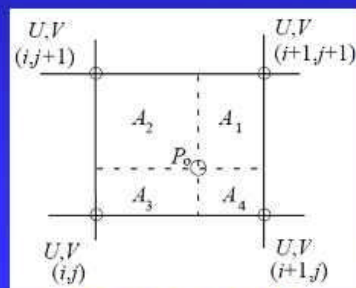
$$V^n = \frac{A_1 \cdot V_{i,j}^n + A_2 \cdot V_{i+1,j}^n + A_3 \cdot V_{i,j+1}^n + A_4 \cdot V_{i+1,j+1}^n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

於 $n+1$ 時刻之質點位置(流跡)為

$$x^{n+1} = x^n + U^n \Delta t$$

$$y^{n+1} = y^n + V^n \Delta t$$

※ 浮標不同於流體質點



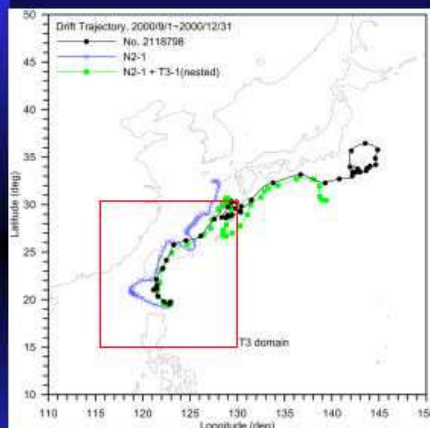
質點位置或迹內插方法示意圖

03/02/2011

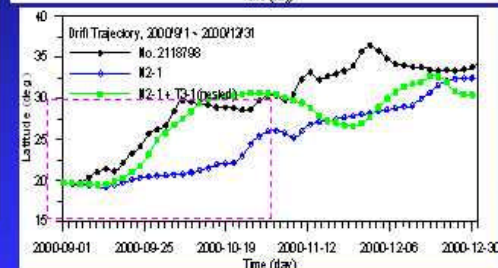
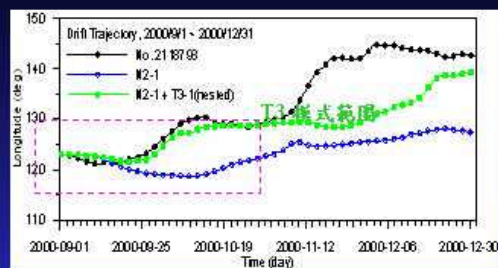
22



## 浮標追蹤流跡驗證 (2/4)



(NOAA-AOML No. 2118798浮標流跡比較)

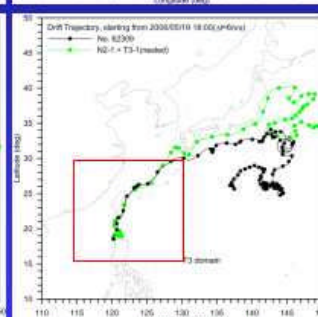
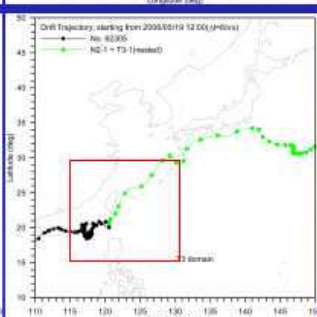
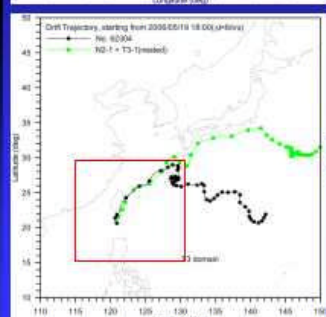
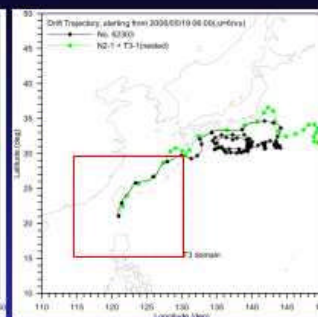
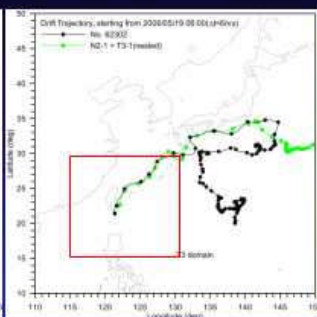
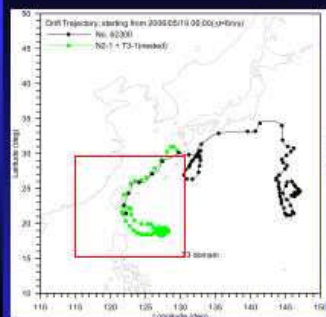


浮標流跡經、緯度位置比較圖

03/02/2011

23

## 浮標追蹤流跡驗證 (3/4)

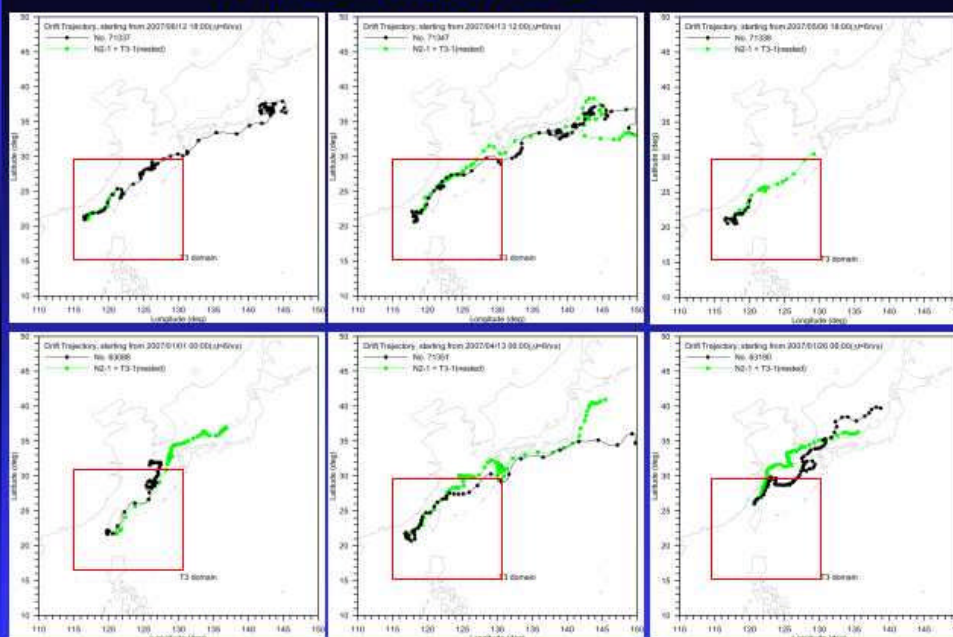


浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2006年)

03/02/2011

24

## 浮標追蹤流跡驗證 (4/4)

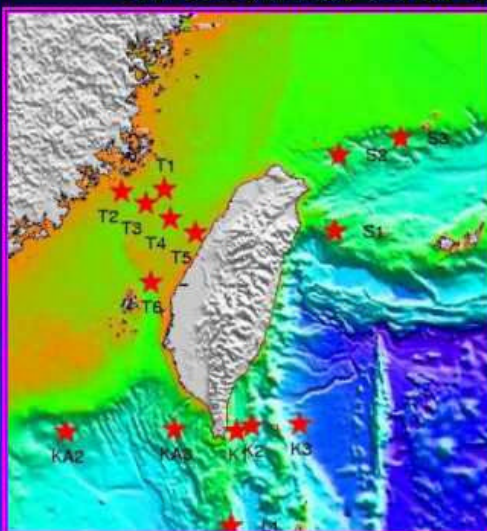


浮標追蹤軌跡模擬結果比較圖(2007年)

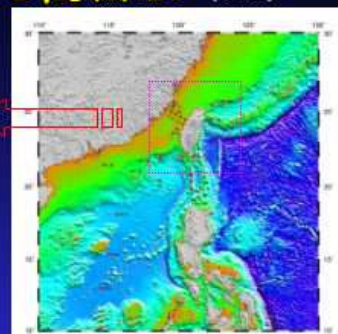
03/02/2011

25

## 錨碇海流實測資料比較驗證 (1/3)



錨碇海流量測點位基本資料  
(※臺灣大學海洋研究所唐存勇教授提供)



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

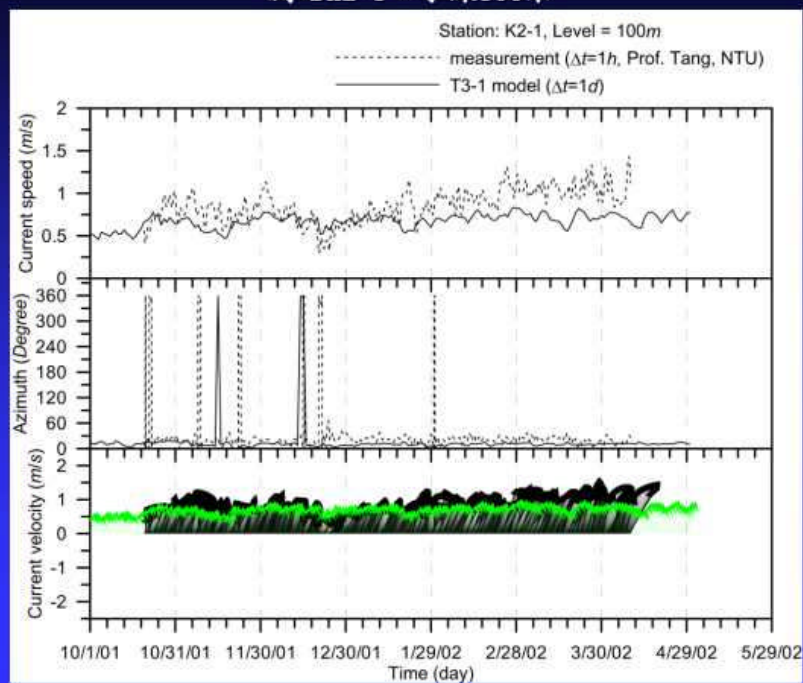
03/02/2011



03/02/2011

## 錨碇海流實測資料比較驗證 (2/3)

測站K2-1：水深100米

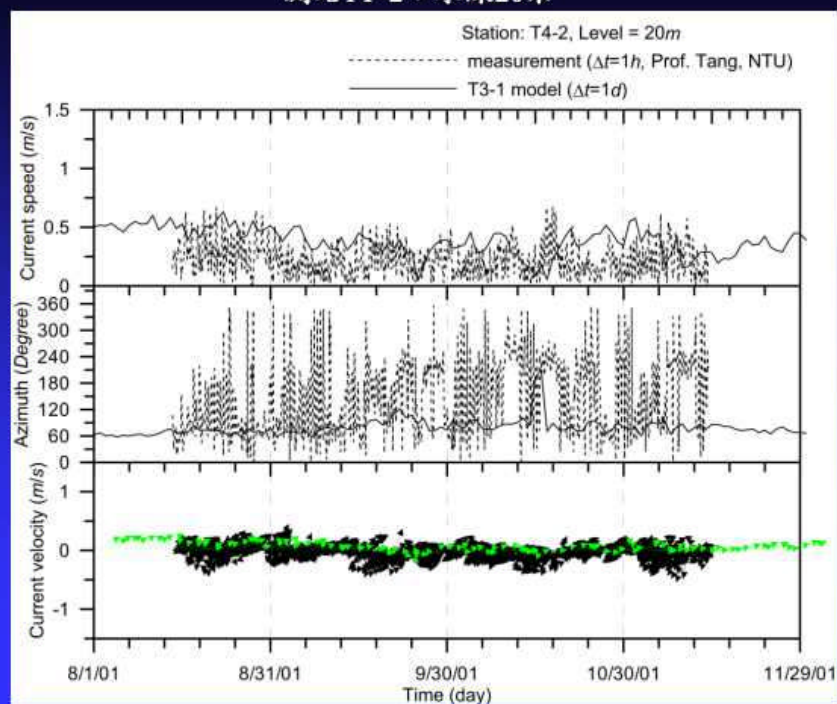


27

03/02/2011

## 錨碇海流實測資料比較驗證 (3/3)

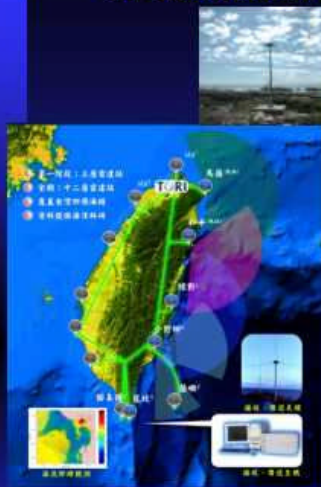
測站T4-2：水深20米



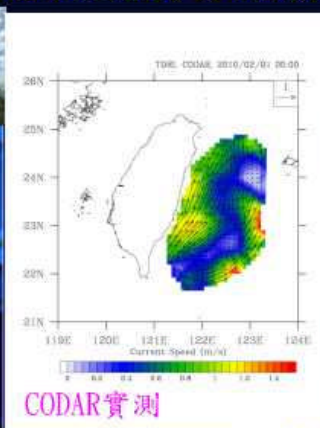
28

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

## 岸基測流雷達(CODAR)實測海流之流態比較

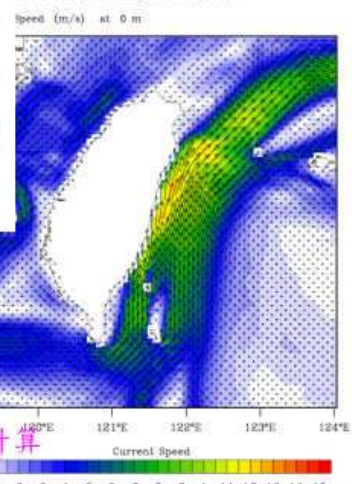


國研院海洋中心環委岸基測流雷達(CODAR)系統配置



CODAR實測

POM Model, monthly mean, 2010/02



模擬計算

03/02/2011

29

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2~4)  
臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討

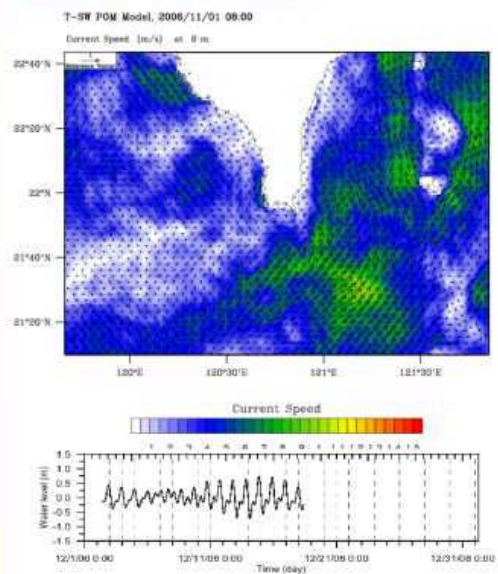
## 近岸實測海流驗證 (1/5) 綜合洋流與潮汐效應



|        |          |         |
|--------|----------|---------|
| C3 測站  | 120.256E | 22.570N |
| 實測座標   |          |         |
| 模擬計算位置 | 120.375E | 22.375N |

高雄中洲海域ADCP實測海流點位  
國立中山大學海洋環境及工程學系陳陽益教授提供

臺灣西南部計算海域  
(網格解析度1/64度, 約1.5公里)

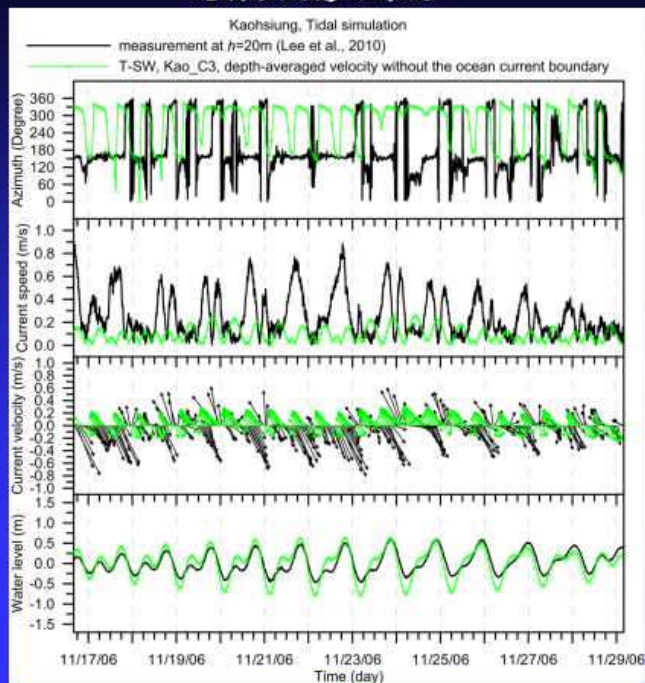


03/02/2011



## 近岸實測海流驗證 (2/5)

純潮汐效應之海流

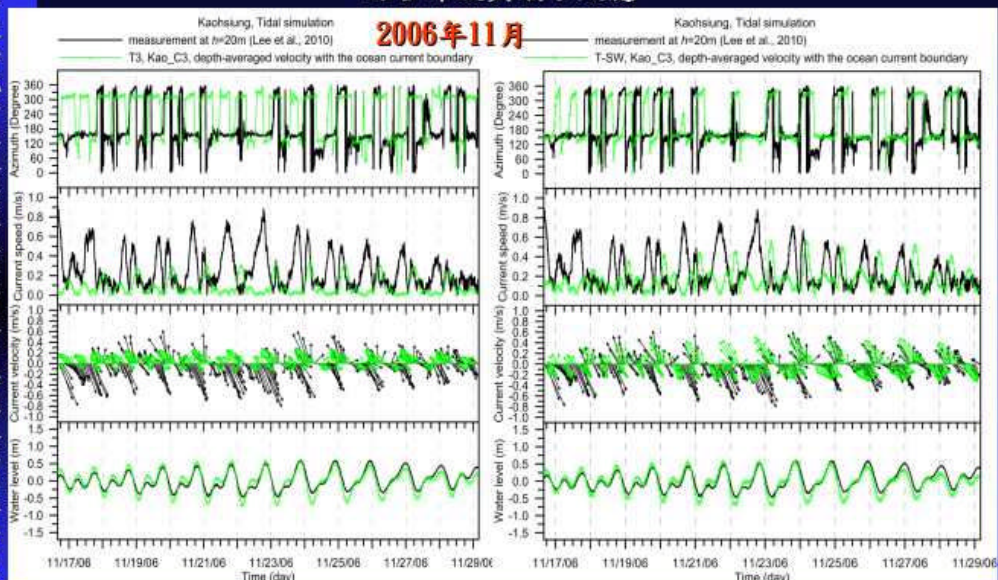


03/02/2011

31

## 近岸實測海流驗證 (3/5)

綜合洋流與潮汐效應



臺灣四周計算海域(T3)

網格解析度1/10度，約0公里

臺灣西南部計算海域(T3-1)

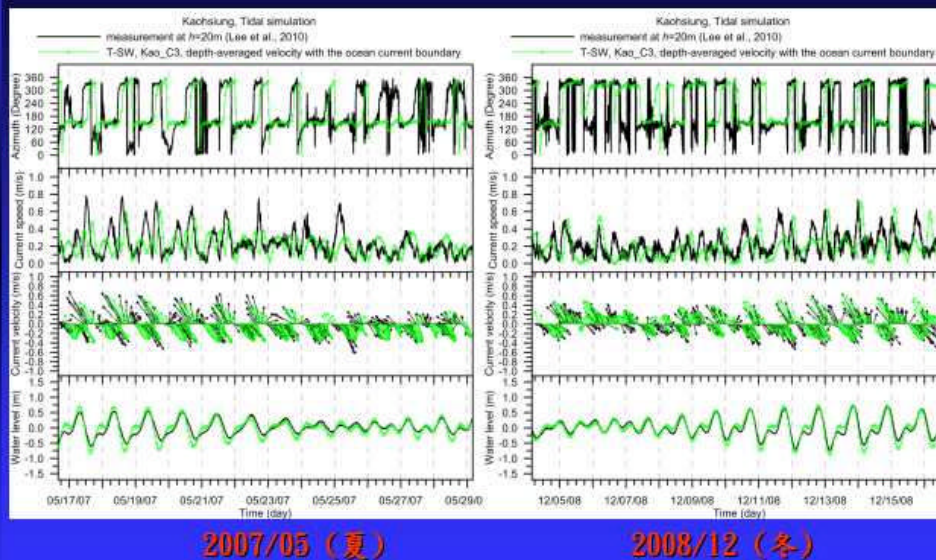
網格解析度1/4度，約1.5公里

03/02/2011

32

## 近岸實測海流驗證 (4/5)

### 綜合洋流與潮汐效應

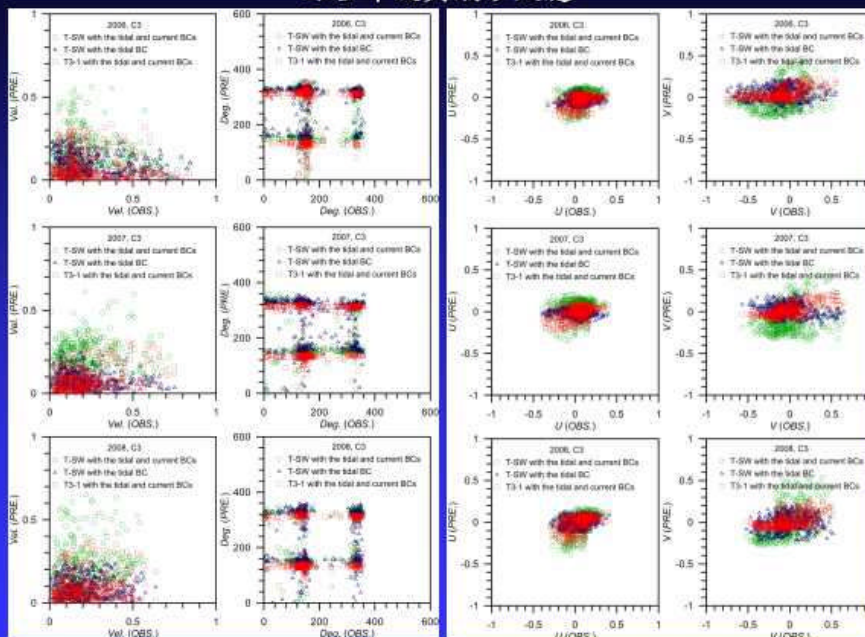


03/02/2011

33

## 近岸實測海流相關性驗證 (5/5)

### 綜合洋流與潮汐效應



高雄海域C3測點之實測與模擬海流  
流速-流向相關圖

高雄海域C3測點之實測與模擬海流  
U-V分量相關圖

03/02/2011

34



## 結論

- 充分應用國內及國際之海洋與海氣象資料庫資源，利用POM模式，計算海域採用巢狀格網架構，母子格網緩衝區並應用邊界推進(nudging)技術，再結合較高時空解析度之海氣象資料庫作邊界及初始趨動力設定，本研究因此已可針對臺灣鄰近海域的主要海流\_黑潮，進行模擬計算，並對於附屬的海流特性\_黑潮套流，也可概略的掌握。
- 本研究在臺灣鄰近海域所獲致之海流數值模擬計算成果，經引用相關研究結果及國科會海洋學門海洋資料庫實測紀錄資料進行對照比較，由黑潮海流之主流流量、最大流速、寬度及離岸距離等特性；臺灣東部海域垂直海岸水深斷面上，其年、月、季之平均溫、鹽度與流速分佈特性；浮標追蹤之流跡特性；錨碇海流各水深層流速、流向之時序變動特性；岸基測流雷達(CODAR)之平均流場特性；高雄中洲海域特殊之近岸海流特性等驗證，確認實測與模擬計算兩者具有充分的近似性。至於準確性，鑑於既有應用海氣象資料庫時空解度之限制，尚有待後續研究改善提昇。

## 成果效益自評

- **學術成就：**在學術成就(科技基礎研究)方面，發表國內外研討會學術論文5篇，並出版研究報告2冊。
- **技術創新：**引進及應用國際培訓資源，建置專業整合環境，強化國際互動機制，從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，提昇海洋科技—藍色科技之科研能力，落實跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，統合國內國科會海洋學門海洋資料庫及NCEP/NCAR海表面分析風場、NCEP/NCAR海平面大氣壓力、NOAA OI SST及ERSST 海面溫度、及NODC WOA海洋溫、鹽度等4大類型之國際海洋物理資料庫，並將相關資料應用於臺灣鄰近海域的洋流模擬。
- **經濟效益：**預期可促進深層海水及海流能源開發利用之相關產業，提昇品管及經理效能。強化海洋資源與能源資訊，敦節實施全面監測之人力及物力投注，提供政府及業界有關臺灣近岸海域深層海水水溫與水質之月季變動資訊，輔助海洋資源與能源開發利用之有效經理，強化防災效能，擷節應變、減災、救災的成本。
- **社會影響：**透過臺灣四周近岸海域大尺度恆常海流特性的研究，可充分掌握大尺度長期性之海岸輸沙優勢方向，進而可配合採行「自然工法」策略，減少海岸災害防救各項人力、物力及財力等社會資源之投注，達成海岸保育與永續利用目標。
- **其他：**結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，在國內自力完成臺灣鄰近海域之大尺度海流流場模擬計算，相關成果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事海岸及海洋工程的應用參考。

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心  
99 年度政府科技計畫期末報告審查

敬請 指教 賜正！

感恩！

勞力！

□計畫主持人：莊文傑 研究員

□共同研究：廖建明 副研究員

03/02/2011

37



### 附錄 3 期末報告審查會議及審查委員意見處理表

#### 交通部運輸研究所臺灣技術研究中心

#### 第三科 99 年度自辦研究計畫

#### 「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)」 期末審查會議紀錄

壹、時間：民國 100 年 3 月 2 日（星期三）下午 2 時 35 分

貳、地點：本所港研中心 2 樓會議室

參、主持人：港研中心 ~~簡科長仲璟~~ 邱主任永芳 紀錄：劉清松

肆、出席單位及人員：

|                |                                      |     |
|----------------|--------------------------------------|-----|
| <u>審查委員：</u>   |                                      |     |
| 海下技術學會         | 梁乃匡教授                                | 梁乃匡 |
| 交通大學           | 郭一羽教授                                | 郭一羽 |
| 建國科技大學         | 莊甲子教授                                | 莊甲子 |
| 嘉義大學           | 陳文俊教授                                | 陳文俊 |
| 成功大學水工試驗所      | <del>李兆芳教授</del><br><del>江文山博士</del> | 李兆芳 |
| <u>本所港研中心：</u> |                                      |     |
| 邱永芳主任          |                                      | 邱永芳 |
| 簡仲璟科長          |                                      | 簡仲璟 |
| 莊文傑研究員         |                                      | 莊文傑 |

| 審查委員及評審意見與建議                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 處理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>一、莊甲子 委員<br/>(評分：89)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究之推展與深化，不僅有助於適用本土性模擬工法及先期水海環境資源保育技術之研發，另可有效提升近岸海域水資源管理與防救災科技應用。本年度研究為第二年，研究內容充實，成果豐碩，值得肯定。</li> <li>2. 本研究發展模式為引進美國普林斯頓大學新近發展之 POM 模式，利用其三維模式之特性，完成台灣四周鄰近海域的洋流模擬，部分模擬結果與實測者仍有差異(圖 4-14 至圖 4-16)，此可能為地域特性之不同，各項影響因子，建議日後研究作進一步之探討。</li> <li>3. 台灣四周海域海流因受黑潮、親潮及南海洋流之影響，其影響度又可能有季節性之變化，亦值得作進一步之探討。</li> <li>4. 建議增作日平均流量比較。</li> <li>5. 模擬結果比較之差異性的可能原因，僅可能加以說明。</li> </ol> | <p>感謝莊委員甲子教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝肯定與期勉。</li> <li>2. 感謝提示。遵照辦理。</li> <li>3. 感謝提示。黑潮、親潮及南海洋流對台灣鄰近海域流場之季節性影響，將於下(100)年度研究中納入探討。</li> <li>4. 關於黑潮洋流之日平均流量，本研究及相關研究皆已採用 Sv(~1 百萬 CMS) 表示並相互比較(參見第 4.4.3 節)，故日平均流量，僅需作時間單位(1 日 = 86400 秒)乘算即可。</li> <li>5. 遵照辦理，已於相關內文加強說明。</li> </ol> |
| <p>二、梁乃匡 委員<br/>(評分：90)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫將大尺度海洋環流數值模式引進，計算台灣附近海流的長期不同時間期距的平均值，並考慮溫度及鹽度。本計畫亦將數值結果與資料庫資料比對，符合物理海洋學的標準作業方式，本報告頗有參考價值。</li> <li>2. 本計畫對海流數值模式的研發，除了引進 POM 模式，在邊界及格點處理亦有改進，也與資料庫及實際資料比對，內容豐富，頗有參考價值。</li> </ol>                                                                                                                                                                                        | <p>感謝梁委員乃匡教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝肯定與期勉。</li> <li>2. 感謝肯定與期勉。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>三、郭一羽 委員<br/>(評分：85)</p> <p>1. 對 POM 模式之應用，在技術上是否有突破和進展，請明敘。</p> <p>2. 涵蓋範圍太廣，影響其應用的具體性，不知如何落實其實用性。</p> <p>3. 海流模擬與「近自然工法」有何相關，請明言。</p> <p>4. 驗證之準確度的評估是否可更具體化？</p> <p>5. POM 模式的有效應用，瞭解台灣海流現象，具重要性。</p> | <p>感謝郭委員一羽教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 本研究應用 POM 模式，採用巢狀格網架構，母子格網之邊界銜接應用緩衝區之推進(nudging)技術(參見第 4.3.2 節)，所模擬計算之海流，經與實測資料對照比較，結果尚稱近似，故而不致稱模式之應用有所突破，惟確實有些進展，並已於第 5.3 節結論中敘明。</p> <p>2. 本研究之重點如封面名稱，在綜合考量洋流與潮流效應下，應用 POM 模式，進行臺灣近岸海域之海流模擬計算；主要研究目標及具體應用性，在推展並進行洋流對近岸海流之影響評估；至於實用性，主要將透過本研究第 4 分年計畫：「臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響」予以落實(參見第 1.4 節研究成果之預期應用)。</p> <p>3. 「近自然工法」，主要在順應自然環境、景觀及生態，保有或維持其「大尺度」之「永續」性，減少並避免人為局部性及短期性之介入及干擾。因此，對海岸之自然環境、景觀、及生態而言，詳實掌握綜合考量洋流與潮流效應之近岸海流特性，即在「大尺度」之「永續」性上，可充分與「近自然工法」相關聯，其他之關聯性，參見第 1.4 節研究成果之預期應用補充說明。</p> <p>4. 鑑於實際海流之三維時變特性及實測紀錄的時空分佈限制，故而本研究現階段的驗證，於應用既有具特定時空解析度之海氣象資料庫作模式趨動力條件下，除了黑潮流量與海面水位(時變一維純量)可作量化誤差分析外，其他錨碇海流(時變二維向量)及平面及斷面之海流及溫鹽度分佈(時變二維向量)，皆僅能就其平均特性進行對照比較。如圖 4-64 及圖 4-65 之錨碇海流相關性驗證所示，有關時變二維向量之具體化驗證，尚待後續研究努力。</p> <p>5. 感謝肯定與期勉。</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>四、李兆芳 委員<br/>(評分：87)</p> <p>1. P4-5 提及洋流之大規模流動特性及海域範圍甚寬廣，建議先由洋流特性討論數值模擬之解析度。</p> <p>2. P4-60 提及巴士海峽及東亞大陸棚地形對海流之影響，建議亦先由地形特性，說明數值模擬之最小解析度。</p> <p>3. P4-86 圖 4-63 計算結果稱為滿意，但綜合來看難說，建議標出影響百分比。</p> <p>4. P2-3 (2-4 式)寫法修改；P4-2 圖 4-1(資料來源：)；P4-77 圖 4-54 水深數字太大。</p> | <p>感謝李委員兆芳教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 風力通常是洋流之原始趨動水動力，因此，欲模擬計算洋流之大尺度流動特性，用以模擬計算之海域範圍一般皆甚寬廣。而為進行臺灣鄰近海域洋流之模擬，取得正確的模式邊界條件，本研究因此首先必須進行全球海域之洋流模擬，然後再利用巢狀格網計算方式，逐步縮小計算範圍，藉以提高臺灣鄰近海域洋流模擬的解析度，相關數值模擬解析度之設定，參見第 4.3.1 節之討論。</p> <p>2. 感謝提示。對於具時空大尺度特性的海流模擬之空間解析度設定，除了必須顧及地形特性外，海氣象趨動力之時空格網解析度與水深資料庫之空間格網解析度限制及用以模擬計算之計算機效能等亦皆必須綜合考量。當然，進行海流之模擬計算，採用較細小之數值網格解析度可充分陳現實際海域之水深地形效應，惟本研究在巢狀格網架構下，較大範圍海域採用較粗網格所模擬計算之海流，實僅為海流概略特性探討及較細網格計算海域之邊界條件提供而已(參見第 4.3.1 節至第 4.3.3 節說明)。</p> <p>3. 感謝建議。對於臺灣西南部高屏海域之錨碇實測與模擬計算海流之驗證，若僅就海流流速大小、流向、海面水位之逐時變動分別對照比較，則相互之吻合性尚稱良好，惟若以通用性一維純量之相關圖(圖 4-64 及圖 4-65)及表 4-5 所示之相關係數檢視，則可見其相關性並不佳。併郭一羽委員之第四點審查意見，有關時變二維向量之具體化驗證，尚待後續研究努力。</p> <p>4. 感謝提示。式(2-4)垂直方向簡化之動力方程式，即靜水壓方程式，其寫法主要為配合式(2-2)及式(2-3)之水平方向動力方程式之微分型式；圖 4-1 中，資料來源已修訂補充；圖 4-54 內，水深數字太大，其實際為原報告原圖示之引用。</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>5. 圖 P4-62 純天文潮流、本文綜合流場及實際流場可畫在一起比較。</p> <p>6. 本研究包括模式之操作及特性之分析，相當不易。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>5. 感謝提示。純天文潮流及綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流，其與實測海流之綜合比較，可參見圖 4-64 及圖 4-65 之相關圖。惟為清礎陳現純天文潮流及綜合洋流與潮流效應之模擬計算海流，其與實測海流對照比較逐時變化之差異，故分年將其分別整理如圖 4-55 至圖 4-63 所示。</p> <p>6. 感謝肯定與期勉。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>五、陳文俊 委員<br/>(評分：85)</p> <p>1. 本案之模式模擬應用尚稱成果良好，給予肯定。</p> <p>2. 母子網格緩衝區之設定是否與不同層次、網格大小而有不同之緩衝區格數？</p> <p>3. 穩定條件中時距之設定中有 4 個 <math>\Delta t</math> 之敘述，建議能具體敘明，最後時距採用之判定。</p> <p>4. 臺灣鄰近海域流場驗證中提及實測黑潮套流不明顯及太小為冬北季風期不易量測問題，惟春、夏季之月平均比較亦有相同情形，建議未來可敘明。</p> <p>5. P2-4 <math>F_\theta</math>、<math>F_s</math> 之表示式可能漏列；P2-5 <math>F_q</math>、<math>F_l</math> 敘述見(2-11)式，惟(2-11)式亦無 <math>F_q</math>、<math>F_l</math>。</p> <p>6. 本案已對引入模式之修正，應用及創新皆已見成效，且對未來台灣海、洋流之模擬已有初步成果，未來可持續進行後續之增進性研究。</p> <p>7. 對模式模擬結果之精度與驗證再給予持續改善。</p> | <p>感謝陳委員文俊教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 感謝肯定與期勉。</p> <p>2. 對於母子網格銜接邊界緩衝區格點層數之設定，本研究在全巢狀格網架構內，緩衝區格點層數皆設定為 12(參見第 4.3.2 節內文及表 4-1 之說明)。</p> <p>3. 在 POM 模式之三維海流數值模擬計算中，有關數值穩定性之時距選定依據，請參見第 2.3.3 節相關說明及表 4-1 所示之選定時距。</p> <p>4. 感謝提示。實測黑潮套流型態隨季節之變動性，本研究會持續關注，並會收集更明確詳實之資訊，進行補充驗證及研究。</p> <p>5. <math>F_\theta</math>、<math>F_s</math> 之表示式，參見式(2-11)；<math>F_q</math>、<math>F_l</math> 分別為紊流動能 <math>q^2</math> 及紊流功率 <math>q^2 l</math> 之水平渦旋擴散力，其表示式同式(2-11)。</p> <p>6. 感謝肯定與期勉。</p> <p>7. 遵照辦理。</p> |