

99-41-7457
MOTC-IOT-98-H3DA004

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



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 4 月

99

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)

交通部運輸研究所

GPN : 1009901380

定價 200 元

99-41-7457
MOTC-IOT-98-H3DA004

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

著者：莊文傑、廖建明

交通部運輸研究所
中華民國 99 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估.(1/4)
:POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬/ 莊文傑, 廖建明著 .-- 初版.-- 臺北市:交通部運研所, 民 99.04

面; 公分

參考書目:面

ISBN 978-986-02-3195-3(平裝)

1. 海流 2. 潮流 3. 數值分析 4. 生態模擬

351.96

99007549

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—

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 (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587185

出版年月：中華民國 99 年 4 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港灣技術研究中心網站

定 價：200 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：1009901380

ISBN：978-986-02-3195-3 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(1/4) — POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬—			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN978-986-02-3195-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1009901380	運輸研究所出版品編號 99-41-7457	計畫編號 98-H3DA004
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計劃主持人：莊文傑 共同主持人：廖建明 研究助理：馬維倫、錢爾潔、陳正義、張麗瓊 聯絡電話：(04)26587185 傳真號碼：(04)26564415			研究期間 自 98 年 01 月 至 98 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			
報告內容重點摘要： <p>海流是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源、能源、及深層海水產業「永續經營及利用」的最根本關鍵課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。</p> <p>本研究為政府科技計畫地球環境科技群組固定期程之任務導向型一般研究計畫，全程研究期間為 4 年(98 至 101 年度)，主要的研究目標在達成準確模擬計算臺灣鄰近海域之洋流，並評估其對近岸海流之影響。本年為第 1 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 ETOPO2v2 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 ERSST 海面溫度資料庫、及 NODC 之 WOA05 水深分層溫鹽資料庫，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試行模擬計算，並對其水動力特性進行初步探討。</p> <p>相關研究結果顯示：在巢狀格網配置下，本研究雖曾應用推進(nudging)技術克服粗細格網之聯結銜接問題，但在臺灣鄰近海域之模擬應用仍發現，採用不同的格網範圍與解析度，將會模擬出不同特性之洋流流動；經檢討造成的原因，認為其應係應用時空解析度固定之海氣象資料庫作為共通趨動水動力所導致。儘管如此，在西北太平洋海域，考量溫鹽氣候年平均之水深分層特性，應用月平均之風場及氣壓場趨動，本研究仍可具體地模擬陳現臺灣鄰近海域之親潮、南海吹送流、及黑潮等特徵洋流之流動現象；另外，結合 NAO99b 潮位資料庫，本研究尚可在臺灣鄰近海域，模擬陳現綜合洋流與潮流效應之海流特性。</p>			
研究成果之效益： <ol style="list-style-type: none"> (1) 學術成就：發表國內外研討會學術論文 4 篇，並出版研究報告 2 冊。 (2) 技術創新：應用 POM 三維非線性海洋環流水動力模式，在國內透過合作研究方式，自力完成臺灣鄰近海域大尺度洋流流場的模擬計算環境建構，並進一步創新建構綜合洋流與潮流效應之海流流場。 			

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

可供本所或其他政府機關後續應用情形：

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

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99年4月	142	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：

密 機密 極機密 絕對機密

(解密條件：年 月 日解密，公布後解密，附件抽存後解密，

工作完成或會議終了時解密，另行檢討後辦理解密)

普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: Simulating the ocean circulation and evaluating its impacts on near shore currents on the seas around Taiwan (1/4)—Applying the POM model to simulating the ocean circulation on the seas around Taiwan.			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-3195-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901380	IOT SERIAL NUMBER 99-41-7457	PROJECT NUMBER 98-H3DA004
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Juang Wen-jye PRINCIPAL INVESTIGATOR: Juang Wen-jye, Liao Jian-ming PROJECT STAFF: Ma Wei-luen, Chien Er-jJier, Chen Cheng-yi, Chang Lee-chung PHONE: 04-26587185 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2009 TO December 2009
KEY WORDS: Ocean Circulation; Currents; Tidal Currents; Seas around Taiwan; POM; Numerical Model; Simulation; Impact Assessment			
<p>ABSTRACT:</p> <p>Currents and circulations are the artery of oceans. They mainly affect, not only the upwelling of generating fish farms, but also the transportation of coastal and seawater material, such as coastal sedimentations, suspended loads, chlorophylls, phytoplankton, ocean nutrients, etc. The study of ocean circulations adjacent to country, therefore, is the key program to promoting the ocean resources into sustainable managements and utilizations.</p> <p>The total period of this study scheduled to be 4 years (2009-2012). The main goal is set as simulating the ocean circulation and evaluating its impacts on near shore currents on the seas around Taiwan. During the first year, the purposes mainly focus on setting up and applying the 3-D model of POM, the Princeton Ocean Model, to simulate the ocean circulation on the seas around Taiwan. The three-layer nest grid scheme composed of the global ocean, the Pacific Ocean, and the seas around Taiwan is implemented. The nudging technology of flow velocities among grids boundaries is adopted. The ocean databases, such as the global topography of ETOPO2v2, wind and atmospheric pressure of NCEP/NCAR, sea surface temperature of NOAA/ERSST, and climatologically fields of in situ temperature and salinity of NODC/WOA05, are successfully linked.</p> <p>From the preliminary simulation results, it is found that the velocity nudging technology is adopted, though the flow patterns of circulation showed varieties and exhibited subtle characteristics among different grid resolutions. Reviewing the effects, the main causes should come from the linked ocean databases that only have been built with fixed temporal and spatial resolutions. Nevertheless, applying the implemented ocean databases, the characteristic ocean circulations, such as the Oyashio, the drift currents from the South China Sea, and the Kuroshio that appear on the seas around Taiwan, can all be successfully simulated and clearly presented. Moreover, cooperating with the tidal database of NAO99b, the currents that were simulated with synthetic tidal and ocean circulation effects are also studied and assessed.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 142	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	XI
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 文獻回顧	1-3
1.3 工作項目	1-6
1.4 預期成果	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 σ 座標轉換	2-6
2.2.4 外模式-水深積分方程式	2-9
2.2.5 邊界條件	2-10
2.3 數值方法	2-12
2.3.1 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
第三章 POM 模式執行環境建置	3-1
3.1 軟硬體設備建置.....	3-1
3.2 POM 模式操作檔案之概略說明.....	3-4
3.3 POM 模式應用之資料庫蒐集.....	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
第四章 模式測試與驗證.....	4-1
4.1 乾溼格網模式驗證.....	4-1
4.1.1 水平底床上水位漲退之模擬.....	4-1
4.1.2 複合底床上水位漲退之模擬.....	4-2
4.2 全球洋流模擬與初步驗證.....	4-4
4.3 臺灣鄰近海域之洋流模擬與初步驗證.....	4-10
4.3.1 巢狀格網配置之影響.....	4-12
4.3.2 模式初始值之探討.....	4-27
4.4 綜合洋流與潮流效應之海流模擬.....	4-29
第五章 結論與建議.....	5-1

5.1 研究目的與問題簡述.....	5-1
5.2 結論.....	5-2
5.3 建議.....	5-3
5.4 研究成果之效益.....	5-4
5.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形.....	5-5
參考文獻	參 1-1
附錄 1 POM 模式操作手冊	附 1-1
一、前言.....	附 1-2
二、模式架構.....	附 1-2
2.1 模式檔案與目錄架構.....	附 1-3
2.2 編譯與安裝.....	附 1-16
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 1-13
3.3 後置處理程式.....	附 1-21
3.4 命令腳本.....	附 1-23
四、繪圖與分析程式.....	附 1-25
五、操作範例說明.....	附 1-27
附錄 2 期末報告審查簡報資料.....	附 2-1
附錄 3 期末報告審查會議及審查委員意見處理表	附 3-1

圖目錄

圖 2-1 POM 模式所採用之 σ 座標系統 (MELLOR, 2003).....	2-9
圖 2-2 內外模式相嵌示意圖 (MELLOR, 2003).....	2-13
圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003).....	2-13
圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (MELLOR, 2003).....	2-14
圖 2-5 POM 內外模式之計算流程圖	2-16
圖 2-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖	2-20
圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程	3-3
圖 4-1 一維水槽之水平底床上退潮乾溼格網功能模擬	4-2
圖 4-2 一維水槽之水平底床上漲潮乾溼格網功能模擬	4-2
圖 4-3 複合底床上漲退潮乾溼格網功能模擬	4-3
圖 4-4 全球主要洋流的分布	4-5
圖 4-5 全球洋流模式計算範圍之地形水深圖及巢狀格網配置	4-6
圖 4-6 NCOM 全球洋流模式計算結果(BARRONET AL., 2007)與 POM 海象資料庫海表面溫度(SST)長期平均之對照比較	4-8
圖 4-7 NCOM 全球洋流模式計算結果(BARRONET AL., 2007)與 POM 海面水位變動(SSH)長期平均之對照比較.....	4-9
圖 4-8 應用 POM 全球洋流模式模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右) 西北太平洋海域之月平均洋流流場	4-9
圖 4-9 巢狀格網母子格網邊界範圍及邊界緩衝區示意圖	4-13
圖 4-10 西北太平洋海域之 N1 與 N2 巢狀格網計算範圍與地形水深	4-15

- 圖 4-11 臺灣鄰近海域之 T1 與 T2 巢狀格網計算範圍與地形水深..4-15
- 圖 4-12 西北太平洋 N1 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場.....4-16
- 圖 4-13 西北太平洋 N2 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場.....4-16
- 圖 4-14 西北太平洋格網 N1(左上)與 N2(右上)及全球格網 G1(下)在 1956 年 2 月於西北太平洋海域模擬月平均洋流流場結果之對照比較4-17
- 圖 4-15 西北太平洋格網 N1(左上)與 N2(右上)及全球格網 G1(下)在 1956 年 8 月於西北太平洋海域模擬月平均洋流流場結果之對照比較4-18
- 圖 4-16 臺灣鄰近海域 T1 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場.....4-21
- 圖 4-17 臺灣鄰近海域 T2 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場.....4-21
- 圖 4-18 臺灣鄰近海域格網 T1(左上)與 T2(右上)及西北太平洋格網 N2(下)在 1956 年 2 月於臺灣鄰近海域模擬月平均洋流流場之對照比較4-22
- 圖 4-19 臺灣鄰近海域格網 T1(左上)與 T2(右上)及西北太平洋格網 N2(下)在 1956 年 8 月於臺灣鄰近海域模擬月平均洋流流場之對照比較4-23
- 圖 4-20 臺灣鄰近海域 20M 水深層之實測分季(春、夏、秋、冬)平均流場圖(資料來源：國科會海洋資料庫)4-25
- 圖 4-21 臺灣東部通過 23.5°N 之水深斷面 1956 年 8 月之月平均海流流速分布(左上：全水深斷面；右上：0~600 米深局部斷面；左下：流速東西向分量；右下：流速南北向分量).....4-26

圖 4-22 臺灣東部通過 23.5°N 水深斷面模擬海流之月平均流量時序圖	4-27
圖 4-23 自冷啟動模擬 1 年後與前一年同月之海面流速相對差值分布	4-28
圖 4-24 自冷啟動模擬 10 年後與前一年同月之海面流速相對差值分布	4-28
圖 4-25 特定海域地點(不同水深)年平均海面流速相對差異絕對值之冷 起動穩定計算調適期分析	4-29
圖 4-26 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(上)及僅具潮流(下)效應之海表 面模擬流速與水位分布(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近 干潮期)	4-31
圖 4-27 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(上)及僅具潮流(下)效應之海表 面模擬流速與水位分布(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段近 滿潮期)	4-32
圖 4-28 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之 海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣 海峽中段在退潮段近千潮期；T=94 HR)	4-33
圖 4-29 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之 海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣 海峽中段在漲潮段干潮期；T=96 HR)	4-34
圖 4-30 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之 海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣 海峽中段在漲潮段近平潮期；T=98 HR)	4-35
圖 4-31 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之 海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣 海峽中段在漲潮段過平潮期；T=100 HR)	4-36

圖 4-32	臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段滿潮期； $T=102$ HR).....	4-37
圖 4-33	臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近平潮期； $T=104$ HR).....	4-38
圖 4-34	臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近千潮期； $T=106$ HR).....	4-39
圖 4-35	龍洞海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化	4-40
圖 4-36	台中港海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化	4-40
圖 4-37	安平港海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化	4-41
圖 4-38	澎湖海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化	4-41

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 4-1 乾溼格網功能模擬驗證之計算條件	4-4
表 4-2 應用 POM 模式進行洋流模擬計算之相關重要設定參數	4-6
表 4-3 POM、SZM 與 NCOM 全球洋流模式之特點比較	4-8
表 4-4 巢狀格網之計算範圍與相關計算參數表	4-14
表 4-5 巢狀格網計算所應用之海氣象資料庫與電腦執行效能評估	4-14
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 2-29

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 模式，美洲則有 POM 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。

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台灣東岸，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、台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，台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：「黑潮是上天給台灣最好的禮物，也是台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；如果台灣率先投入，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」之第一分年研究課題。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，豐富數位台灣之海洋 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，再籍實測資料，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為二維和三維模式。而常見的二維模式又有水平二維模式和垂直二維模式兩種。其中，水平二維模式多應用於水平運動尺度遠大於垂直尺度的波動特性上，如潮汐的流動 (Leendertse, 1967; Stelling, 1986; 黃, 2001)，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，以有限差分法求解連續方程式和動量方程式；而垂直二維模式，如 Bouden 和 Hamilton (1975)、Park 和 Kuo (1993) 等，其中 Park 和 Kuo 所發展的模式稱為 MODEL-2D，以定蓋 (rigid lid) 假設配合 Munk-Anderson 紊流模式，將其應用範圍擴展至河川水質模擬。

利用水平二維模式針對臺灣海域潮波特性研究，如莊 (2000) 蒐集整理臺灣環島及中國大陸沿岸潮汐實測與調和分析資料，就實測潮汐特性與地形、水深之關聯性做詳細之剖析，依據臺灣海峽明顯之陸架地

形進行潮波協振盪之理論解析，並使用水深積分後的二維水動力計算模式之計算結果探討潮波與潮流之動力及運動特性，說明臺灣海峽水域潮差特別顯著之原因，應係半日潮波在狹長海峽渠道之特殊長度陸架地形上呈現潮波協振盪共振所導致，且臺灣海峽潮波之總體運動方向應依據全日潮波之傳遞方向而判定，全日潮波在臺灣海峽水域內之運行方向為由北往南單一方向傳遞。

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

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

近岸的水平正交座標系統，進行大範圍水力特性計算，延伸範圍包括墨西哥灣流，並可同時模擬如溫度、鹽度等水理特性。而 Oey (2005；2006)則增加一乾溼格網技巧，延展 POM 模式於沿海地區對於海水漲退或溯升降之模擬。

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

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

東北季風的影響中國沿岸流阻擋海峽中向北流的流動，於彰雲隆起北側形成一逆時針渦流。

本研究欲利用 POM 模式建立臺灣鄰近海域之三維洋流模式，透過模式建立，以其模式能應用於臺灣鄰近海域洋流特性的解析，並發展前置與後置處理軟體與流程，簡化處理洋流數值模式所產生大量數據的流程，以期模式計算結果能完整的呈現，完成「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」研究之先導研究。

1.3 工作項目

針對臺灣鄰近海域，為應用 POM 海洋數值模式試行進行黑潮等特徵洋流之模擬，本研究擬定重點工作項目如下：

- (1) 建置個人電腦 Linux 作業系統下之 POM 海洋數值模式作業環境，包含數值模擬及成果展示所需之軟、硬體作業環境。
- (2) 國內外洋流數值模擬計算相關水深地形與海氣象資料庫之引進、建置、及應用；
- (3) 採行合作研究方式，引進及建置美國普林斯頓大學具有考量乾濕邊界效應最新出版之 POM 海洋數值模式；
- (4) 利用自由軟體或商業繪圖軟體，進行前、後置處理程序的建立，以縮短整理 POM 模式計算所需初始資料與邊界條件的處理時間。
- (5) 應用美國普林斯頓大學最新出版之 POM 海洋數值模式，模擬計算臺灣鄰近海域之洋流；
- (6) 臺灣鄰近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、繪圖、及展示；
- (7) 整理研究成果，撰寫 POM 模式操作手冊及研究報告。

1.4 預期成果

本研究之預期成果與應用目標，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) 試行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效應之優勢海流作用力與大尺度之優勢輸沙方向，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。
- (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

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

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

POM 三維海洋環流數值模式為一源碼開放軟體，並具有后列的特點：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 σ 座標系統，可解析地形梯度具大變化的海域；4. 數值技巧分為計算二維流場的外模式和計算三維流場的內模式，水平及垂直方向的時間差分分別採用顯式及隱式形式，可計算自由表面，且可大量節省電腦運算時間；5. 包含熱動力學理論，可輸入或計算熱含量和熱通量，也可輸入邊界水位、邊界流速或大尺度的風應力求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。

2.2 控制方程式

2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

POM 模式的基本控制方程式為質量守恆和動量守恆方程式。為了簡化 POM 的方程式，模式採用了兩個假設，第一個假設為流體為不可壓縮，則在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。第二個假設則是使用包氏近似(Boussinesq approximation)簡化流體的動力方程式，因此流體的水平方向動量方程式可寫為：

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

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

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

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

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

將式(2-4)的靜水壓方程式作垂直積分，因此可得流體中的壓力為：

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

溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

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

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

其中 θ 表示溫度， S 為鹽度， K_H 為溫度(熱能)和鹽度的垂直渦漩混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)，現階段兩者係採用相同之係數值， F_θ 為水平方向由溫度擴散產生之側向混合力， F_S 為水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力。

至於海水密度，因其為溫度、鹽度、和壓力之函數，故可表示為：

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

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

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

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

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

式(2-11)中的 ϕ 用以分別表示 θ 和 S 。

A_M 為動量之水平渦旋擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式 (Smagorinsky et al., 1965)求得，其表示式為

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

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

2.2.2 紊流閉合模式

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

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

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

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

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

其中 L 表示為：

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

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

動量以及熱能和鹽度之垂直渦旋擴散係數分別表示如下：

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

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

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

其中 S_M 、 S_H 、 S_q 定義為穩定函數，而以下式表示：

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

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

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

上二式中

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

其中參數分別為

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

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

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

2.2.3 σ 座標轉換

由於傳統卡式座標系統 (x, y, z, t) 在地形水深變化複雜處計算上不方便，POM 模式利用 Phillips (1957) 所創立之 σ 座標系統，將所有的控制方程式自卡式座標系統轉換至 σ 座標系統。 σ 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。 σ 座標系統 (x^*, y^*, σ, t^*) 與卡式座標系統間的轉換關係如下所示：

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

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

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

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

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

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

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 σ 座標系統，而經此座標轉換後，垂直方向之範圍，將由 $z = \eta$ (水面) 至 $z = -H$ (水底)，轉變為 $\sigma = 0$ 至 $\sigma = -1$ ，如圖 2-1 所示。

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

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

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

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

而轉換至 σ 座標系統之連續方程式可改寫為：

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

動量守恆方程式則轉換為：

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

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

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

溫度守恆方程式：

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

鹽度守恆方程式：

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

紊流的動能 $q^2 / 2$ 及紊流的尺度參數 l 表示：

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

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

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

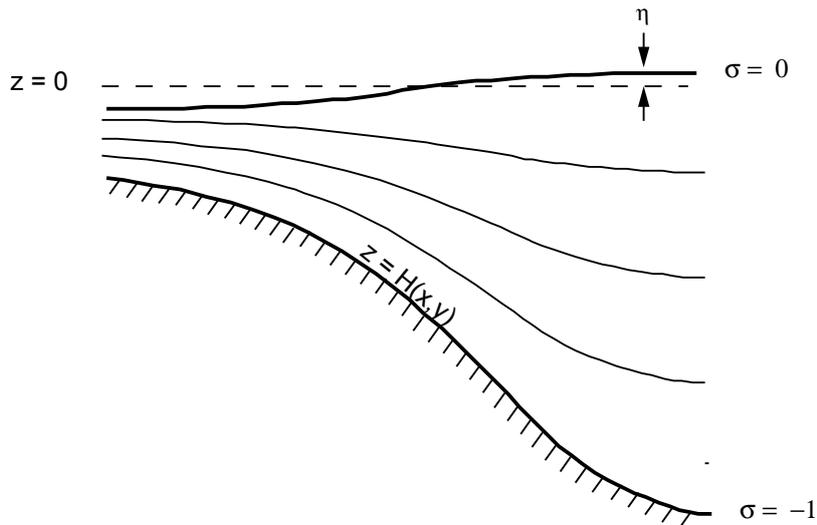


圖 2-1 POM 模式所採用之 σ 座標系統 (Mellor, 2003)

2.2.4 外模式-水深積分方程式

由於海洋變動中包含了快速的慣性重力波與緩慢變化的內波，為了可以有效率的模擬海洋變動，故將上述的三維方程式利用水深積分技巧轉換成水平二維模式，如此將模式分成外模式之水平二維模式來模擬快速變動的慣性重力波；而內模式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，其分割技巧(Simons, 1974; Madala 和 Piacsek, 1977)可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷。因此將式(2-31)至(2-33)由 $\sigma = -1$ 積分至 $\sigma = 0$ 的水深積分方式消除所有垂直方向的變化，則二維方程式可表示成，

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

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

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

式中，

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

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

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

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

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，

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

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

在外模式運算時，式(2-39)與(2-40)之等號右側項保持為定值，而在內模式計算時才重新更新其值。若單獨執行 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)的垂直邊界條件

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

動量方程式，式(2-32)、(2-33)兩式的表面邊界條件

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

底部邊界條件

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

其中

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

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

溫度和鹽度方程式，式(2-34)、(2-35)的邊界條件

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

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

而紊流閉合方程式，式(2-36)、(2-37)的邊界條件：

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

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

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

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

開放邊界水位邊界條件

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

式中

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

其中 H 為總水深， g 為重力加速度， \bar{U} 為垂直平均速度， η 為自由表面水位， BC 表示由使用者自行指定。

2.3 數值方法

2.3.1 網格配置

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

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

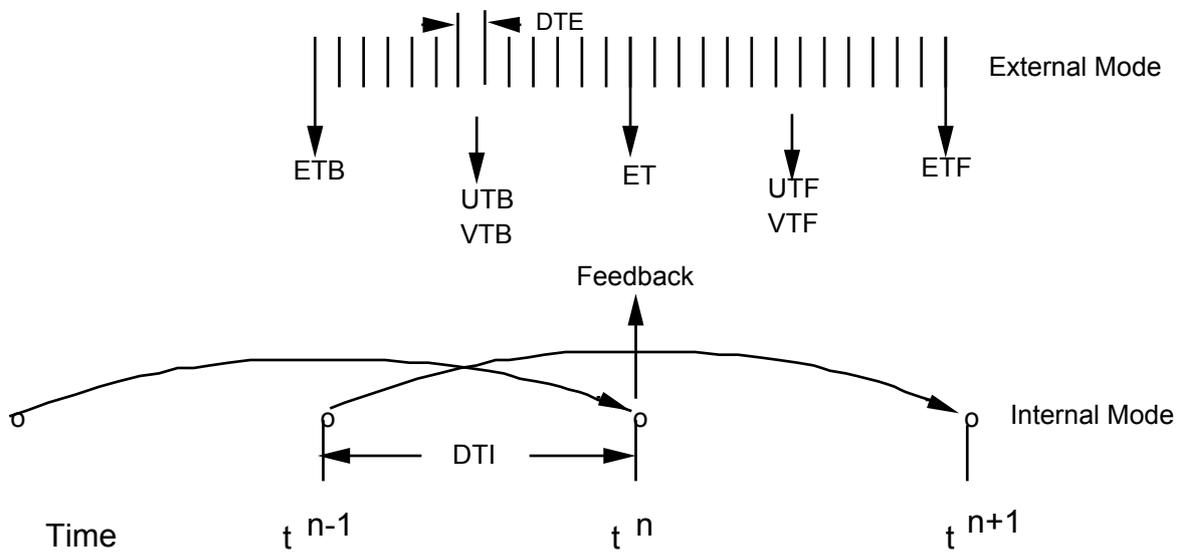


圖 2-2 內外模式相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

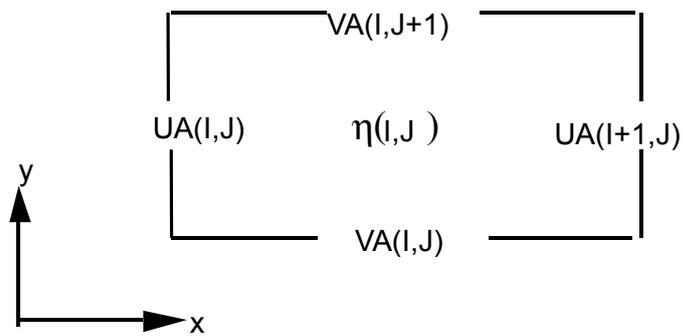


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

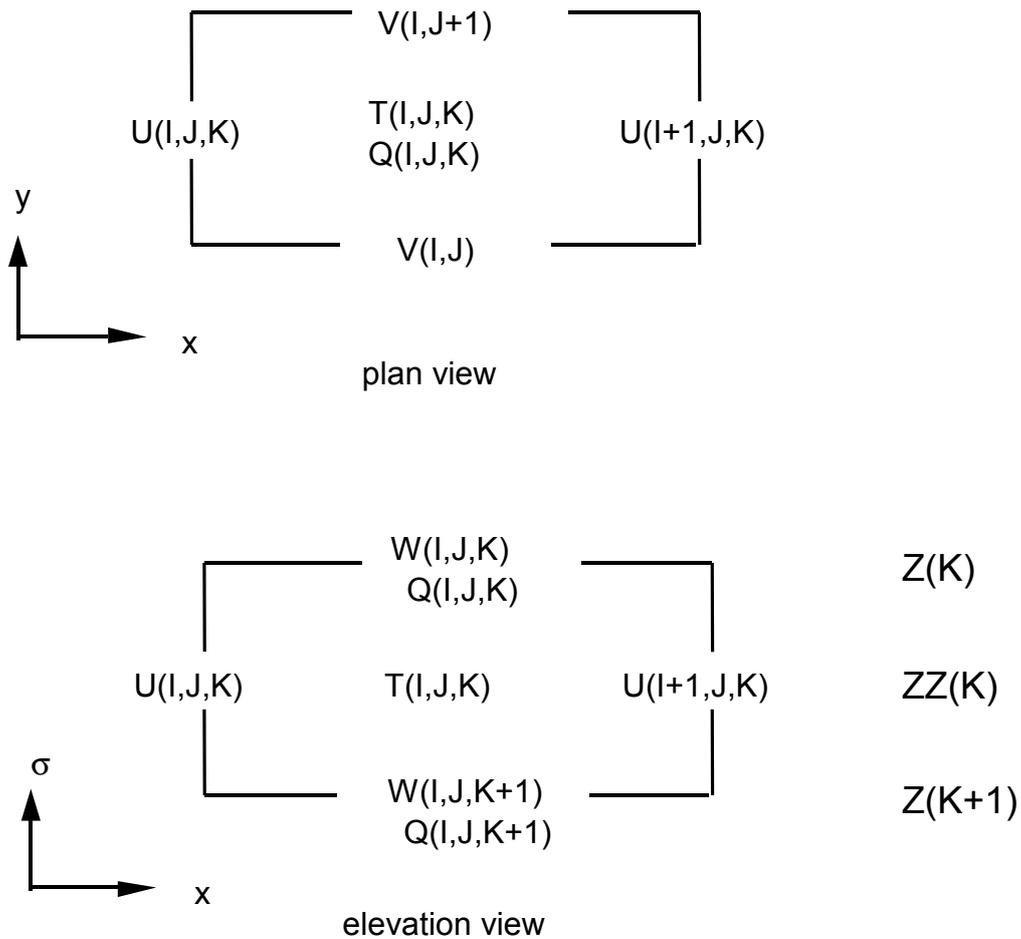


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)
 (Q 表示 K_m 、 K_h 、 q^2 或 $q^2 l$; T 表示 T 、 S 或 ρ)

2.3.2 數值離散

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

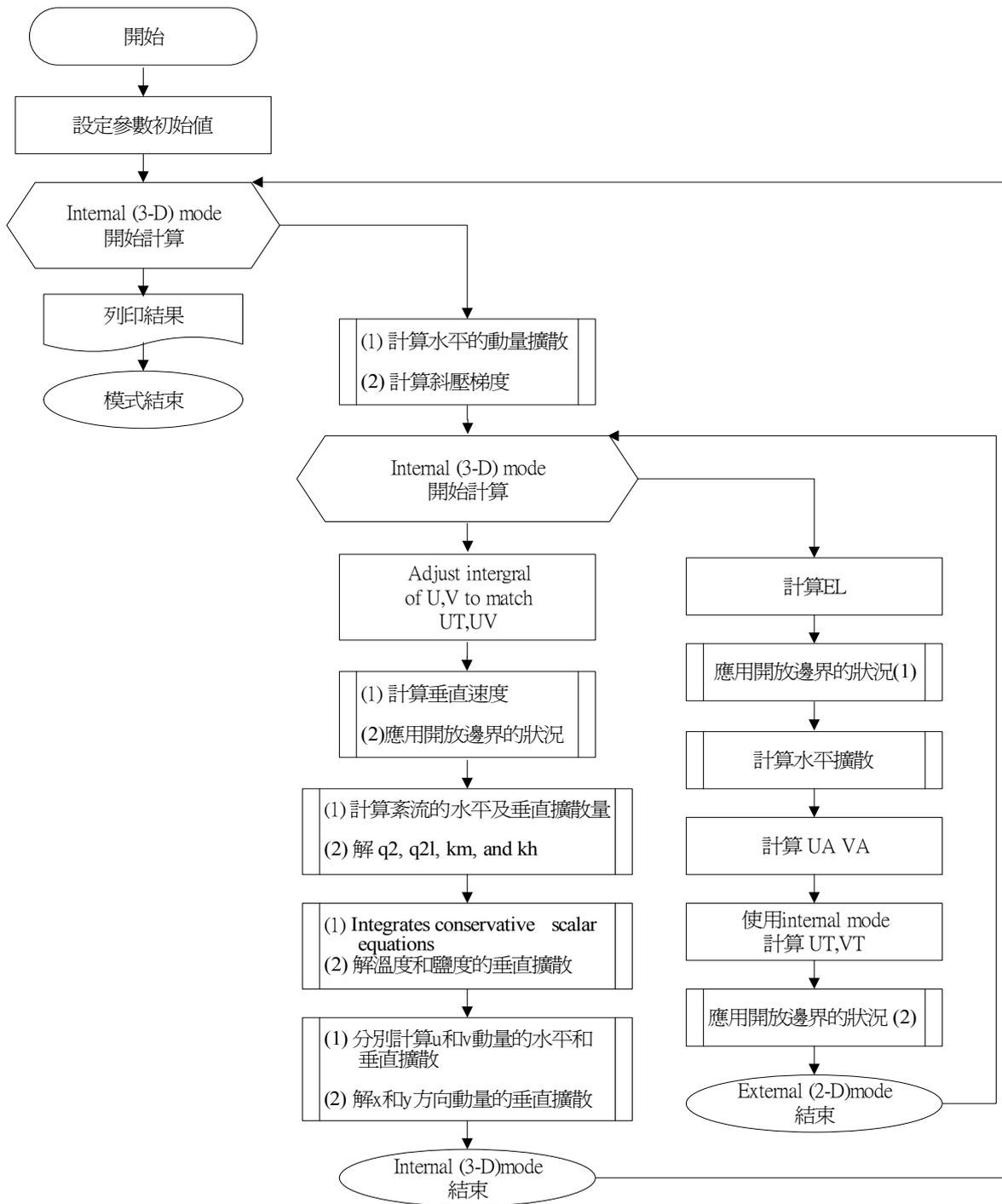


圖 2-5 POM 內外模式之計算流程圖

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

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

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：

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

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

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

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

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垂直邊界使得流體

無法通過，但此一假設在潮間帶與容易溢淹處是不適宜的。為了合理地模擬海岸地區流體溯升、溯降或溢淹，在數值技巧中必須加入乾溼格網(wetting and drying, WAD)機制來模擬流體的運動。在最新版本 POM 模式中亦加入此種乾溼格網的模擬機制(Oey, 2005; 2006)，本研究亦使用此一技巧來模擬沿海乾溼地帶的流況，以下則簡述此一數值技巧。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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：

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

其中 z_b 為 $k = kb - 1$ 層之厚度。

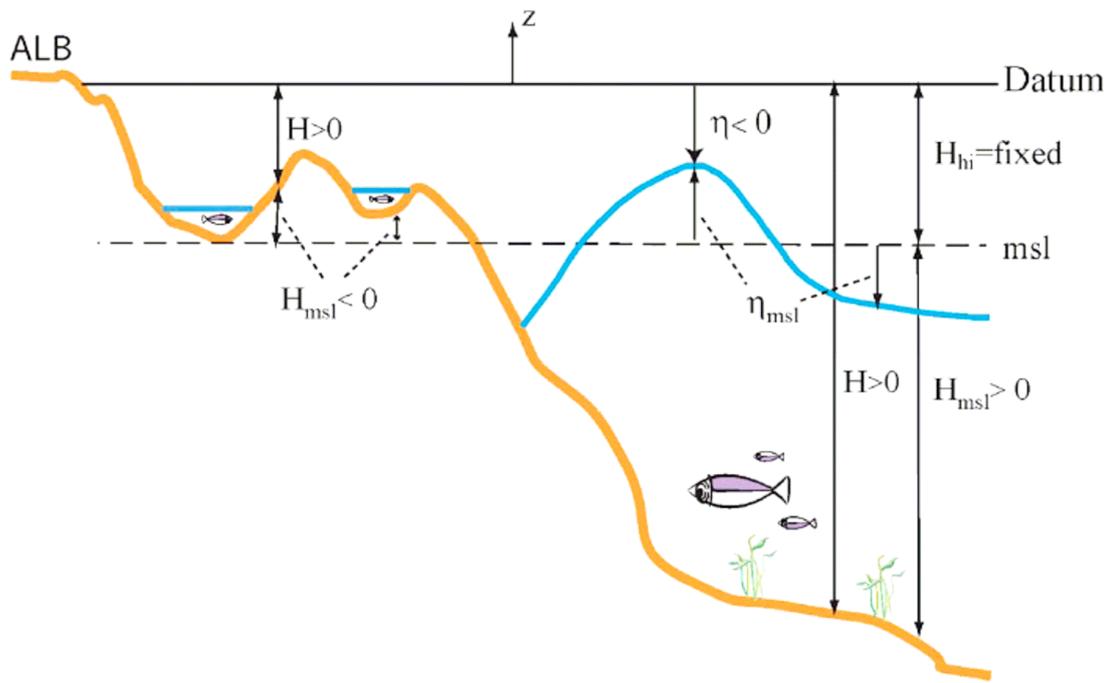


圖 2-6 以平均海平面為基準之乾溼格網定義示意圖

第三章 POM 模式執行環境建置

本研究引進建置 POM 三維海流模式，再試行將其應用於臺灣鄰近海域之海流模擬，研究中，除了對海流特性作探討外，並將發展前置與後置處理軟體，籍以簡化處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。為了有效落實研究執行目的，本章將描述模式建置過程與所需要的軟硬體設備。

3.1 軟硬體設備建置

本研究就現階段及未來應用之需求，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。在模式建置方面，POM 模式主程式，並未提供完整的資料輸入選項，為了方便模式執行與使用，本研究因此進行輸入界面的發展，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，俾使其可以充分利用八核心進行運算以大量結省模式測試運轉之時間。另外，在電腦作業系統方面，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，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 模式為一源碼開放軟體，其利用標準 FORTRAN 77 程式語言開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。為了程式執行與開發，本研究係以 Intel Fortran for Linux 來解決編譯程式的問題，採用之主因，係考量 Intel Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，並有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點。

除了編譯器的設定外，由於 POM2K 以後的版本增加了 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 4.0.1 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。

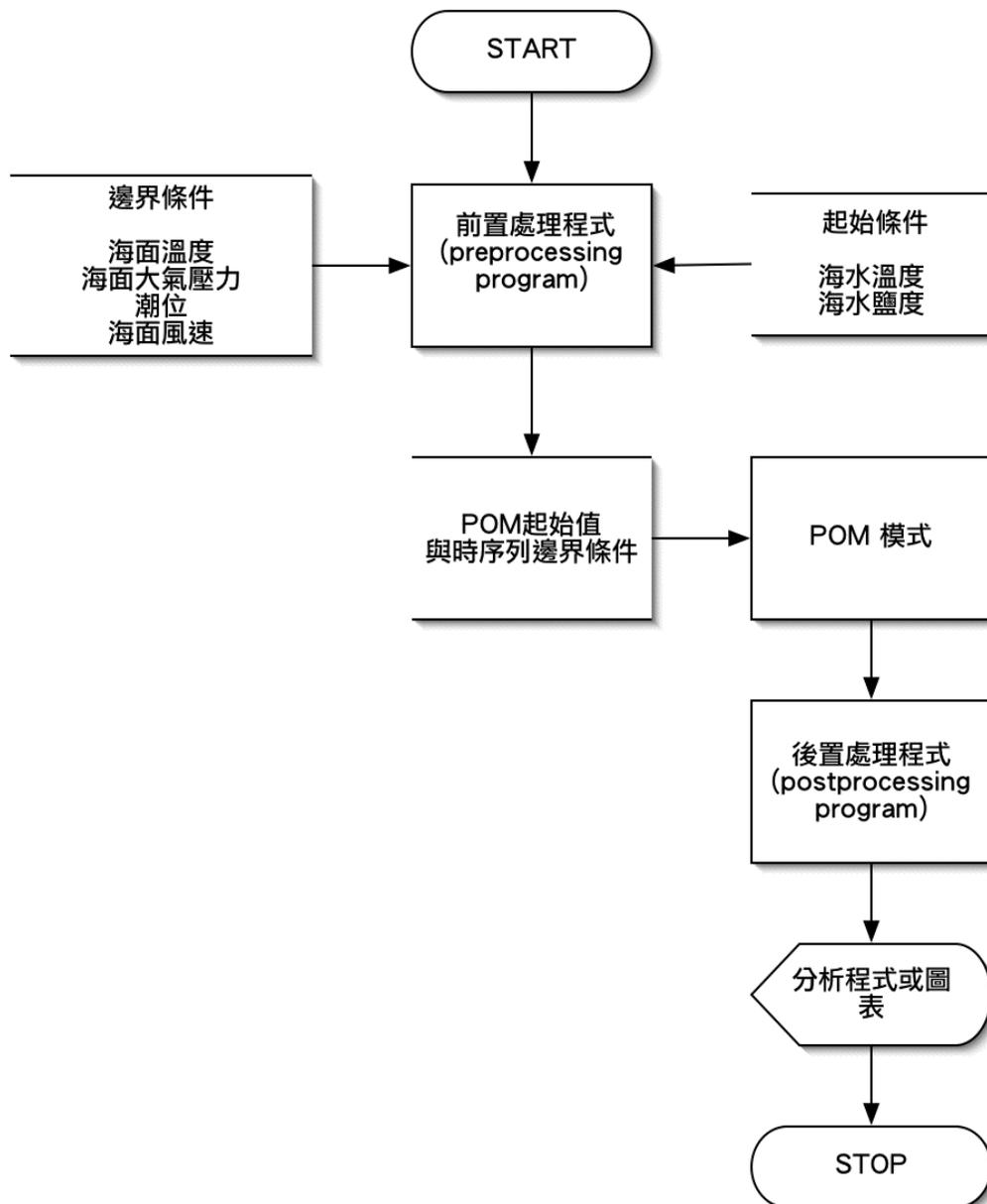


圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程

3.2 POM 模式操作檔案之概略說明

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 而開發命令腳本，使用者可以透過此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，省去資料輸入檔的製作不便之處。

3.3 POM 模式應用之資料庫蒐集

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 Guassian Grid，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。表 3-1 為 NCEP/NCAR 分析風場資料格式說明。

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 T62 Gaussian grid 0.0E~358.12E，88.542S~88.542N
變數(variable)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海平面 10 公尺高(10m)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-2 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式

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

3.3.3 海面溫度

關於海面溫度資料，本研究蒐集了 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 1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude global grid 0.5E~359.5E, 89.5S~89.5N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-4 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式

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

3.3.4 海洋鹽度與溫度

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 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。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) 1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude global grid 0.0E~359.0E，89.5S~89.5N
變數(variable)	溫度(temperature)、鹽度(salinity)
高度(level)	水深方向 33 層
資料型式(type)	ASCII

3.3.5 全球地形水深

關於全球地形水深資料，本研究蒐集了 NOAA/NGDC (National Geophysical Data Center)之 ETOPO2v2g 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，資料發表時間為 2006 年，空間解析度為 2 分，資料範圍涵蓋全球陸地與海洋，資料網址為 <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html>。表 3-6 為 ETOPO2v2g 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 2 minute latitude x 2 minute longitude global grid 0.0E~360.0E , 0.0S~0.0N
變數(variable)	地形水深高程(topograhly & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

第四章 模式測試與驗證

本章說明 POM 模式的測試模擬計算與驗證，其中包含乾溼格網、洋流模擬、與綜合洋流與潮流效應之海流模擬，並討論模式格網與起始值之冷起動穩定測試結果，據以確立臺灣鄰近海域之洋流模擬系統。

4.1 乾溼格網模式驗證

為了測試 POM 模式中乾溼格網之功能，本節計算範例利用 POM 模式中之二維模式功能，驗證不同漲退潮情況下之水位乾溼變化。

4.1.1 水平底床上水位漲退之模擬

利用一水平底床之漲退潮計算驗證模式，設定數值格網間距為 0.625 公里，左側 $x=0$ 為封閉邊界，右側 $x=25000$ 為開放邊界，起始水位高為 $D_0=1.3$ 公尺，而開放邊界水位逐時變化如下：

$$\begin{aligned} \eta(t) &= D_0 \cos(\omega t), \quad 0 \leq t < 1.25 \text{ days} \\ &= 0, \quad 1.25 \text{ days} \leq t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

其中 $\omega = 2\pi/(5 \text{ days})$ ，水平底床上退潮之模擬結果因此可得如圖 4-1 所示，由圖觀察可見，底床上之水體隨著右側邊界水位降低而慢慢地退出計算領域，表示模式明確可模擬出退潮的水位乾溼變化現象。

另外，水平底床上漲潮之模擬計算設定與結果如圖 4-2 中所示，仍設定數值格網間距為 0.625 公里，圖中左側為封閉邊界，右側亦為開放邊界，開放邊界水位逐時變化如下所述：

$$\begin{aligned} \eta(t) &= D_0 \sin(\omega t), \quad 0 \leq t < 2.5 \text{ days} \\ &= 1, \quad 2.5 \text{ days} \leq t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

其中 $D_0=1.0$ 公尺； $\omega = 2\pi/(10 \text{ days})$ ，起始水位如圖中之虛線所示，左側假設有一水位等於 0.4 公尺之落差跳躍。觀察圖 4-2 所示之模擬結果

可知，隨著右側水位漸高漲，水流漸漸進入計算領域中並淹沒 $x=3000\sim 5000$ 起始水位為零海床，而左側水位亦受到重力影響水位漸漸降低並向右側移動。由此測試可證，POM 模式中之乾溼格網功能，確實可模擬出水位變化而產生之乾溼現象。

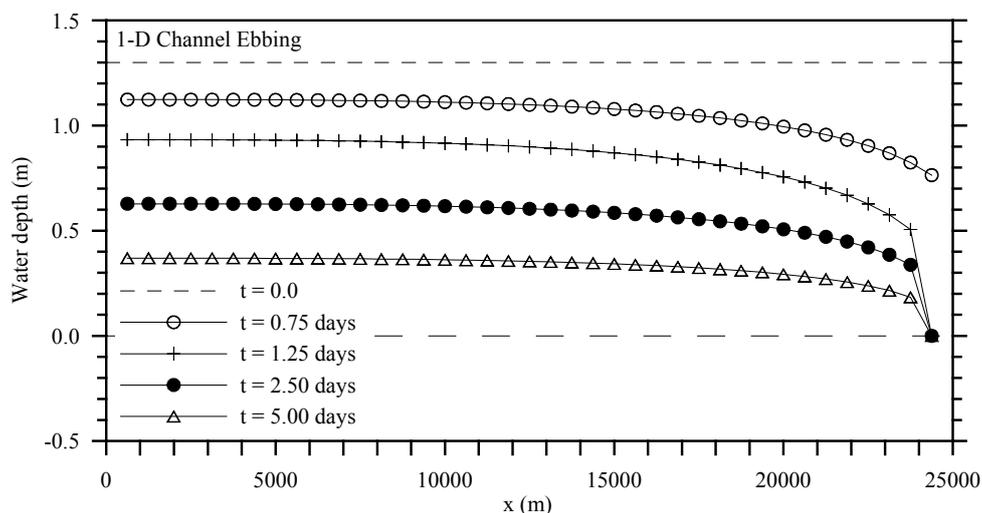


圖 4-1 一維水槽之水平底床上退潮乾溼格網功能模擬

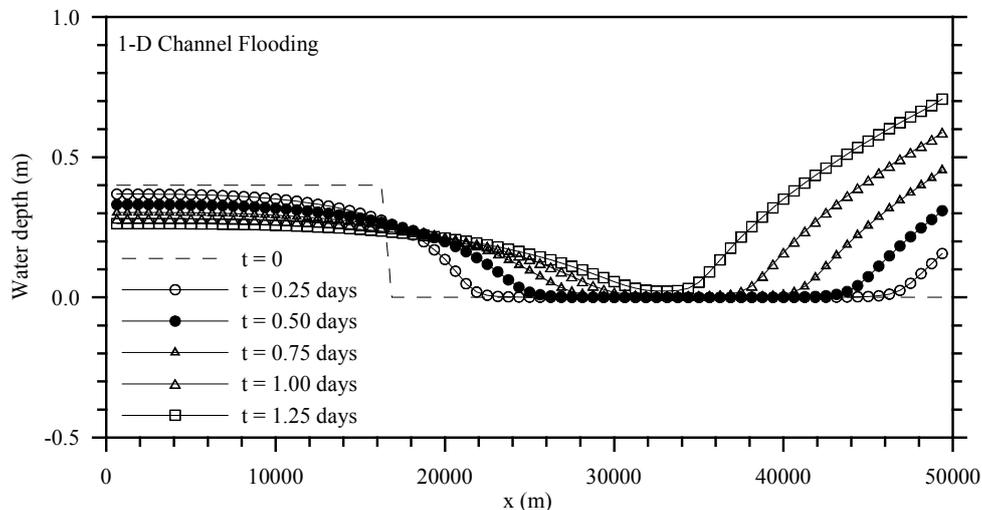


圖 4-2 一維水槽之水平底床上漲潮乾溼格網功能模擬

4.1.2 複合底床上水位漲退之模擬

本節利用階梯與隆起地形所組合之複合底床上之水位漲退，來進一步測試 POM 模式之乾溼格網功能。複合底床地形水深如圖 4-3 所

示，格網間距取為 0.625 公里，左側為陸海交界之封閉邊界，右側為開放海域邊界，其上之逐時水位變化設定如下式：

$$\eta(t) = D_0 \sin(\omega t), \quad 0 \leq t < 0.5 \text{ days} \dots\dots\dots(4-3)$$

式中， $D_0 = 10$ 公尺、 $\omega = 2\pi / (1.0 \text{ day})$ 。模擬結果如圖 4-3 所示，圖中水面線下之顏色代表二維水深平均流速。由圖觀察可看出，漲潮段之流速為負，表示水向左流動；反之，退潮段流速為正，表示水流出計算領域外；另外，隨著右側水位漸高，水流漸漸淹沒地形較低之處，而後由於隆起地形的影響，漲潮時由於水位增高且高於隆起處，使得水流進入岸邊低窪處，而當退潮時即陳現被侷限於低窪處的現象。至於本節驗證計算之重要模式參數設定，綜合如表 4-1 所示。

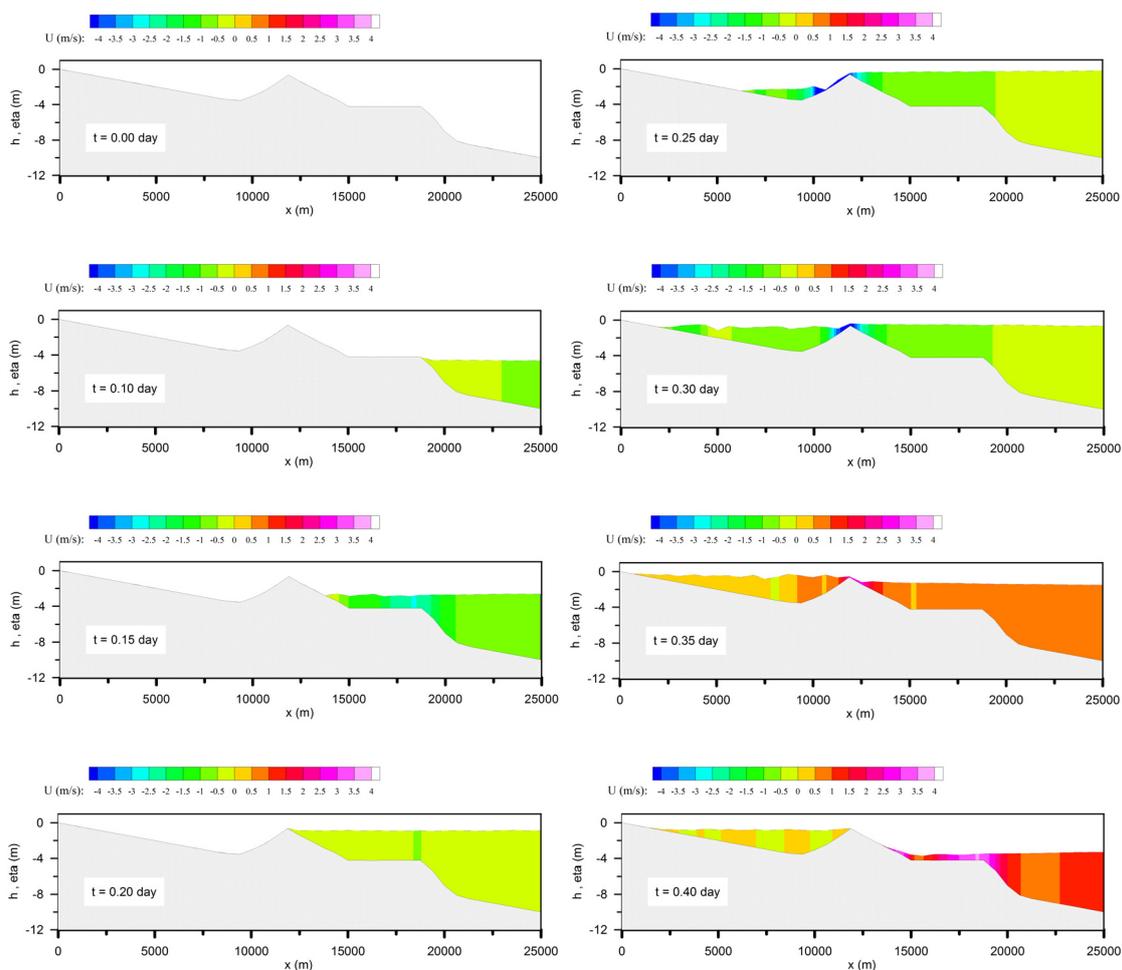


圖 4-3 複合底床上漲退潮乾溼格網功能模擬

表 4-1 乾溼格網功能模擬驗證之計算條件

方案	格網數 ($i \times j \times k$)	計算時距 (秒)	重要參數
一維底床退潮	41x41x11 $\Delta S = 0.625\text{km}$ $L = 25,000\text{m}$	dte=6	mode=2 prtd1=0.0416667 cbcmin=0.01 hc=0.05
一維底床漲潮	81x41x11 $\Delta S = 0.625\text{km}$ $L = 50,000\text{m}$	dte=6	mode=2 prtd1=0.0416667 cbcmin=0.05 hc=0.05
複合底床漲退潮	41x41x11 $\Delta S = 0.625\text{km}$ $L = 25,000\text{m}$	dte=3	mode=2 prtd1=0.05 cbcmin=0.0 hc=0.05

4.2 全球洋流模擬與初步驗證

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

於緯度 30 至 60 間西風盛行，西風帶作用下的西風漂流向東流動遇大陸後，向兩側的高緯低緯分流形成補償流。向低緯流的洋流有：北太平洋的加利福尼亞洋流、南太平洋的秘魯洋流、北大西洋的加那利洋流、南大西洋的本吉拉洋流、南印度洋的西澳洲洋流。而西風漂流遇到陸地後向北分支形成的補償流、極地東風帶形成的中高緯大洋西岸的洋流組成北半球中高緯海區的氣旋型大洋環流。該環流在北太平洋上有、北太平洋暖流、阿拉斯加洋流、千島寒流。在北大西洋上有、北大西洋暖流、

挪威暖流、東格陵蘭寒流。

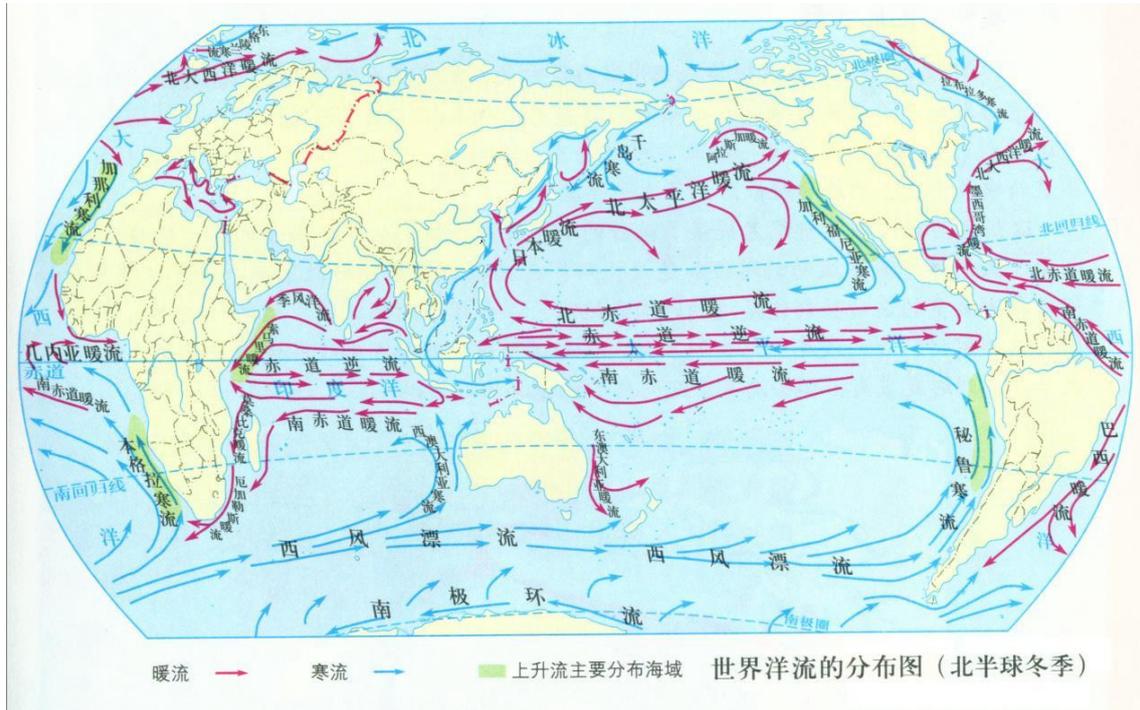


圖 4-4 全球主要洋流的分布

而北印度洋陸地較多，風場與其他二洋亦有所不同，太平洋與大西洋於北半球的副熱帶環流不見於此處。北印度洋受南亞季風的影響，冬季盛行東北季風，形成東北季風漂流，夏季盛行西南季風，形成西南季風漂流。

風力通常是洋流之原始趨動水動力，鑒此，欲模擬計算洋流之大規模流動特性，用以模擬計算所設定之海域範圍一般皆甚寬廣。雖然本研究目的在於模擬臺灣鄰近海域之洋流，但為了取得正確的模式邊界條件，故首先必須進行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，籍以提高臺灣鄰近海域洋流模擬的解析度。

本節因此從建立全球洋流模式著手，計算領域之選定，南至南極洲，北至北緯 75 度，東西邊界互相連接為一週期性邊界，圖 4-5 所示即為全球計算海域範圍之地形水深圖，圖中並陳現本研究所規劃之巢狀格網架構，資料來源為表 3-6 所示 NOAA/NGDC 2006 年版之 ETOP2v2g 地形水深資料庫，格網解析度為 2 分；邊界條件方面，海面溫度採用表 3-4 所示

NOAA ERSST V3 的月平均資料庫，其資料範圍為 1854 年 1 月至今；海面風場與氣壓資料採用表 3-1 及表 3-2 所示之 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的月平均大氣資料庫，其資料範圍為 1948 年至今；模式鹽度與溫度起始資料以表 3-5 所示 WOA05 海洋資料庫的年平均氣候值設定。關於模式之模擬計算設定，其起始時間設定為 1948 年 1 月 1 日 0 時，計算積分時距為 30 秒，並進行為期 10 年之逐月洋流模擬，表 4-2 所示為應用 POM 模式進行洋流模擬計算之相關重要參數設定。

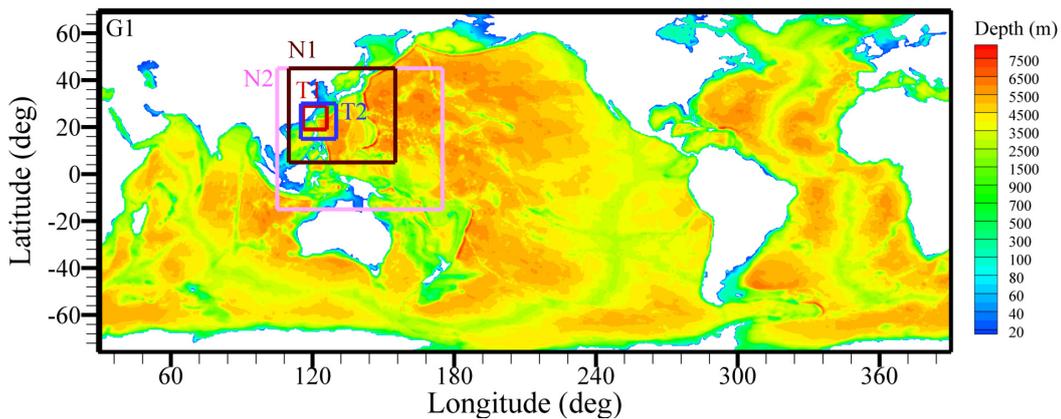


圖 4-5 全球洋流模式計算範圍之地形水深圖及巢狀格網配置

表 4-2 應用 POM 模式進行洋流模擬計算之相關重要設定參數

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

本研究所建立之 POM 全球洋流模式，其主要的功用是在提供巢狀格網次網格計算海域之邊界條件，因此，其正確性將會對巢狀格網次網格計算海域之洋流特性造成影響，而為了驗證本研究所建置全球洋流模式之正確性與合理性，故引入美國 Navy Research Laboratory (NRL) 之 NCOM (Navy Coastal Ocean Model) 全球模式 (Martin, 2000) 之模擬結果來加以比較。值得注意的是 NCOM 模式亦是架構在 POM 模式之上，但採用 SZM 模式 (Martin et al., 1998) 的部分特點，大部份理論與數值技巧與 POM 模式相同，其最大之差異是 SZM 模式在垂直方向採用 z/σ 混合式格網，惟在上層仍採用與 POM 模式相同之 σ 座標，下層則使用 z 座標，如此據以避免採用 σ 座標因底床陡峭所產生壓力梯度估算誤差之缺點。另外，NCOM 模式採用兩者之特點籍以提供更廣泛選項以針對不同案例進行模擬。表 4-3 所示為 POM、SZM 與 NCOM 全球洋流模式特點之比較。圖 4-6 所示為 NCOM 全球洋流模式之 SST (sea surface temperature) 模擬結果與 POM 全球洋流模式所採用的 SST 資料庫年平均值之比較。由圖觀察比較可見，兩者間 SST 之分佈變化情況甚相近似。圖 4-7 所示則為 NCOM 全球洋流模式於 1998~2000 年間太平洋海域之年平均 SSH (sea surface height) 模擬結果 (Barron et al., 2007)，與本研究應用 POM 全球洋流模式所建立 1970~1980 年間太平洋海域 SSH 年平均值之模擬計算結果比較，其中，NCOM 模式空間解析度為 $1/8^\circ$ ，垂直格網共有 41 層之 z/σ 混合式格網，並採用 NRL 之 MODAS 同化系統進行同化校正。由圖 4-7 觀察比較可見，雖然兩者間之模擬時間不同，但以年平均値觀點比較，仍充分顯示兩者間之 SSH 分布情況具有相近的一致性。

透過以上簡單之模式結果驗證可見，本研究所建置之 POM 全球洋流模式，應可重現信風帶東風之明確影響，同時在西太平洋產生較高水位之情況，故初步認定，本研究所建置之 POM 全球洋流模式應可重現全球洋流之流動。圖 4-8 所示即為本研究應用 POM 全球洋流模式所得 1956 年 2 月與 8 月西北太平洋海域之月平均洋流流場，圖中洋流流速之強弱與流向，除以箭矢長短、方向表示外，尚以色階深淺代表。萃取此全球洋流模式之模擬結果作為巢狀格網次網格計算海域之起始與邊界資料，因此可縮小模擬計算範圍並提高解析度，從而以巢狀格網計算方式，詳細模擬計算臺灣鄰近海域之海流流動。

表 4-3 POM、SZM 與 NCOM 全球洋流模式之特點比較

POM	SZM	Global NCOM (Barron 等人, 2007)
Primitive Equation	Primitive Equation	Primitive Equation
Incompressible	Incompressible	Incompressible
Hydrostatic	Hydrostatic	Hydrostatic
Boussinesq	Boussinesq	Boussinesq
Free Surface	Free Surface	Free Surface
Smagorinsky Horizontal Mixing	Grid-Cell Number Horizontal Mixing	Smagorinsky Horizontal Mixing
Mellor-Yamada Level 2.5 Vertical Mixing	Mellor-Yamada Level 2 Vertical Mixing	Mellor-Yamada Level 2.5 Vertical Mixing
Quadratic Bottom Drag	Quadratic Bottom Drag	Quadratic Bottom Drag
Curvilinear Horizontal Grid	Cartesian Horizontal Grid	Curvilinear Horizontal Grid
Sigma Coordinate Vertical Grid	Combined Sigma/Z-level Vertical Grid	Combined Sigma/Z-level Vertical Grid
Leapfrog in Time with Asselin Filter	Leapfrog in Time with Asselin Filter	Leapfrog in Time with Asselin Filter
Second-Order, Centered Finite Differences	Second-Order, Centered Finite Differences	Second-Order, Centered Finite Differences
Flux Conservative Formulation	Flux Conservative Formulation	Flux Conservative Formulation
Split-Explicit Treatment of Free Surface	Implicit Treatment of Free Surface	Implicit Treatment of Free Surface
Implicit Vertical Mixing	Implicit Vertical Mixing	Implicit Vertical Mixing

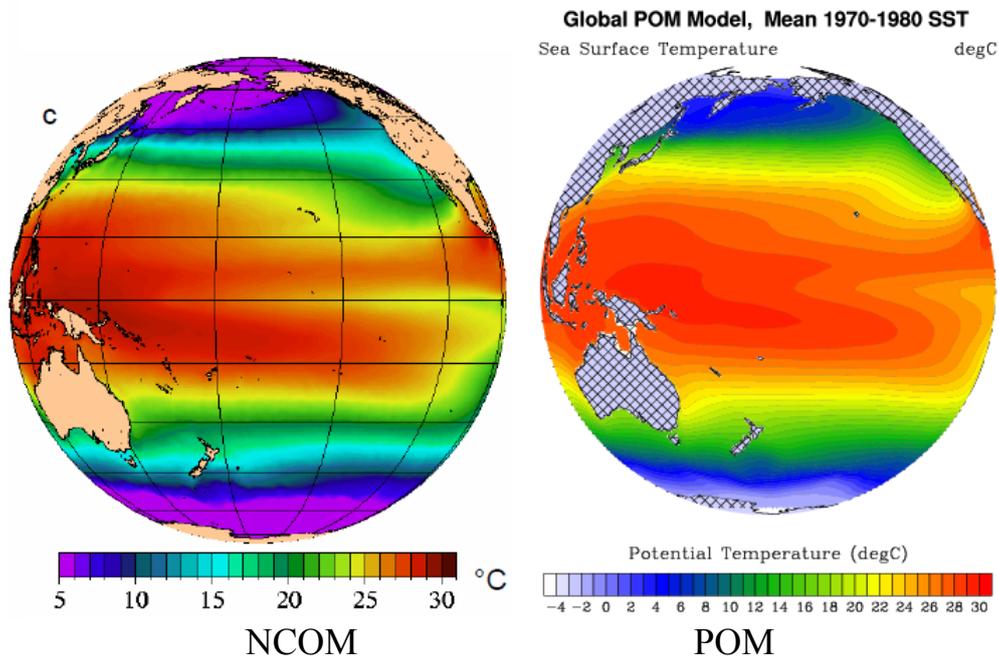


圖 4-6 NCOM 全球洋流模式計算結果(Barronet al., 2007)與 POM 海象資料庫海表面溫度(SST)長期平均之對照比較

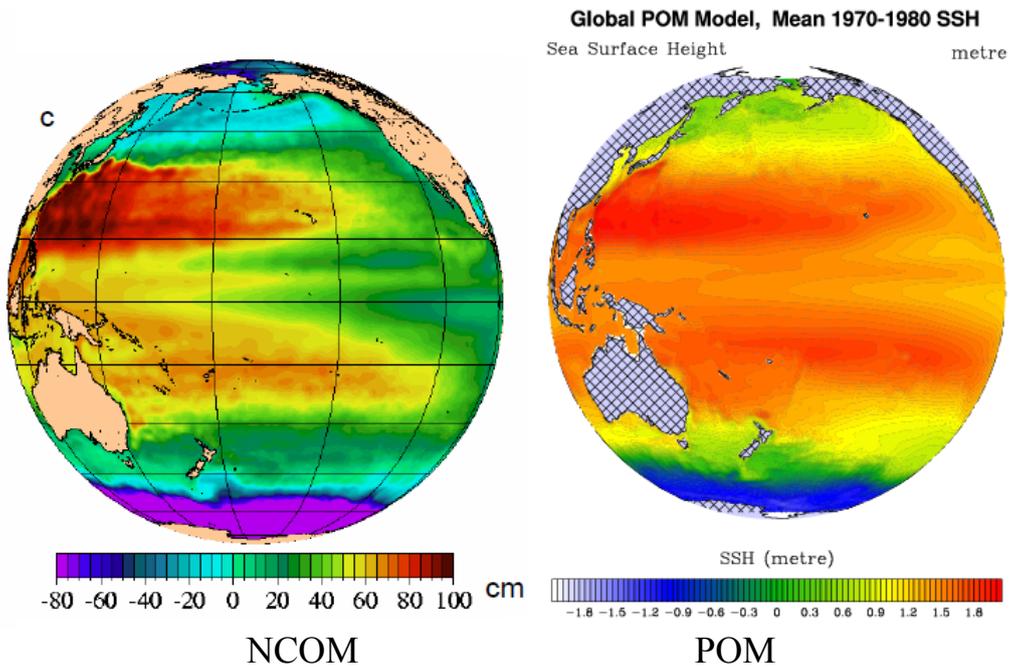


圖 4-7 NCOM 全球洋流模式計算結果(Barronet al., 2007)與 POM 海面水位變動(SSH)長期平均之對照比較

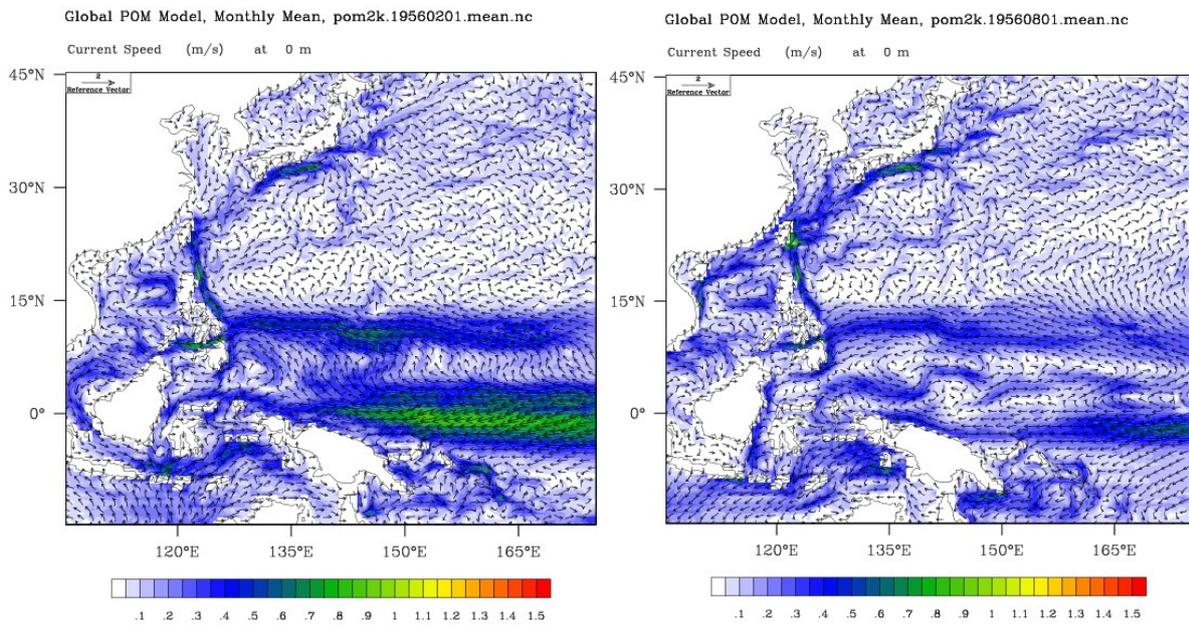


圖 4-8 應用 POM 全球洋流模式模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)西北太平洋海域之月平均洋流流場

4.3 臺灣鄰近海域之洋流模擬與初步驗證

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

有關臺灣鄰近海域之洋流特性，從以往的實測與研究成果可知，較重要的洋流應屬黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名臺灣海流，其係來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30°C，冬季水溫不低於 20°C，當其由赤道向北流至臺灣南端海域附近時，分成兩股，主流沿臺灣東岸北上，然後受蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後，再彎曲順東海之陸架緣朝東北向流去，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。

本節說明透過縮小模擬計算範圍並提高空間解析度，從而以巢狀格網海域來詳細模擬計算臺灣鄰近海域之海流流動變化，據以測試 POM 模式在模擬計算臺灣鄰近海域洋流之適用性。至於巢狀格網海域之規劃，參見圖 4-5，其第一層格網海域為上節所陳現之全球海域，空間解析度為 0.5° ；第二層海域縮小範圍至西北太平洋海域，空間解析度為 0.2° ；第三層海域為臺灣鄰近海域，空間解析度為 0.05° 。本節將透過巢狀格網海域，測試並探討不同巢狀格網範圍及解析度，其對於洋流特

性模擬計算結果的影響，此外，也測試討論模式起始值之給定，其冷啟動期間之長短對模擬計算結果之穩定性影響。

4.3.1 巢狀格網配置之影響

基於洋流趨動力及大規模流動的特性，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設定方式，可分為邊界處與邊界緩衝區兩種條件，如圖 4-9 所示，圖中最外部方框為巢狀母格網範圍，圖中方框為巢狀子格網邊界處，子格網內部格紋處為邊界緩衝區。模式運行計算中，邊界處之入流邊界條件，將由上層模式以下式型式給定：

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

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

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial t} + U \frac{\partial(T, S)}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(4-5)$$

而緩衝區內部之流速，乃採用下式之推進 (nudging) 方式給定：

$$U_i = U_i + \left(1 - \tanh\left(4 \frac{\Delta x_i}{L_{nest}}\right)\right)(U_i^0 - U_i) \dots\dots\dots(4-6)$$

式中下標 i 為距離子格網邊界處第 i 格點，上標 0 表示上層模式於下層位置處之內插值， Δx_i 為該格點至邊界之距離， L_{nest} 為緩衝區之寬度。本研究中，緩衝區之格點層數均設定為 12。

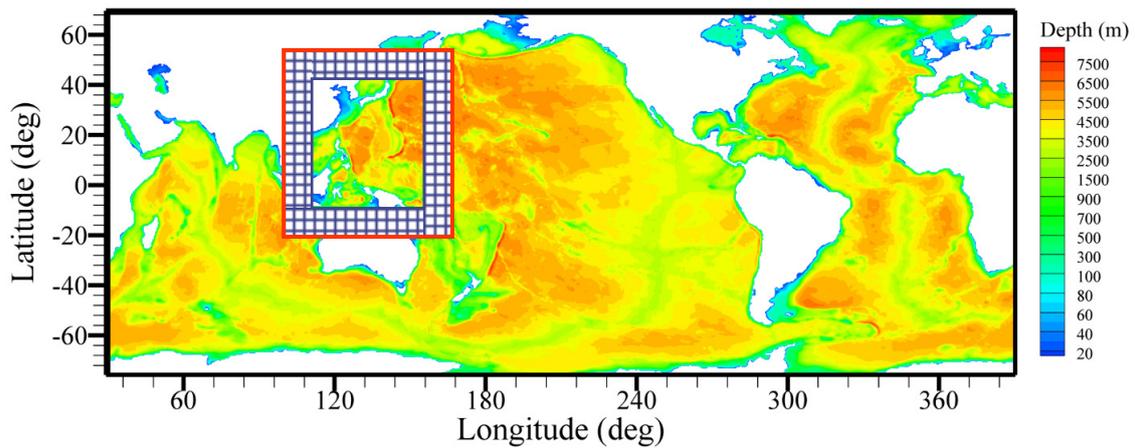


圖 4-9 巢狀格網母子格網邊界範圍及邊界緩衝區示意圖

為了測試巢狀格網計算範圍對於洋流模擬的影響，本研究於第二、三層之西北太平洋與臺灣鄰近海域格網上，皆再建立格網空間解析度相同，但範圍大小卻不相同之格網，其中，在第二層之西北太平洋海域中，區分為 N1 與 N2 格網，N1 格網範圍為東經 110~155 度、北緯 5~45 度；N2 格網為東經 105~175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，籍以包括赤道南北附近海域，格網解析度皆定為 0.2 度，即約為 20 公里。第三層之臺灣鄰近海域格網上，再細分為 T1 與 T2 格網，T1 格網範圍為東經 116~126 度、北緯 19~29 度；T2 格網範圍為東經 115~130 度、北緯 15~30 度，籍以包含考量菲律賓群島的海岸邊界影響，而兩者格網間距均設為 0.05 度，即約為 5 公里。至於以上各巢狀格網計算範圍之地形水深資料，則皆由表 3-6 所示之 ETOPO2v2g 資料庫內插而得。圖 4-10 所示即為西北太平洋海域之巢狀格網計算範圍與地形水深；圖 4-11 所示則為臺灣鄰近海域之巢狀格網計算範圍與地形水深，圖中，方框分別為各巢狀子格網範圍之邊界。表 4-4 所示則為各巢狀格網所採用之計算範圍與相關計算參數表。至於各模式之輸入資料、模擬計算起始時間、與所需的計算時間等，則如表 4-5 所示，表中，所輸入應用之大氣趨動外力及溫鹽邊界條件資料，在西北太平洋與臺灣鄰近海域格網中，海面溫度皆採用表 3-4 所示之 NOAA ERSST V3 的逐月平均海面溫度資料庫，其資料範圍為 1854 年 1 月至今；海面風場與氣壓資料採用表 3-1 與表 3-2 所示之 NCEP/NCAR 逐月風場與海面大氣

壓力資料庫，其資料範圍為 1948 年至今；至於溫鹽度之起始資料，則採用表 3-5 所示之 NODC WOA05 的溫鹽度海洋資料庫資料。上述資料庫，本研究於應用前，皆透過自行研發之前置處理程式內插至對應計算範圍之格網上。至於模擬計算參數之設定，為了探討格網設定對模擬結果的影響，除了表 4-4 中所列之計算時距與數值穩定性有關必須加以調整外，皆以表 4-2 所列之參數進行相關模擬。現階段，本研究限於研究時程，故尚未針對各別格網範圍進行模式細部計算參數之調整。

表 4-4 巢狀格網之計算範圍與相關計算參數表

模式	模式範圍	格網點數	解析度	計算時距 (dte)	計算時距 (dti)	緩衝區格點數
G1	180 ⁰ E~180 ⁰ W 70 ⁰ N~75 ⁰ S	723x292x21	0.5 ⁰	30 sec	180sec	0
N1	110 ⁰ E~155 ⁰ E 5 ⁰ N~45 ⁰ N	226x201x21	0.2 ⁰	20 sec	120sec	12
N2	105 ⁰ E~175 ⁰ E 15 ⁰ S~45 ⁰ N	351x301x21	0.2 ⁰	20 sec	120sec	12
T1	116 ⁰ E~126 ⁰ E 19 ⁰ N~29 ⁰ N	201x201x21	0.05 ⁰	5 sec	30sec	12
T2	115 ⁰ E~130 ⁰ E 15 ⁰ N~30 ⁰ N	301x301x21	0.05 ⁰	5 sec	30sec	12

表 4-5 巢狀格網計算所應用之海氣象資料庫與電腦執行效能評估

模式	地形水深	海面風場	海面溫度	計算起始時間	計算時間 (註)	巢狀邊界更新時間
G1	ETOPO2v2g	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 月平均	NOAA ER SST, 月平均	1948/01/01	53 min	月平均
N1	同上	同上	同上	同上	14 min	同上
N2	同上	同上	同上	同上	34 min	同上
T1	同上	同上	同上	同上	42 min	同上
T2	同上	同上	同上	同上	100 min	同上

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

在巢狀格網第二層之西北太平洋 N1 與 N2 海域中，模擬計算所得 1956 年 2 月與 8 月的月平均洋流流場分別如圖 4-12 與圖 4-13 所示，圖中洋流流速之強弱與流向，除以箭矢長短、方向表示外，尚以色階深淺代表。至於圖 4-14 與圖 4-15 所示分別則為 1956 年 2 月與 8 月 N1、N2 西北太平洋格網及 G1 全球格網在西北太平洋海域模擬月平均洋流流場結果之對照比較。

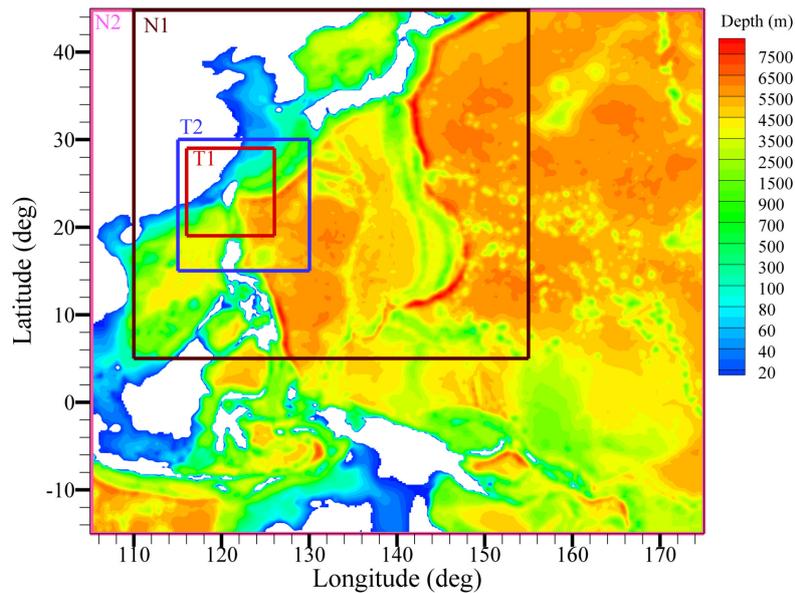


圖 4-10 西北太平洋海域之 N1 與 N2 巢狀格網計算範圍與地形水深

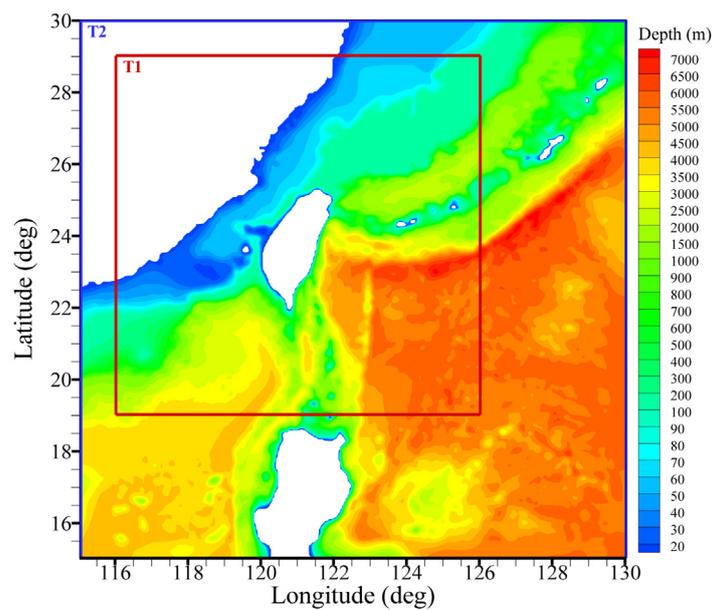


圖 4-11 臺灣鄰近海域之 T1 與 T2 巢狀格網計算範圍與地形水深

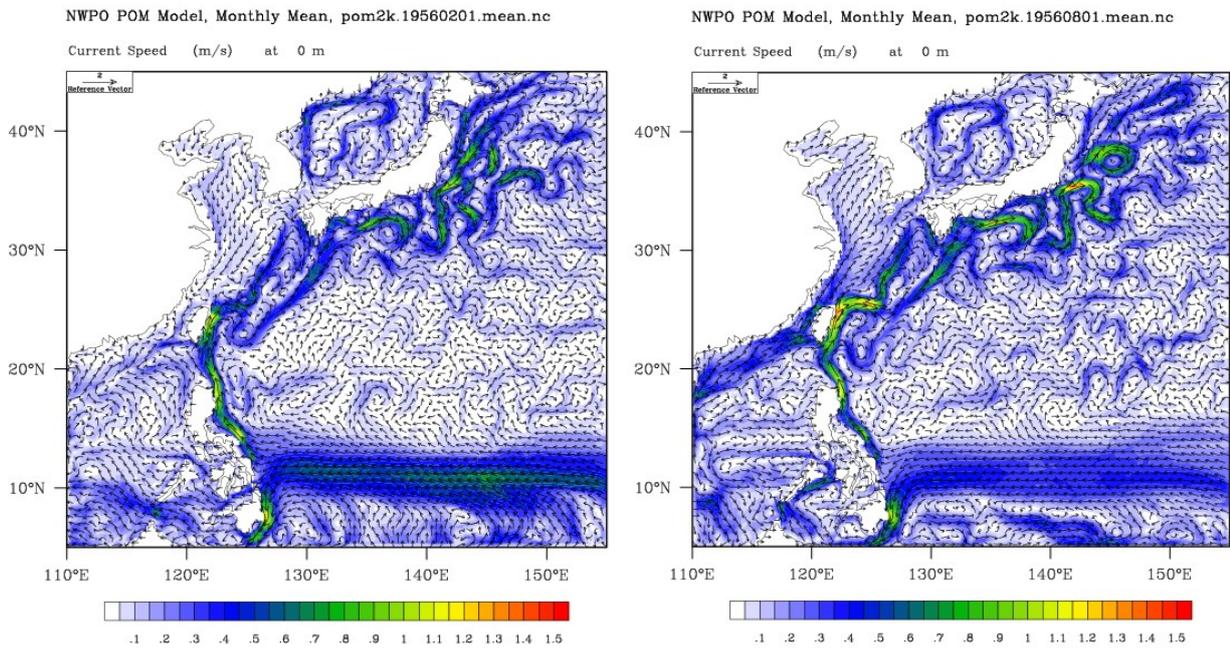


圖 4-12 西北太平洋 N1 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場

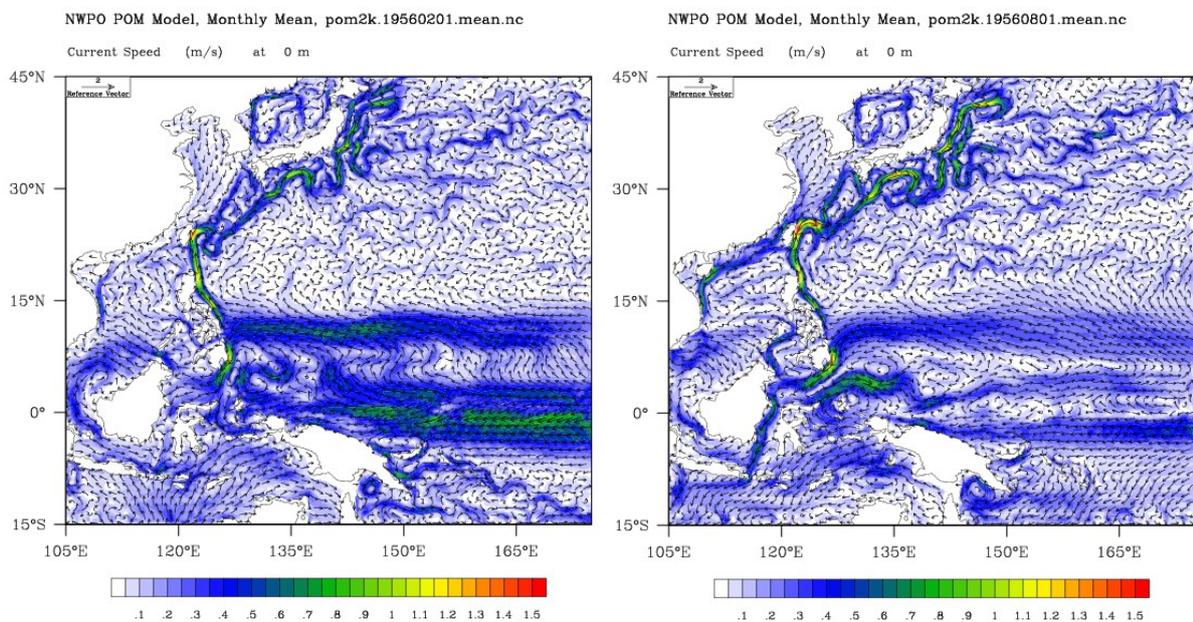


圖 4-13 西北太平洋 N2 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場

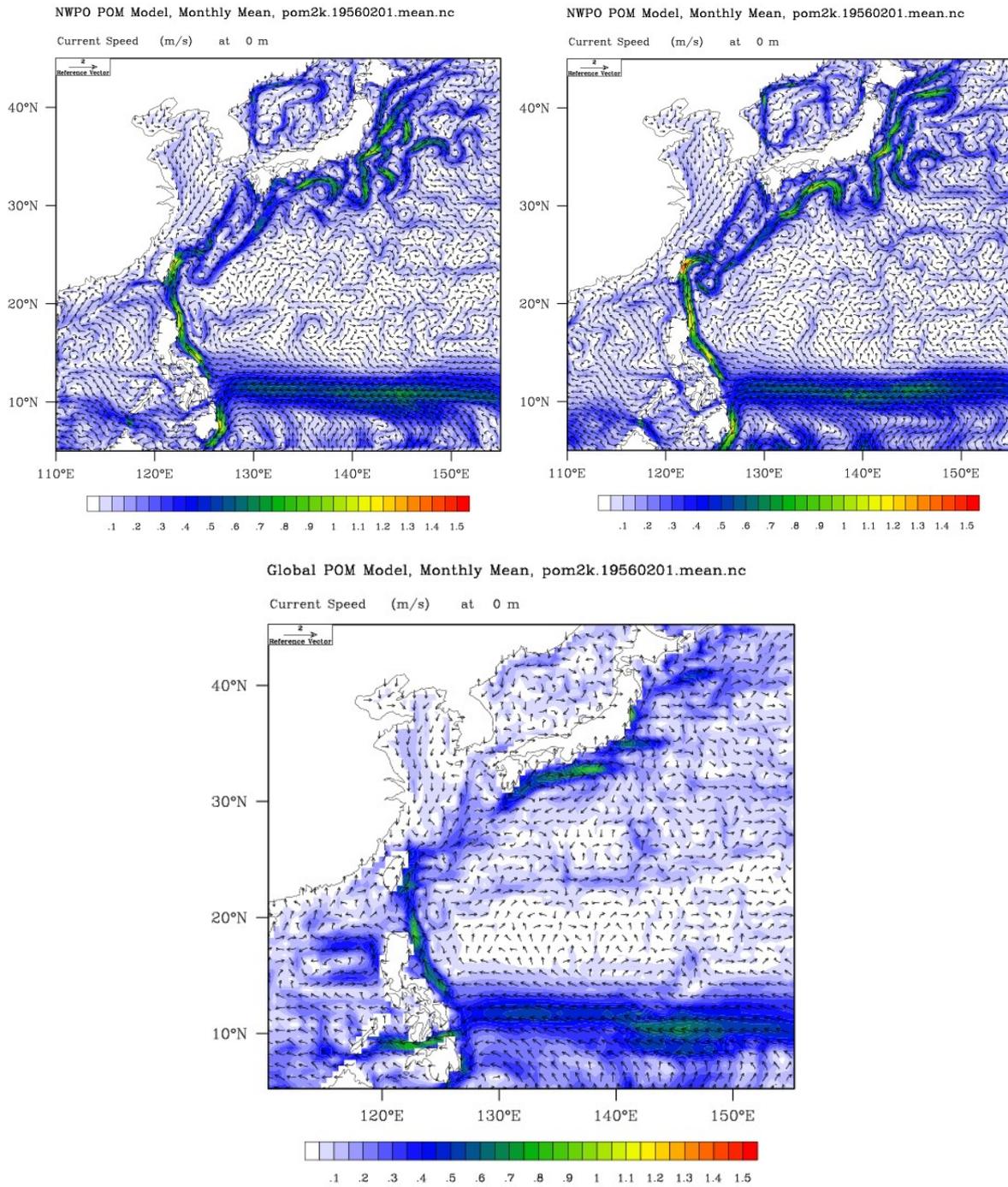


圖 4-14 西北太平洋格網 N1(左上)與 N2(右上)及全球格網 G1(下)在 1956 年 2 月於西北太平洋海域模擬月平均洋流流場結果之對照比較

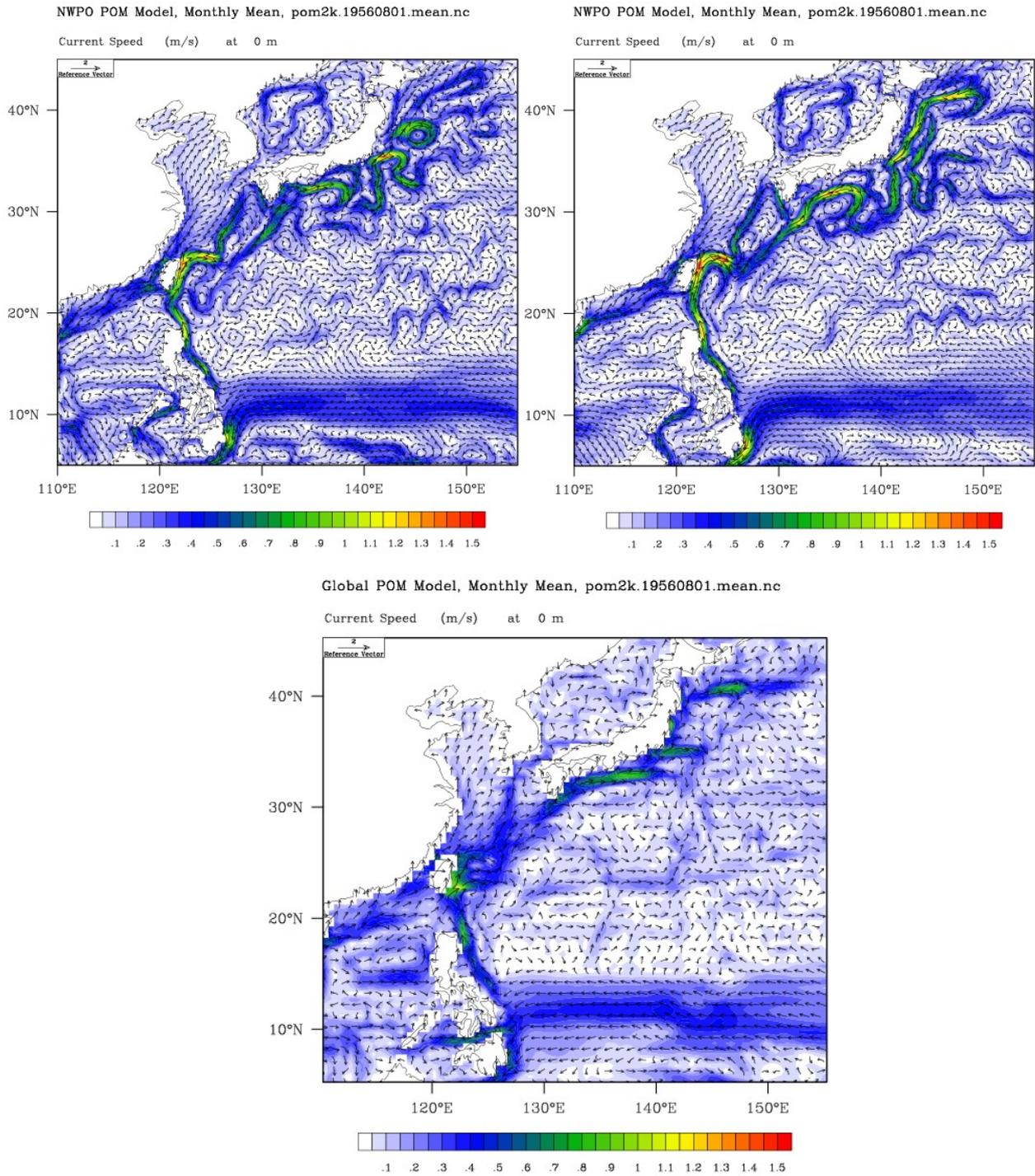


圖 4-15 西北太平洋格網 N1(左上)與 N2(右上)及全球格網 G1(下)在 1956 年 8 月於西北太平洋海域模擬月平均洋流流場結果之對照比較

由圖 4-14 與圖 4-15 綜合對照觀察比較可看出，N1 與 N2 西北太平洋格網邊界處之洋流流向與流速，其與 G1 全球格網之結果甚相近似，顯見本研究所建構巢狀子格網邊界之推進 (nudging) 設定方式，可正確銜接由巢狀母格網所傳遞之海流水動力特性。又由 G1 格網與 N1、N2 格網結果之對照比較中可看出，不同之格網解析度，其所模擬計算之洋流流動特性有極大之差異，例如格網解析度較低之 G1 格網，可充分模擬出南北太平洋之環流與黑潮流動之特徵現象，但其無法產生中尺度之渦流；而格網解析度較高之 N1 與 N2 格網，皆可明顯模擬並陳現中尺度渦流之效應。此外，比較 N1 與 N2 格網之結果尚可明顯看出，巢狀格網範圍的不同，所模擬計算之洋流流態亦有所差異，其差異性並且會隨著洋流之主流動方向而逐漸放大，例如在臺灣南側海域之黑潮套流現象差異性並不明顯，但隨著黑潮主流向北流動，兩者間之差異越來越大，到達日本南方海域時，黑潮的流動的現象與所產生的渦流，皆可發現明顯之不同。

另外，比較圖 4-14 與圖 4-15 所示 1956 年 2 月與 8 月冬夏季臺灣東側之黑潮特性可見，夏季之黑潮流速明顯比冬季強勁，這與對黑潮季節性變化的一般認知相符合。至於 N1 與 N2 格網之黑潮主流流速對照比較，由圖雖可見其約略的相似性，但其流向與周圍所產生之中尺度渦流，仍可見其隨著黑潮向北流動而陳現的差異性。現階段，由於本研究尚未進行實測資料之詳實驗證，故 N1 與 N2 格網之洋流模擬計算結果，何者較為正確尚難定論，僅管如此，在充分考量洋流之趨動水動力特性及陸地海岸之地形水深效應影響下，本研究認為，包含赤道南北海域之 N2 格網海域，應可由 G1 全球格網承續更多之洋流特性進入格網模擬範圍內，故其模擬結果應較為真實，所以，萃取此南北太平洋 N2 格網海域之模擬結果作為巢狀格網次網格計算海域之起始與邊界資料，因此可更縮小模擬計算範圍並提高解析度，從而依據上述之巢狀格網計算方式，進一步詳細模擬計算臺灣鄰近海域之海流流動。

針對圖 4-11 所示臺灣鄰近海域之 T1 與 T2 巢狀格網計算範圍與地形水深，應用萃取自南北太平洋 N2 格網海域之模擬結果作為巢狀格網次網格計算海域之起始與邊界資料，則在第三層 T1 與 T2 巢狀格網之臺灣鄰近海域中，模擬計算所得 1956 年 2 月與 8 月的月平均洋流流場分別如圖 4-16 與圖 4-17 所示，圖中洋流流速之強弱與流向，除以箭矢長短、方向表示外，尚以色階深淺代表。至於圖 4-18 與圖 4-19 所示分別則為 1956 年 2 月與 8 月臺灣鄰近海域格網 T1 與 T2 及南北太平洋海域格網 N2 在臺灣鄰近海域模擬月平均洋流流場結果之對照比較。

綜合對照觀察比較圖 4-18 與圖 4-19 可看出，T1 與 T2 巢狀格網內側緩衝區之洋流流速與流向，其與 N2 格網相同位置處之流場特性甚相近似，這一結果再次說明，本研究所建構巢狀子格網邊界之推進 (nudging) 設定方式，確可正確銜接由巢狀母格網所傳遞之海流水動力特性。只是從 N2 格網與 T1、T2 格網結果之對照比較中可看出，不同之格網範圍與解析度，其所模擬計算之洋流流動特性確會產生變異，例如在圖 4-18 所示格網解析度相同之 T1 與 T2 格網中，黑潮主流東側所陳現之渦流，其產生位置與強度明顯不同，而黑潮進入巴士海峽後所產生的黑潮套流現象也明顯不同。另外，在圖 4-19 中，南海夏季由於西南季風盛行，故會產生西南吹送流，而來自南海之洋流到達臺灣西南部高雄屏東近海時，T1 與 T2 格網之模擬結果亦出現不同特性，雖然兩者皆分為兩股並分別由臺灣海峽與繞過臺灣南側之黑潮支流會合，但 T1 格網之南海洋流流速明顯大於 T2 格網。再綜合比較 T1、T2 與 N2 格網之結果可見，臺灣近海 T1、T2 格網之模擬結果似乎無法重現 N2 格網中的洋流特性，儘管 T1、T2 格網有正確的銜接延續由 N2 巢狀母格網所傳遞之海流水動力特性，但從特性不同的模擬結果可判知，不同大小的巢狀格網範圍，確實會影響整體模擬洋流流動的特性。鑑此，雖然 T1 與 T2 格網，與 N2 及 G1 格網相比較，已皆大幅度的縮小模擬計算範圍並提高空間解析度，但現階段欲詳細準確模擬計算臺灣鄰近海域之海流流動，似乎尚有待本研究建構巢狀子格網邊界推進 (nudging) 設定技術的進一步改進。

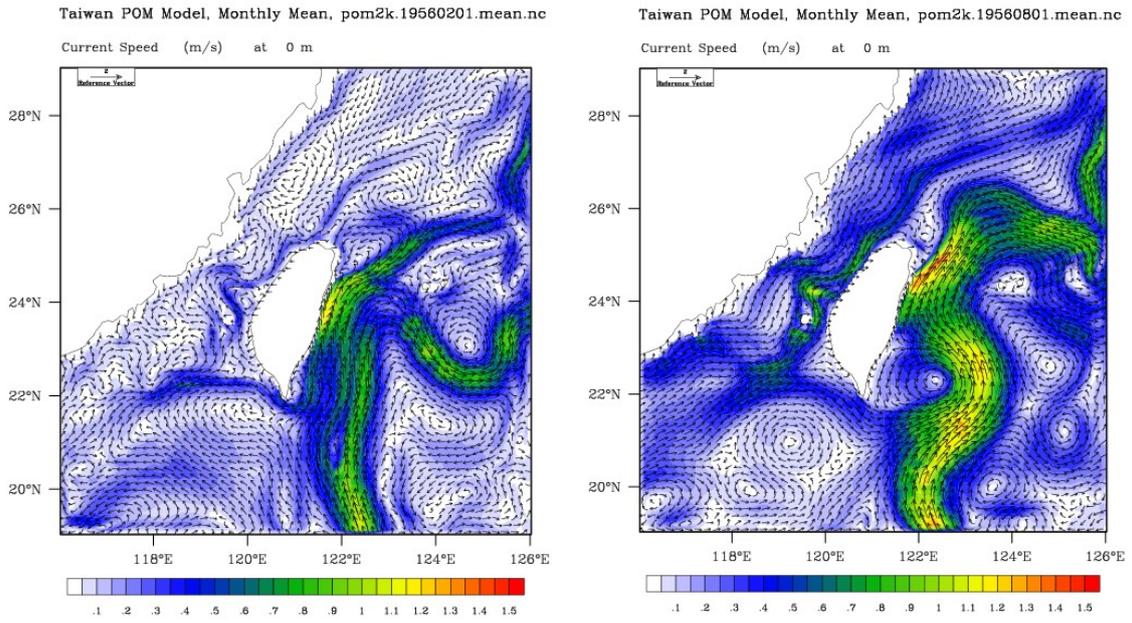


圖 4-16 臺灣鄰近海域 T1 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場

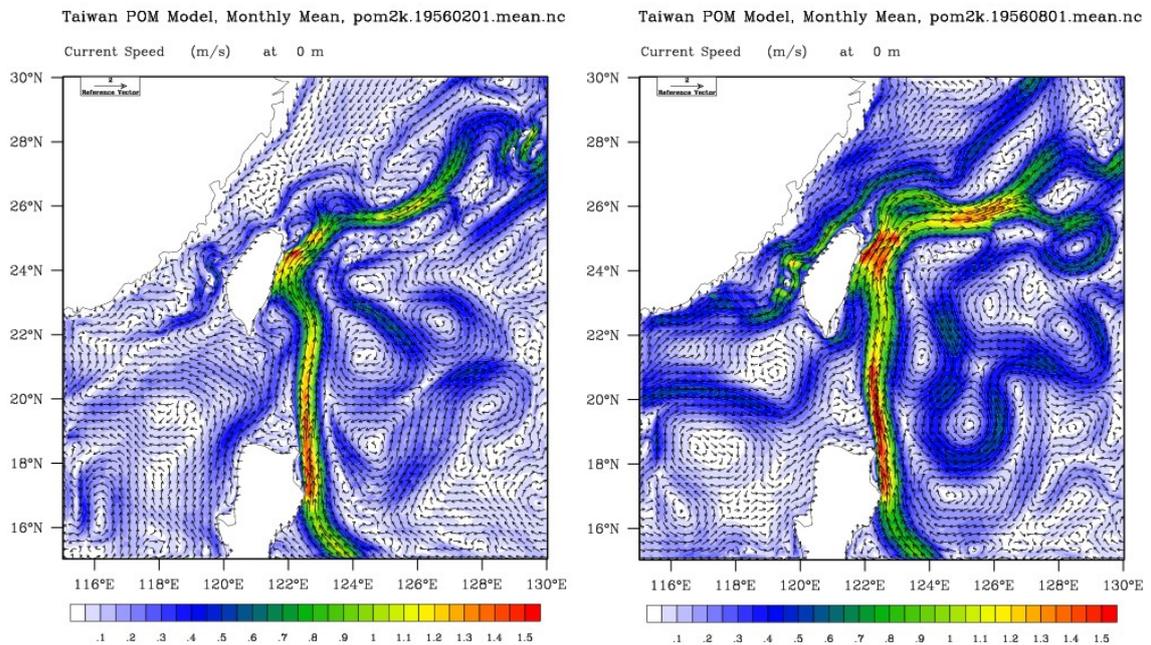


圖 4-17 臺灣鄰近海域 T2 巢狀格網海域模擬計算 1956 年 2 月(左)及 8 月(右)之月平均洋流流場

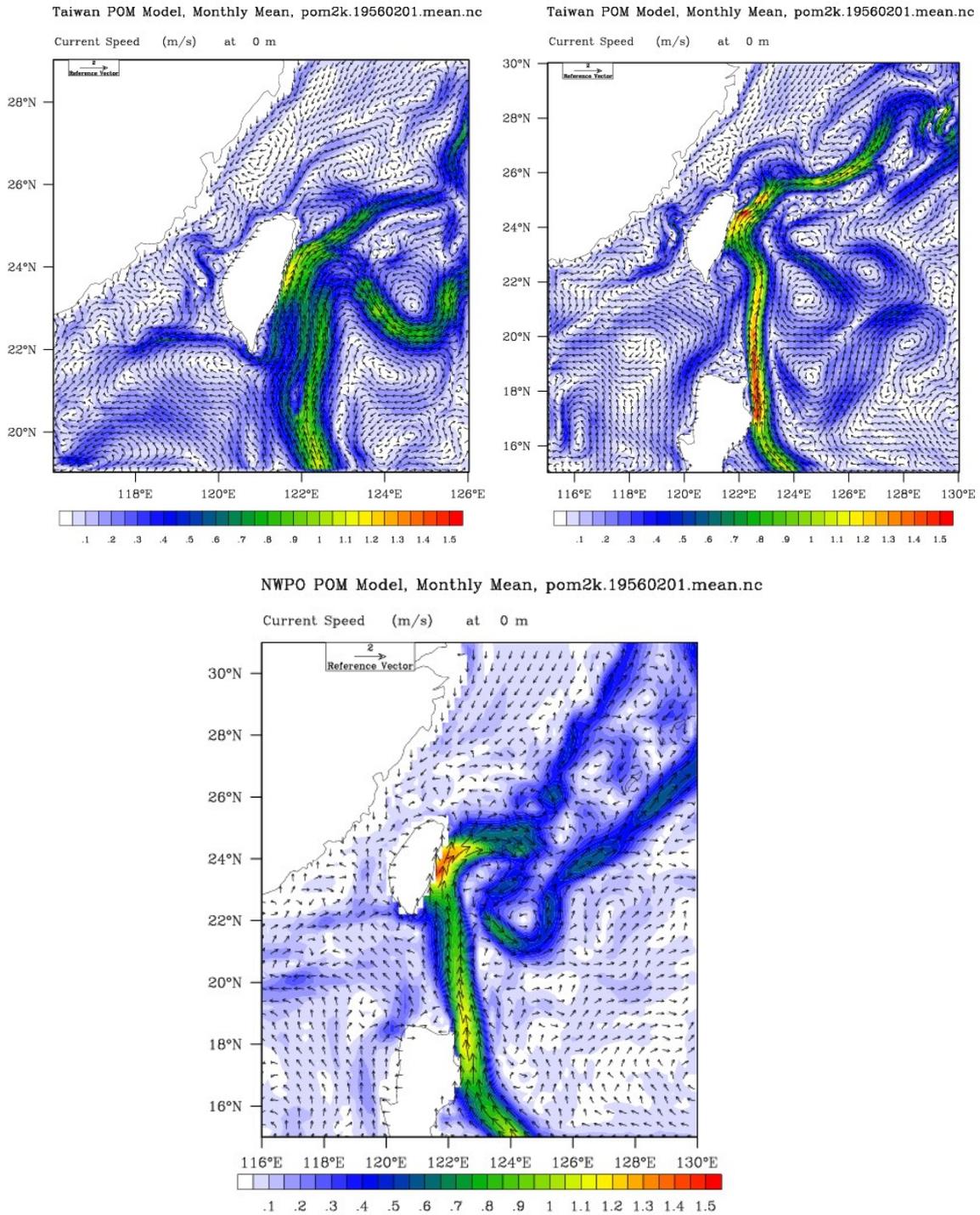


圖 4-18 臺灣鄰近海域格網 T1(左上)與 T2(右上)及西北太平洋格網 N2 (下)在 1956 年 2 月於臺灣鄰近海域模擬月平均洋流流場之對照比較

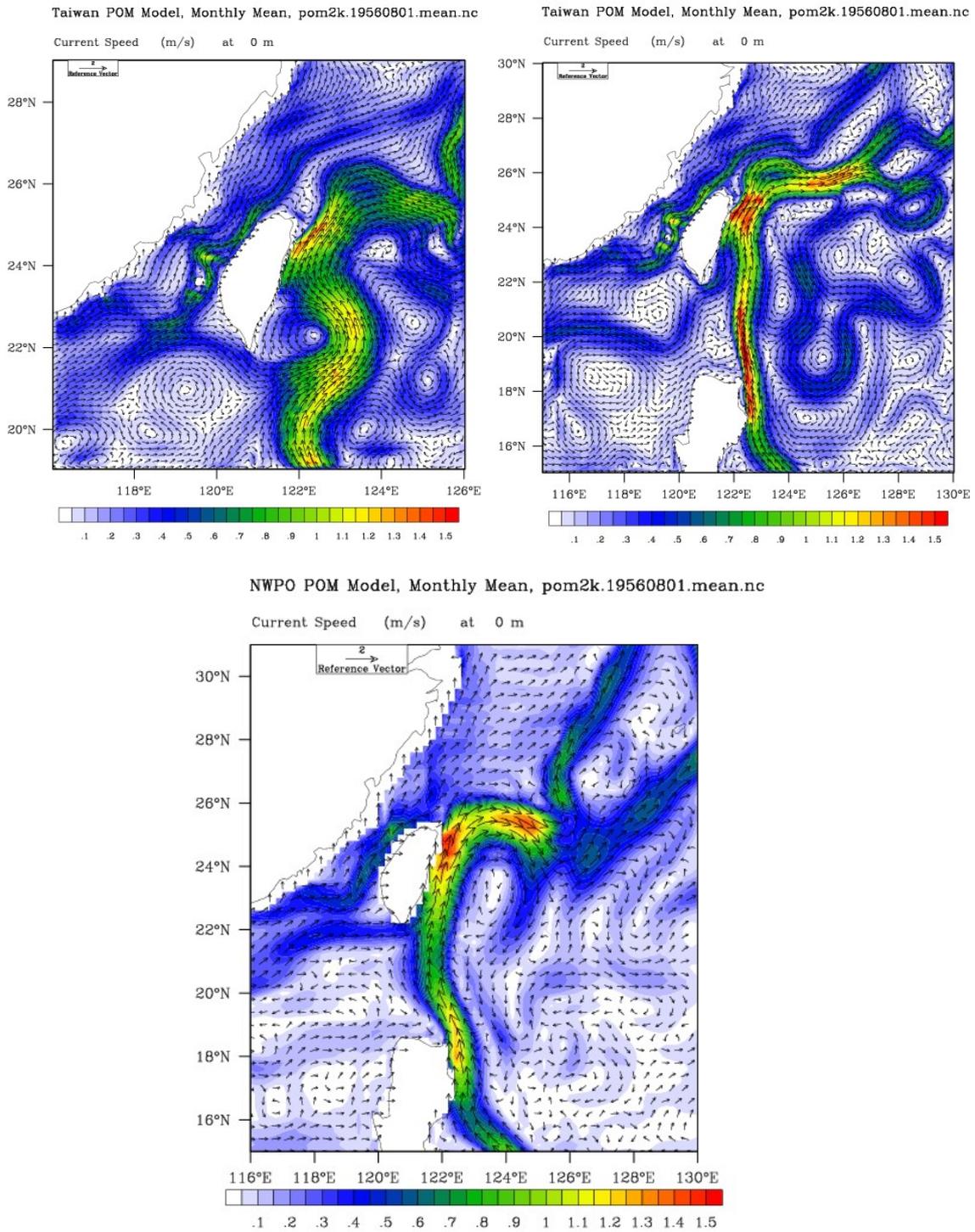


圖 4-19 臺灣鄰近海域格網 T1(左上)與 T2(右上)及西北太平洋格網 N2(下)在 1956 年 8 月於臺灣鄰近海域模擬月平均洋流流場之對照比較

關於臺灣鄰近海域之實測海流特性，國科會海洋資料庫所收錄 20 米水深層之海流分季量測結果如圖 4-20 所示，圖中海流實測資料係海研一、二、三號應用船碇式都卜勒流剖儀(ship-board acoustic Doppler current profiler, Sb-ADCP)所收集得來，流場建置係利用 Tang 和 Ma (1995)的校正方式獲得絕對流場，再將各水層資料內插成標準深度。將圖 4-20 所示臺灣鄰近海域 20 米水深層之海流分季量測結果與圖 4-16 及圖 4-17 所示的模擬結果相比較對照可見，在臺灣東部之花蓮近海，黑潮之表面流速，兩者皆顯示介於每秒 1 公尺至 1.5 公尺之間。另外，黑潮主流於臺灣東南海域一分為二，支流進入南海海域前，會於墾丁近海陳現順時針方向旋轉之環流，此環流與主流會合後，將沿臺灣東岸北上，其主流於花蓮外海流速達到最大，約為每秒 1 公尺，且夏秋季之流速約大於春冬季之流速。另外，在臺灣海峽海域內，夏季黑潮支流流速亦明顯大於冬季。

一般認為黑潮自赤道向北流動進入臺灣海域之前，主流係沿著菲律賓島東側陸地邊界流動，故包含菲律賓島之 T2 巢狀格網計算範圍預期應可提供較完整的陸地邊界影響，且應可減少模擬黑潮主流進入臺灣海域時所帶來的不確定性，不過，因臺灣鄰近海域巢狀格網範圍之空間解析度較高，故模擬結果也陳現較多的渦流，致使海流流動特性轉變得更為複雜，因此其準確性尚有待收集更多實測紀錄進行驗證，同時進行巢狀格網範圍、空間解析度、及相關模擬參數之調校。

僅管 T2 巢狀格網範圍之模擬流場準確性尚待驗證，但為概略評估流場特性，在圖 4-17 之 T2 格網海流模擬結果中，於 1956 年 8 月沿著 23.5°N 之水深斷面萃取月平均流速，可得其流速分布如圖 4-21 所示，由圖觀察可知，臺灣東岸黑潮流動之深度約可達 600 米，流速約為每秒 0.2~0.4 公尺。另外，由其流速之東西(U)、南北(V)分量模擬結果觀察可見，其主流流速皆為南北分量，東西分量極小，且最大流速可達每秒 1 公尺以上，而於主流右側之渦流流速，亦約可達每秒 0.5 公尺。另外，就模擬計算期間整理該斷面之流量月平均時序列圖，結果可得如圖 4-22 所示，由圖觀察可知，臺灣東岸黑潮主流流量介於 10~40 Sv

($1\text{Sv}=10^6\text{m}^3/\text{s}$)之間，其整體平均為 26 Sv ，該平均值與實測之 $15\sim 44\text{ Sv}$ 或 Hsin 等(2008)數值模擬結果之 $28.4\pm 5.0\text{ Sv}$ 相較，明顯具有合理性。

經由以上 T2 巢狀格網範圍內海流模擬流場特性之概略評估結果可知，本研究利用 POM 模式，配合巢狀格網架構，採用巢狀子格網邊界推進(nudging)設定技術，概略已可模擬重現臺灣鄰近海域所存在之親潮、南海吹送流、及黑潮等特徵海流特性。

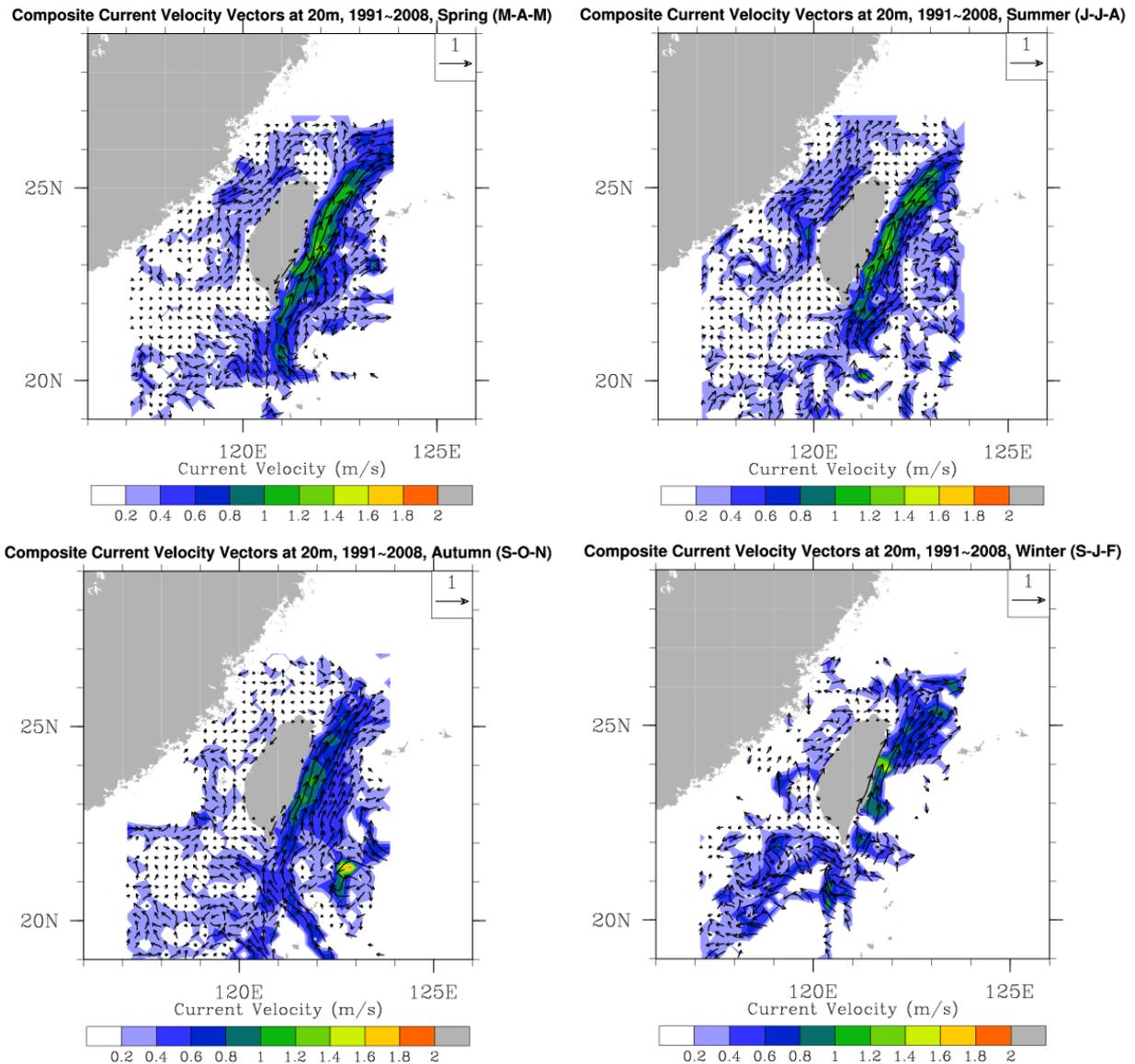


圖 4-20 臺灣鄰近海域 20m 水深層之實測分季(春、夏、秋、冬)平均流場圖(資料來源：國科會海洋資料庫)

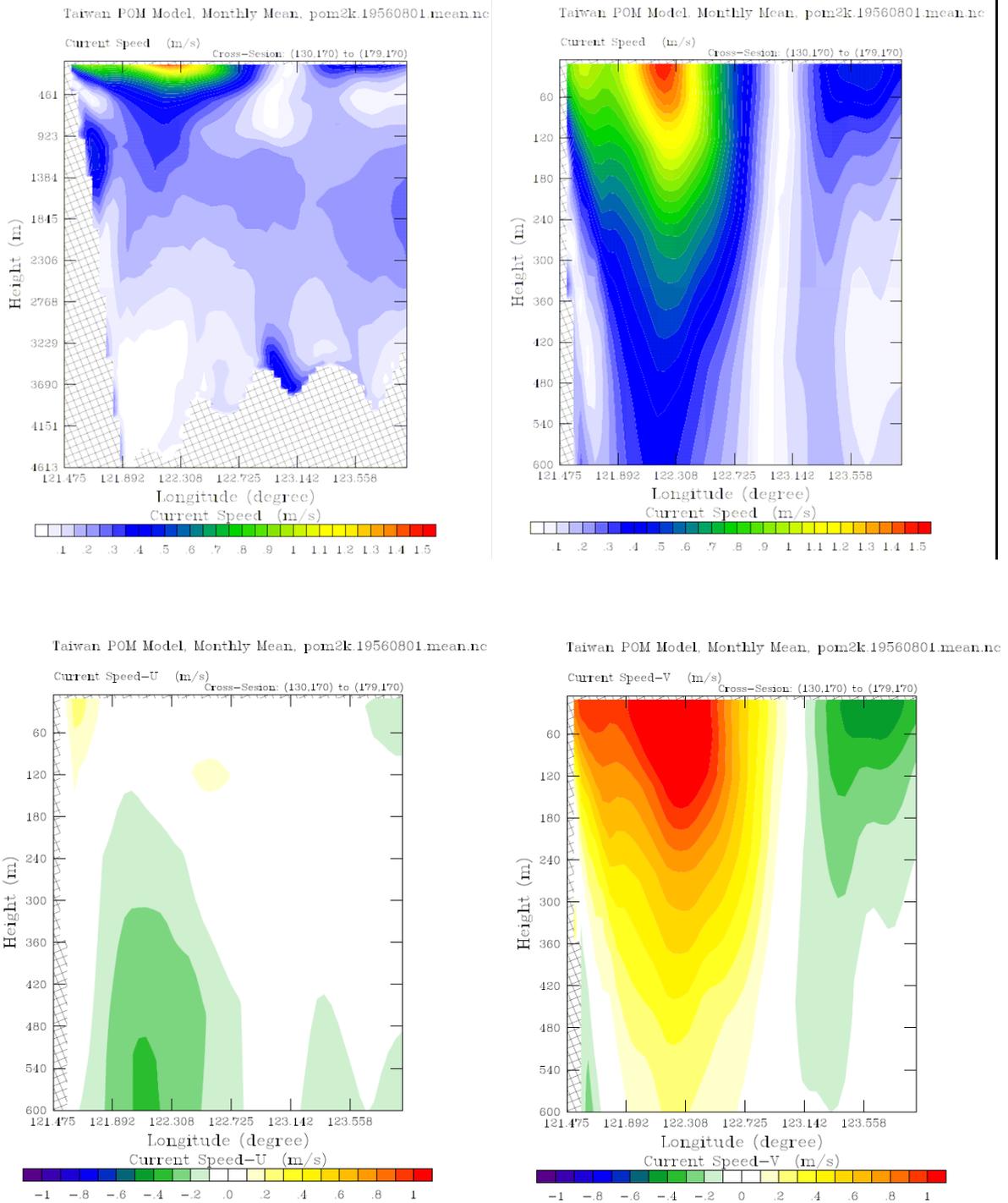


圖 4-21 臺灣東部通過 23.5°N 之水深斷面 1956 年 8 月之月平均海流流速分布(左上：全水深斷面；右上：0~600 米深局部斷面；左下：流速東西向分量；右下：流速南北向分量)

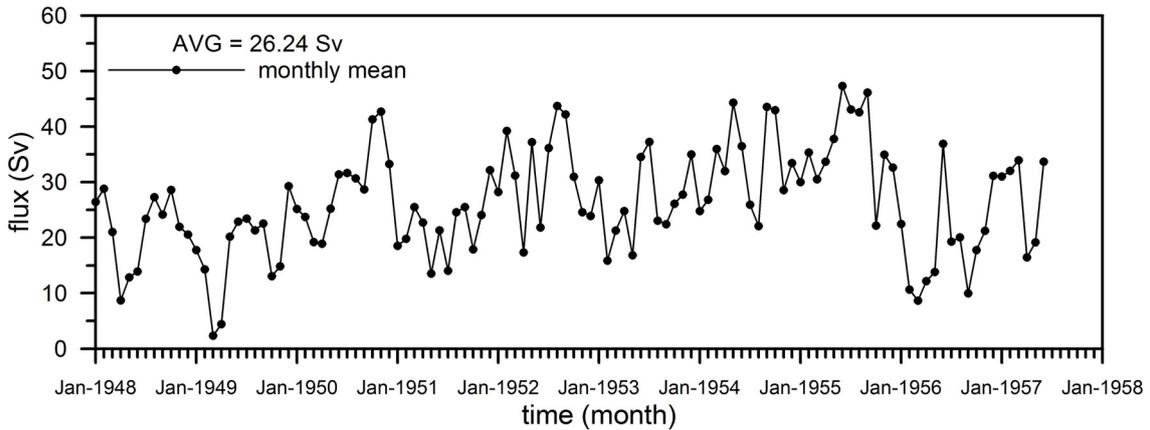


圖 4-22 臺灣東部通過 23.5°N 水深斷面模擬海流之月平均流量時序圖

4.3.2 模式初始值之探討

除了巢狀格網範圍、空間解析度、及巢狀子格網邊界推進 (nudging) 技術會對洋流特性之模擬結果造成影響外(參見上節所述), 啟動數值模式所必需之起始值設定, 亦會關係到模擬結果的準確性。惟現今全球之大部分海域中, 並無詳細的洋流特性水動力資料可供參考, 故採用冷啟動方式以啟動數值模式是不可避免之作法, 另外, 模擬大尺度的洋流流動常必需要甚大之海域範圍才可完整陳現其特性, 故若以冷啟動方式進行洋流模擬, 則直到數值模式達成穩定之計算結果, 勢必需消耗相當長的一段冷啟動期間, 為此, 本研究即對冷啟動期間之長短進行下列之評估。

針對 G1 全球格網海域範圍, 利用 NCEP/NCAR Reanalysis 1 之長期(1968~1996 年)月平均氣候值風場資料與 NOAA 長期(1971~2000 年)月平均氣候值海溫資料做為洋流計算模式之月平均固定驅動外力, 以年為單位進行模擬, 積分時間取為 40 計算年, 籍以評估計算模式自冷啟動起直至達到穩定模擬結果之時間。圖 4-23 與 4-24 分別為自冷啟動起(1948 年)起, 1 計算年與 10 計算年後, 其與前一計算年同月份海面流速之相對差異值分布。由圖觀察可知, 自冷啟動起 1 計算年後海面流速相對差異值較大之區域分布廣泛, 如在太平洋赤道、黑潮、及大西洋灣流等區域, 最大差值可達 0.5 m/sec 以上。而自冷啟動起連續模

擬 10 計算年後，具有較大海面流速相對差異值之區域明顯限縮，其間，除原洋流流速較大區域仍可見較大相對差異值外，大部分海域之相對差異值大多介於 0.1 m/sec 之間。

對於特定海域地點(不同水深)，萃取其對應之海面流速年平均變化值，結果可得如圖 4-25 所示。由圖觀察可見，不同水深之特定地點，其海面流速年平均變化在第 5 計算年之前，流速相對差異值減小趨勢明顯，且約在第 5 計算年之後，海面流速年平均變化已漸趨穩定。據此可判知，以冷啟動方式進行洋流模擬，數值模式確實需要足夠長的穩定計算調適期，以本研究所建置之 G1 全球格網範圍為例，穩定計算調適期至少需要 5 計算年之模擬。

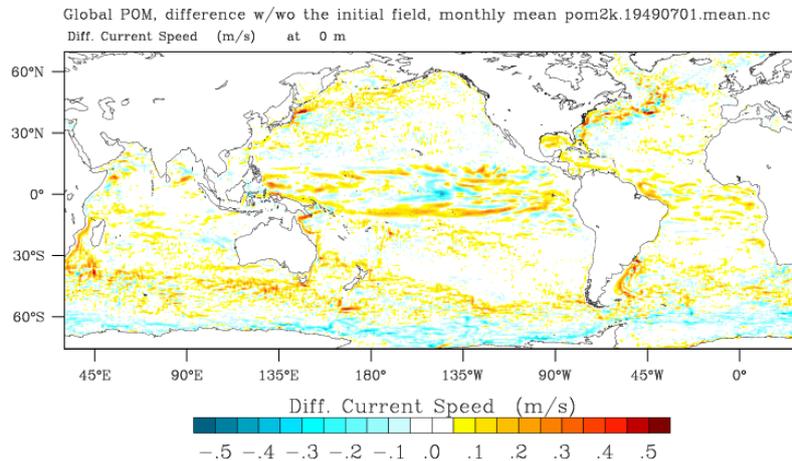


圖 4-23 自冷啟動模擬 1 年後與前一年同月之海面流速相對差值分布

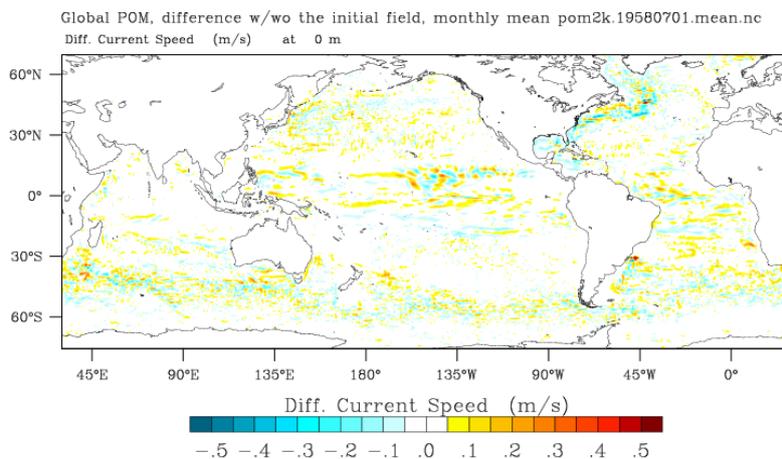


圖 4-24 自冷啟動模擬 10 年後與前一年同月之海面流速相對差值分布

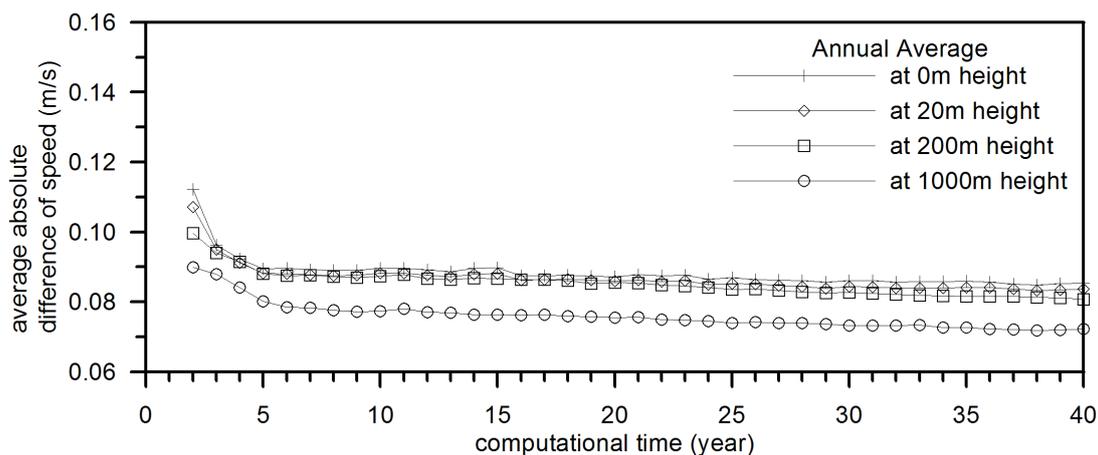


圖 4-25 特定海域地點(不同水深)年平均海面流速相對差異絕對值之冷起動穩定計算調適期分析

4.4 綜合洋流與潮流效應之海流模擬

海洋中大尺度大規模的海水流動，除了洋流之外，尚應包括潮流。為了模擬臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流效應之海流流況，本研究以 T2 格網範圍之臺灣鄰近海域地形水深及洋流月平均計算流況為基礎，再於格網範圍之邊界處，以逐時的天文潮位作為海流推算所需的趨動力，邊界天文潮位採用日本 NAO99b 東亞潮汐模式(Matsumoto et al., 2000)建構設定，則綜合洋流與潮流效應及僅具潮流效應(供對照比較)之臺灣鄰近海域海流模擬結果，分別可得如圖 4-26 及圖 4-27 所示，其中，圖 4-26 所示為臺灣海峽中段潮位處於退潮段近干潮期之海表面流速與水位分布圖；圖 4-27 所示為臺灣海峽中段潮位處於漲潮段近滿潮期之海表面流速與水位分布圖。兩圖中，海表面的流速強弱及流向係以箭尺長短及方向表示；而水位高低則以色階圖對應。

由圖觀察可見，綜合洋流與潮流效應後，在臺灣東岸之黑潮流動仍相當明顯，而且似乎並未受到潮流干擾影響，至於在大陸棚地形內之海流，則明顯的陳現出潮流的往復流動特性，且在臺灣海峽之淺水海域，其特性與僅具潮流效應之海流相近似，不過，由於臺灣海峽內有向北流動的黑潮支流與南海吹送流通過的影响，臺灣東岸近海有黑

潮主流之影響，故在臺灣南北兩端與大陸棚邊緣交界之近岸海域處，海流流向具有局部的差異性，當臺灣海峽中段潮位處於退潮段近干潮期時(參見圖 4-26)，在海峽南端海域，退潮流速減小，而在海峽北端海域，退潮流速反而增加；當臺灣海峽中段潮位處於漲潮段近滿潮期時(參見圖 4-27)，臺灣海峽及大陸棚內外海域的總體海流特性，實際與臺灣海峽中段潮位處於退潮段近干潮期時相似，有所差異的，僅是在臺灣南北兩端與大陸棚邊緣交界之近岸海域處，其海流流速，分別會因受黑潮支流、南海吹送流及黑潮主流之影響，而使漲潮流速皆增大，及至大陸棚緣外之深水海域，海流特性將回歸至以洋流為主要，潮流現象並不明顯。

為更充分瞭解綜合洋流與潮流效應之海流特性變化，以僅具潮流效應之模擬海流流場為對照比較基礎，從臺灣海峽中段潮位處於退潮段近干潮期開始，至潮位歷經漲潮段至滿潮期，而後回歸至退潮段近干潮期時止之一半日潮汐週期內，以每 2 小時間隔逐次整理計算海流流場及其相對差異，則其結果分別可得如圖 4-28 至圖 4-34 所示。圖中，海表面的流速強弱及流向係以箭尺及色階圖對應。依據圖示之結果，再分別於臺灣東北部之龍洞(臺灣海峽北端)、臺灣中部之台中港(臺灣海峽中段)、臺灣西南部之安平港(臺灣海峽南端)與澎湖水道(臺灣海峽南端；俗稱黑水溝)等近岸海域，分別萃取特定格網位置之計算水位及流速，因此，可得綜合洋流與潮流效應之海流特性與僅具潮流效應之模擬海流流場差異的深入具體評估比較結果，分別如圖 4-35 至圖 4-38 所示。圖中，虛線表示綜合洋流與潮流效應之海流水位與流速；而僅具潮流效應之水位與流速，則以實線表示。

分別觀察圖 4-35 至圖 4-38 之計算水位及流速變化可知，在臺灣海峽海域內，綜合洋流及潮流效應與僅具潮流效應之模擬海流流場特性變異，水位的相對差異均甚小，但流速大小的變化卻皆甚明顯，其中，以台中港及安平港近岸海域之海流流速變化最可觀，不過，在澎湖水道海域內，海流流速卻無太大變化，這可能係因地形水深之空間解析度不足或本海域原本即以潮流為優勢海流所致。

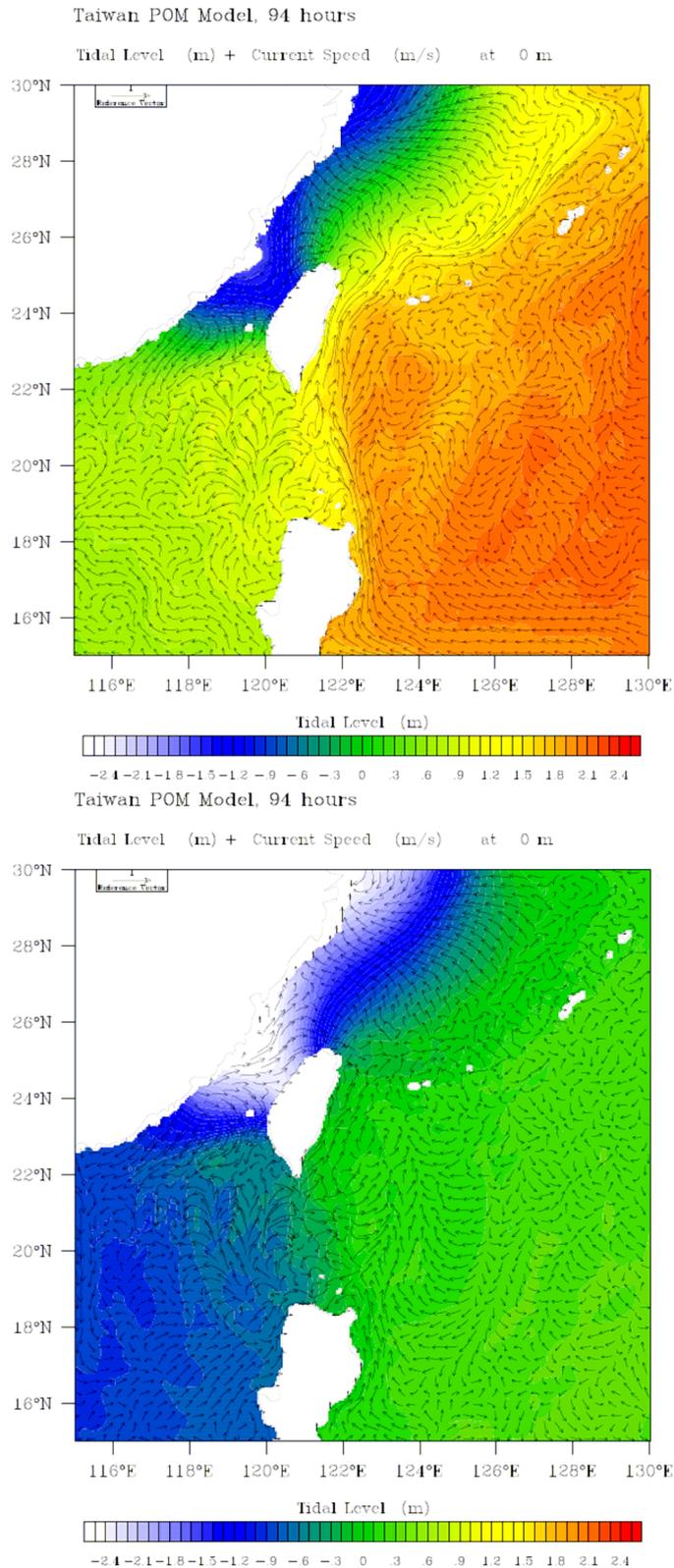


圖 4-26 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(上)及僅具潮流(下)效應之海表面模擬流速與水位分布(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近干潮期)

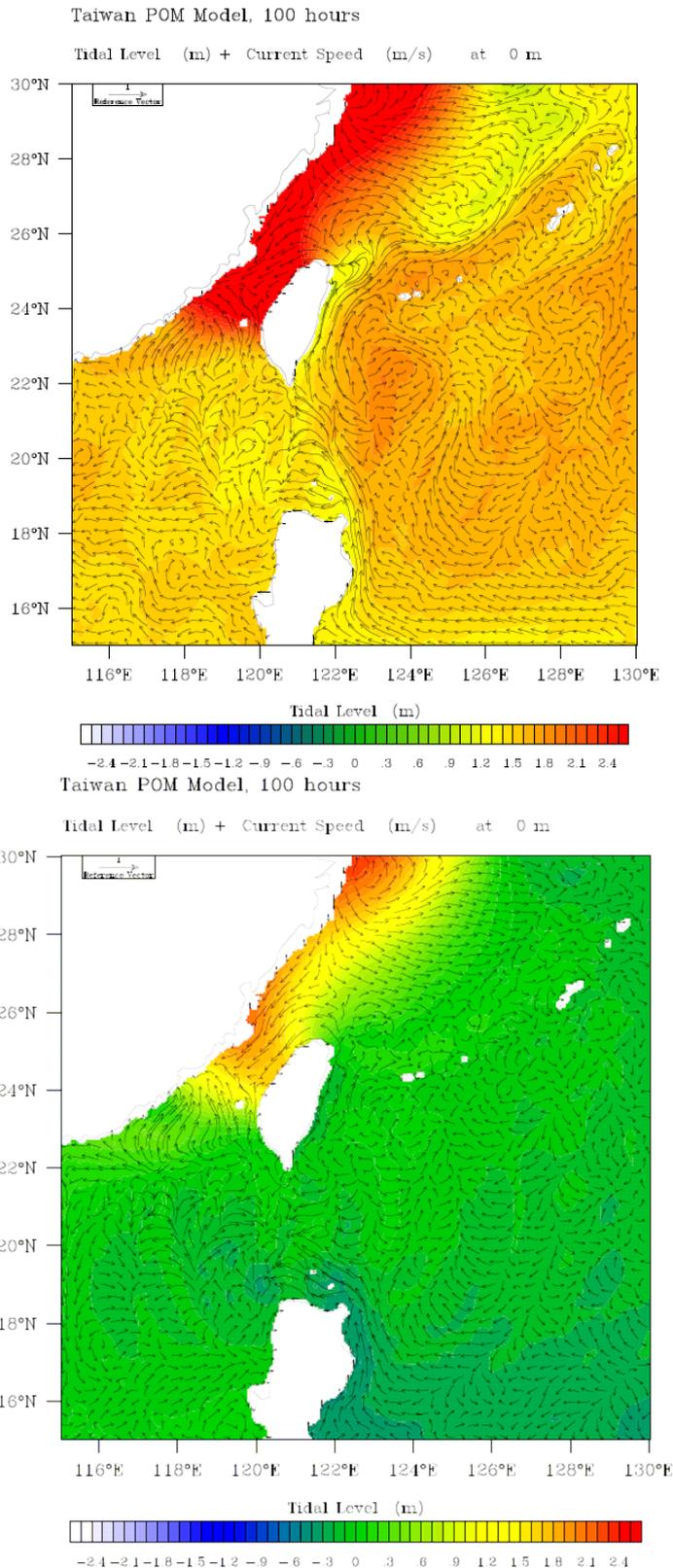


圖 4-27 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(上)及僅具潮流(下)效應之海表面模擬流速與水位分布(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段近滿潮期)

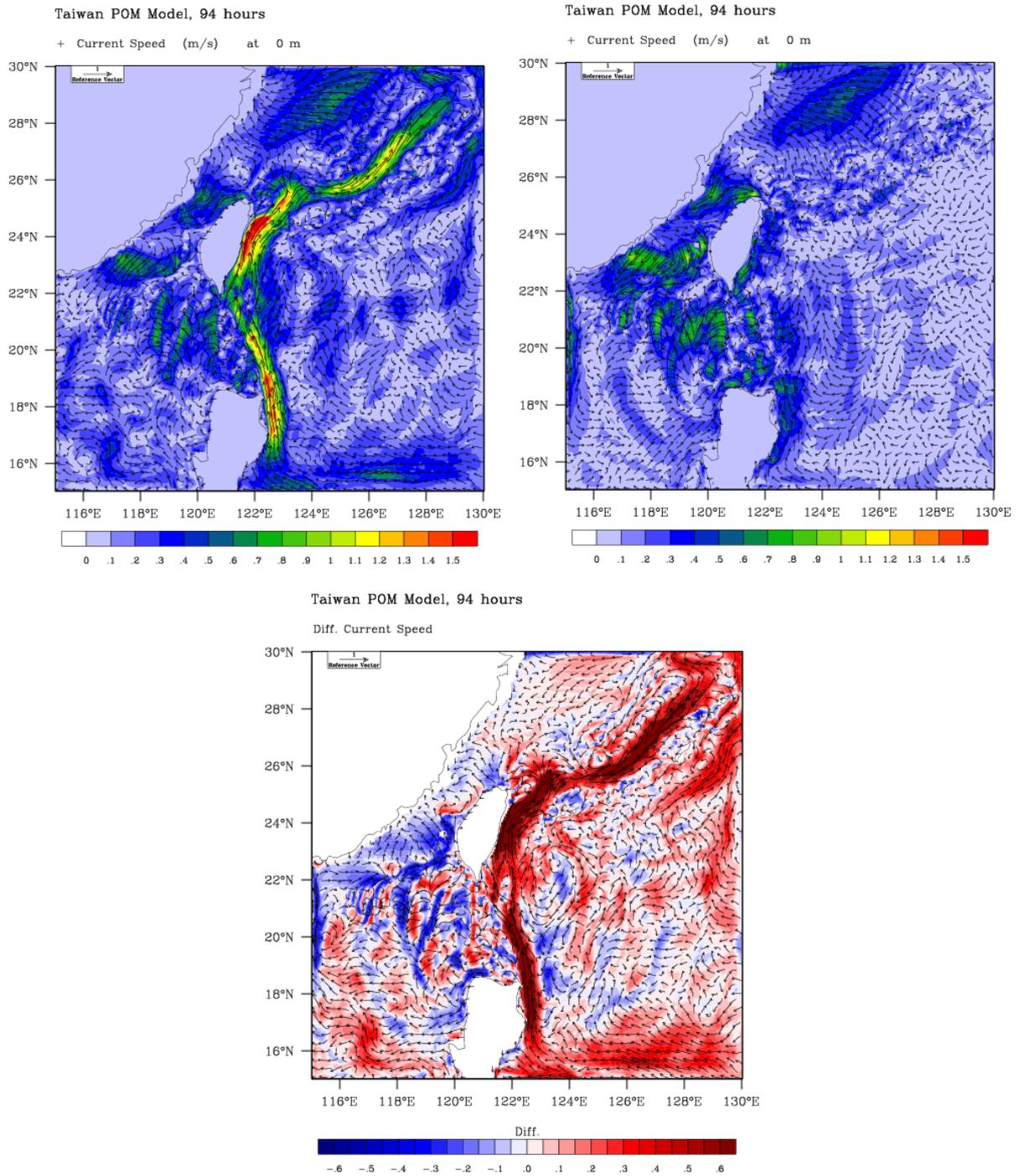


圖 4-28 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近干潮期； $t=94$ hr)

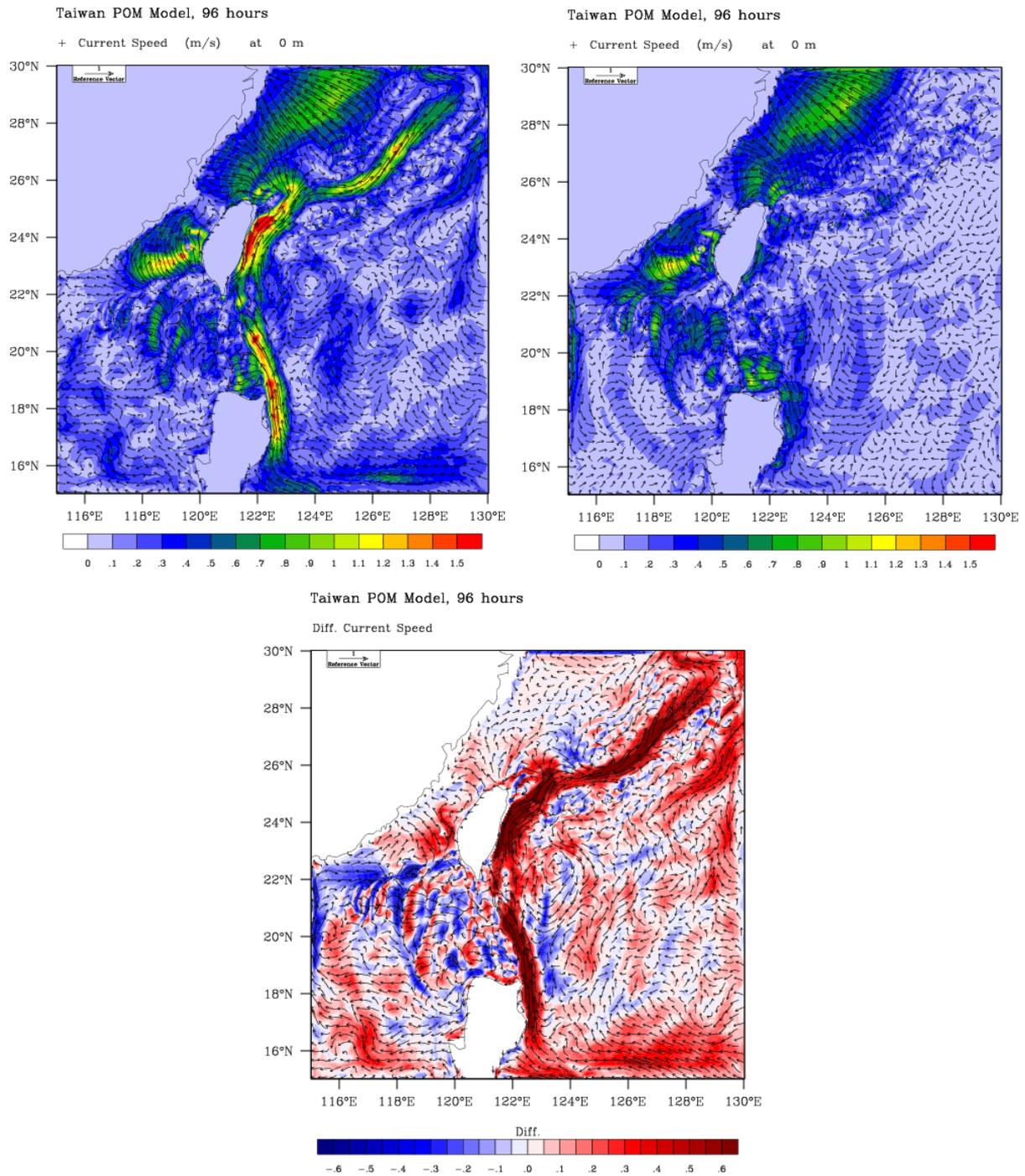


圖 4-29 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段干潮期；t=96 hr)

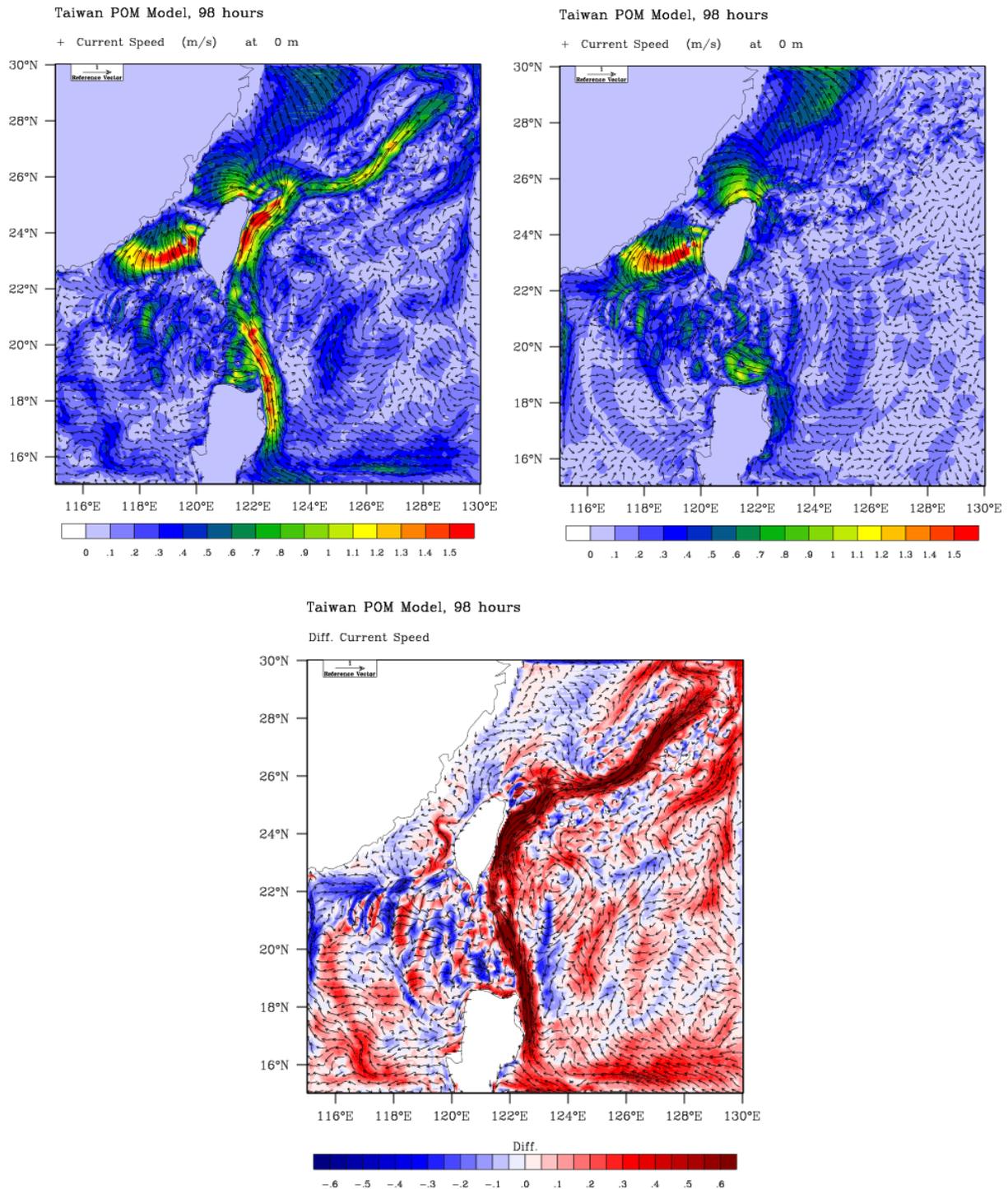


圖 4-30 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段近平潮期；t=98 hr)

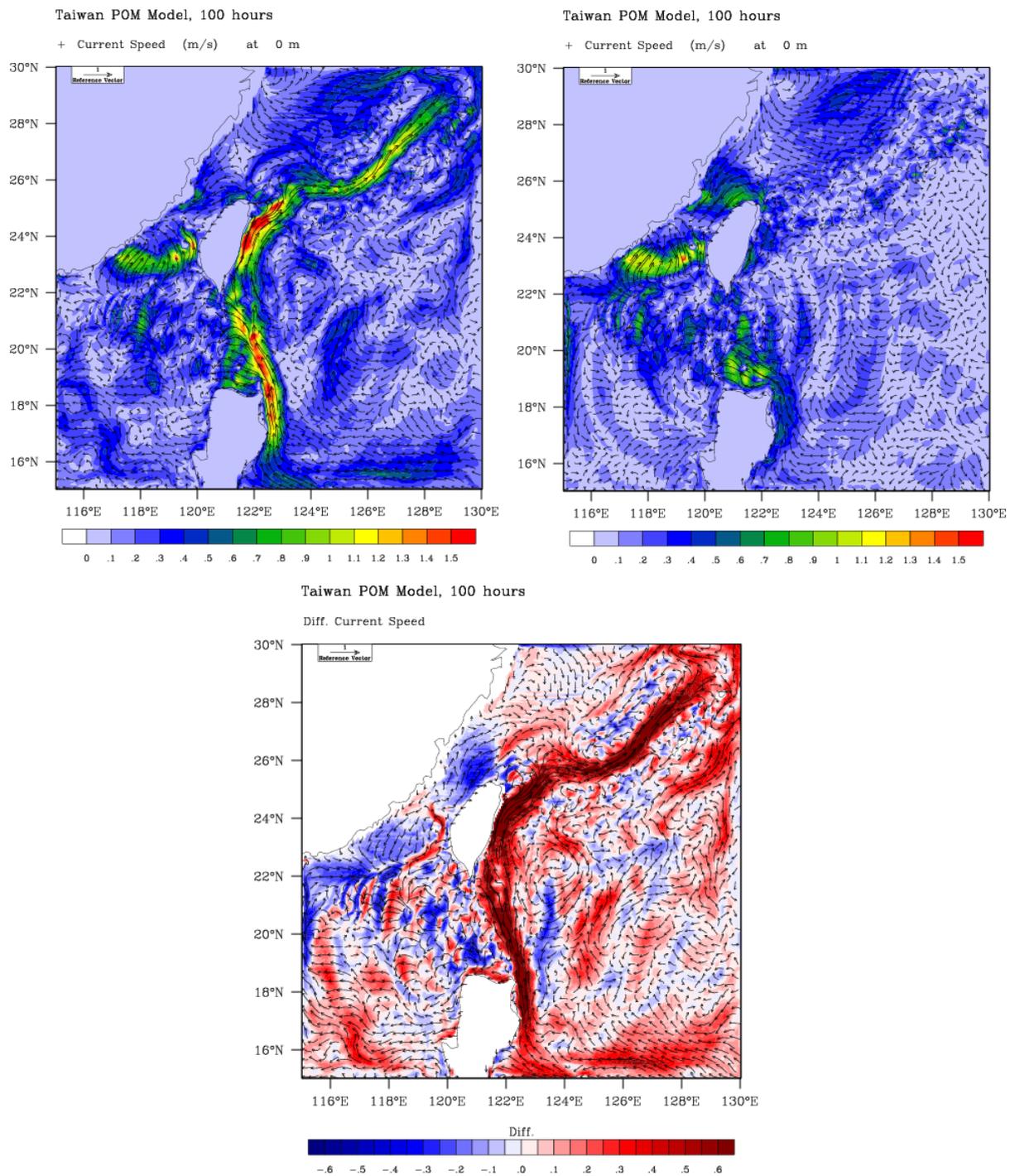


圖 4-31 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段過平潮期； $t=100$ hr)

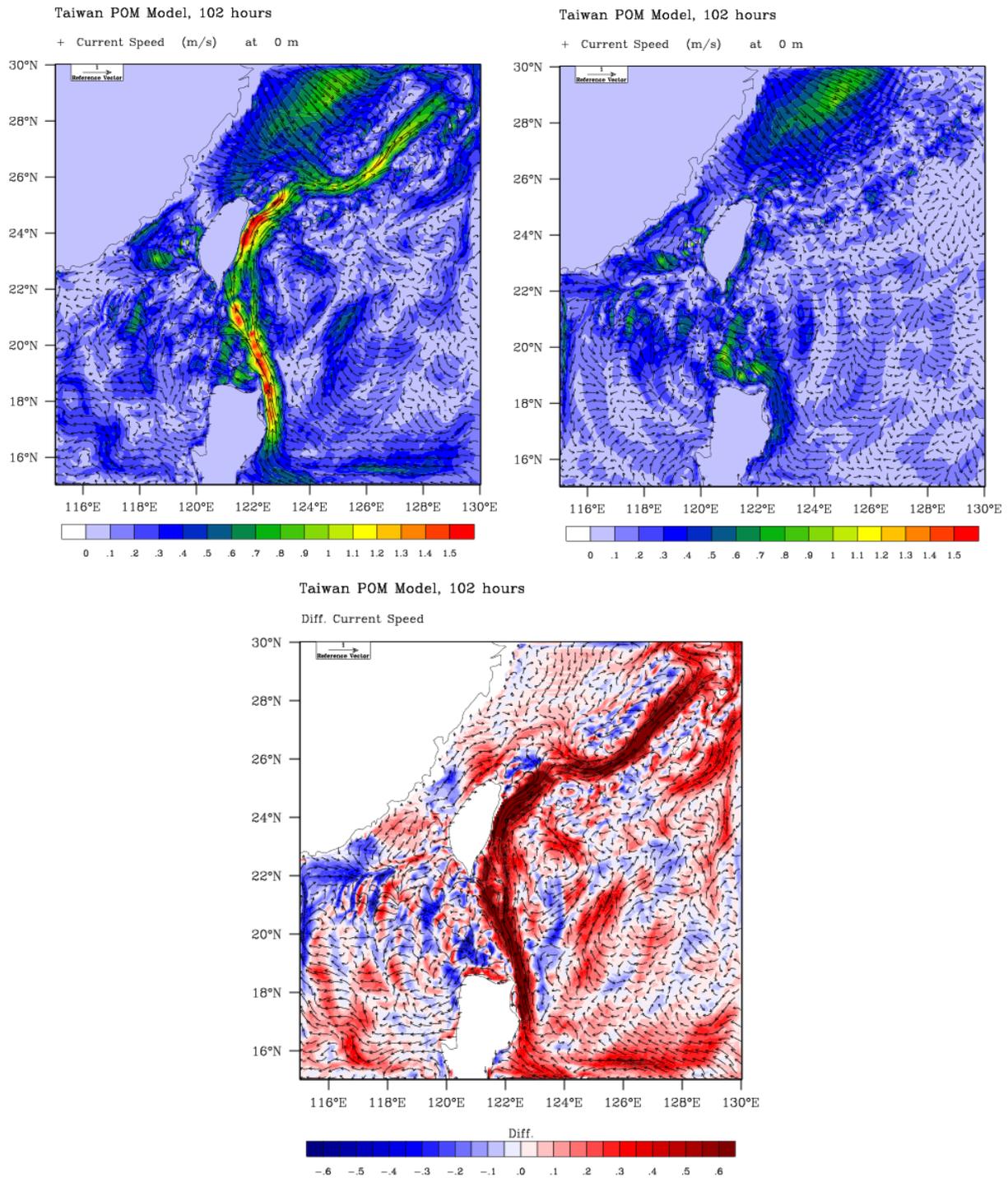


圖 4-32 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在漲潮段滿潮期； $t=102$ hr)

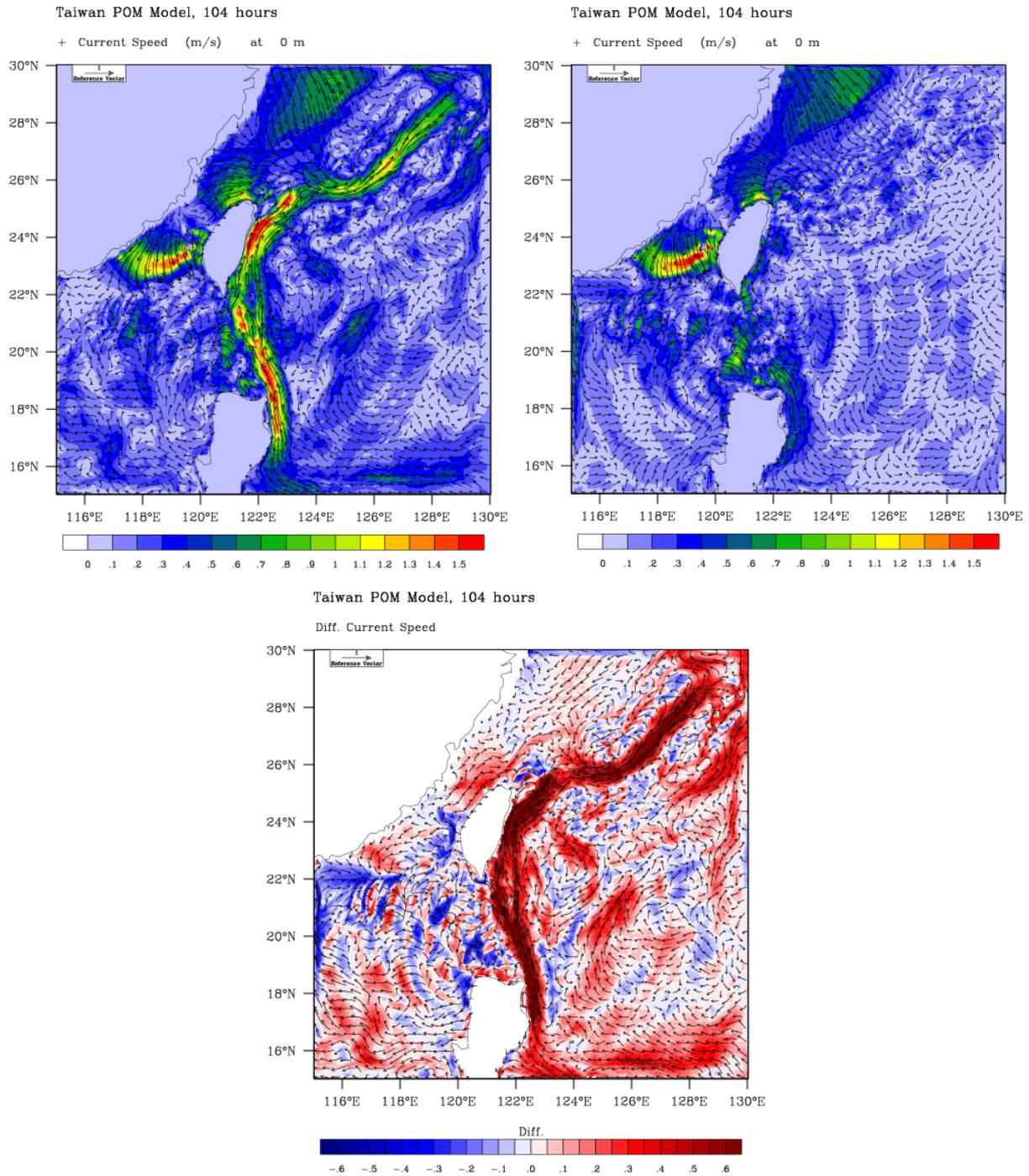


圖 4-33 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近平潮期；t=104 hr)

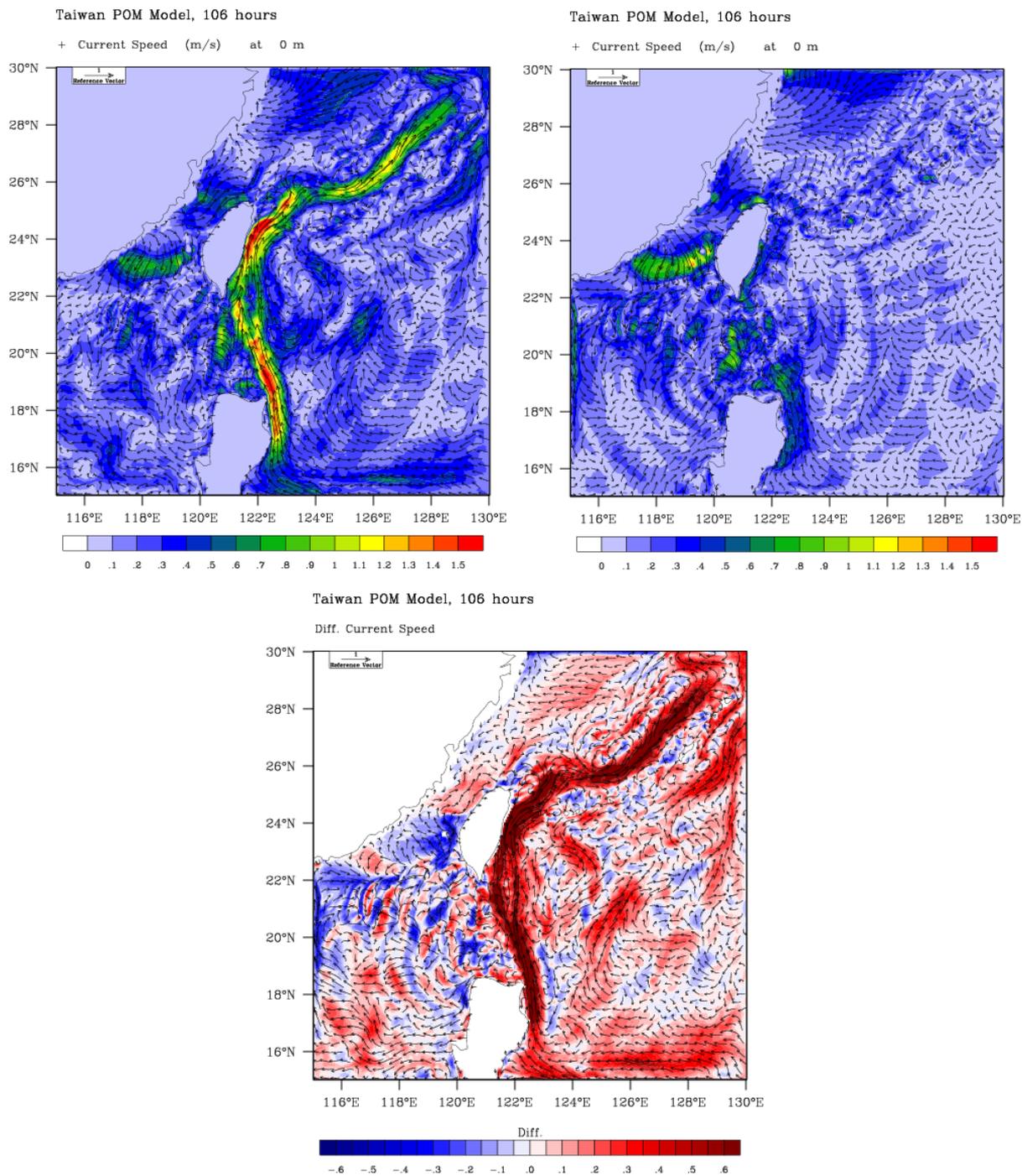


圖 4-34 臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流(左上)及僅具潮流(右上)效應之海表面模擬流速與水位相對差異分布(中下)(參考潮位：臺灣海峽中段在退潮段近干潮期；t=106 hr)

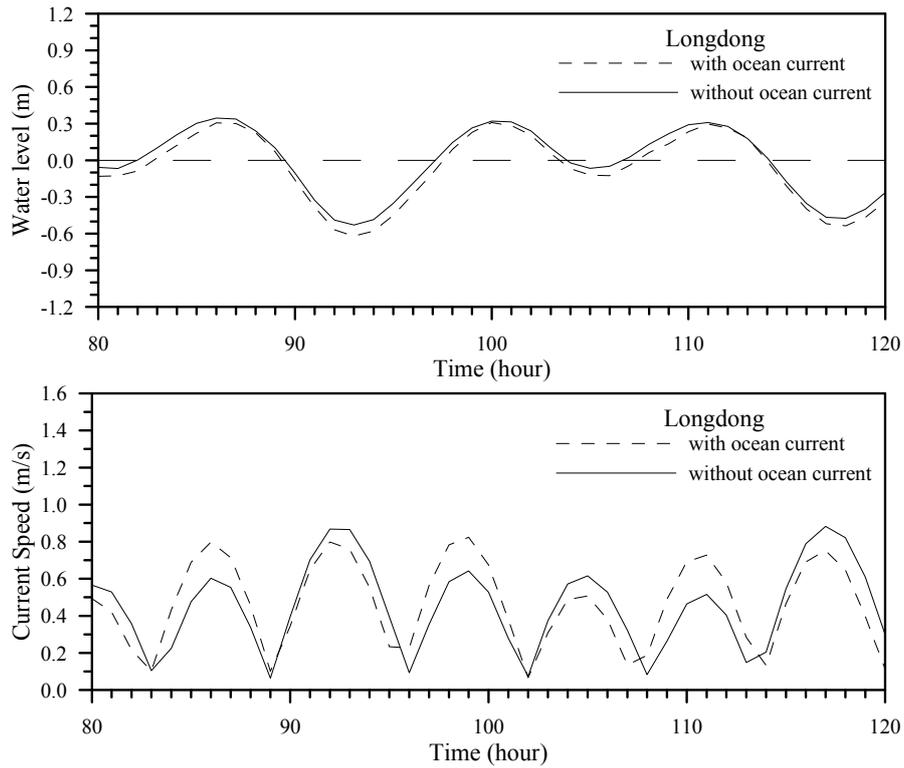


圖 4-35 龍洞海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化

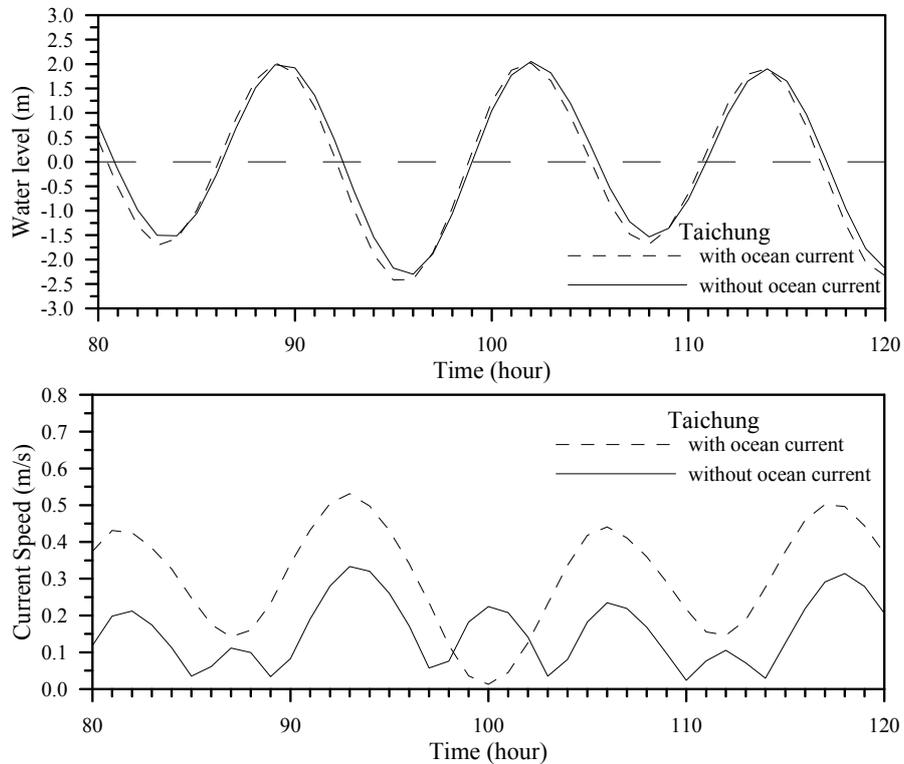


圖 4-36 台中港海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化

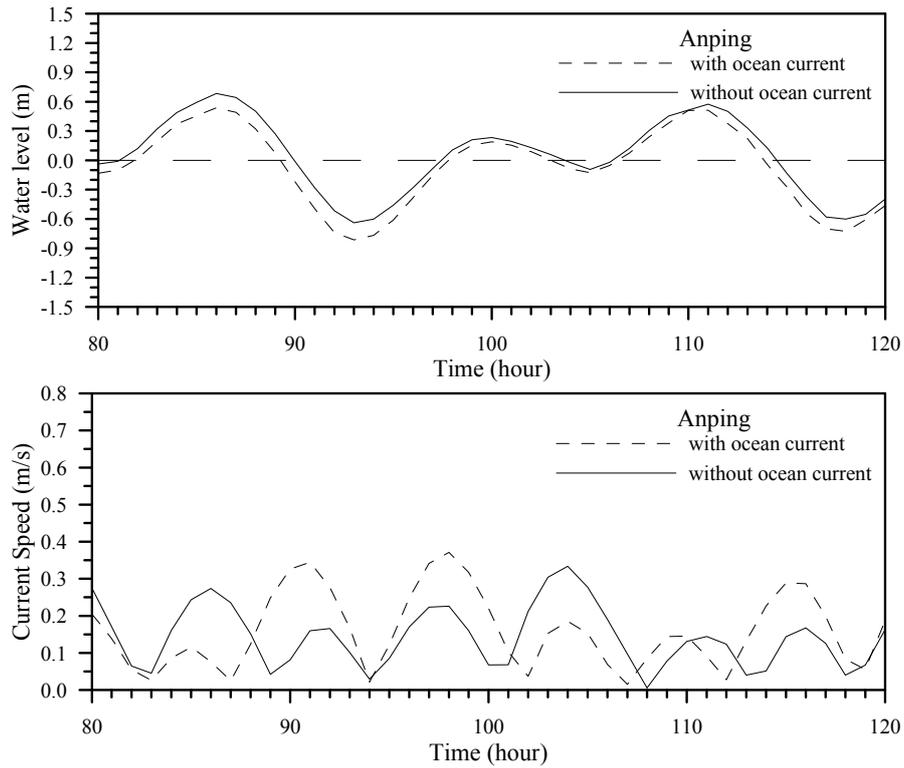


圖 4-37 安平港海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化

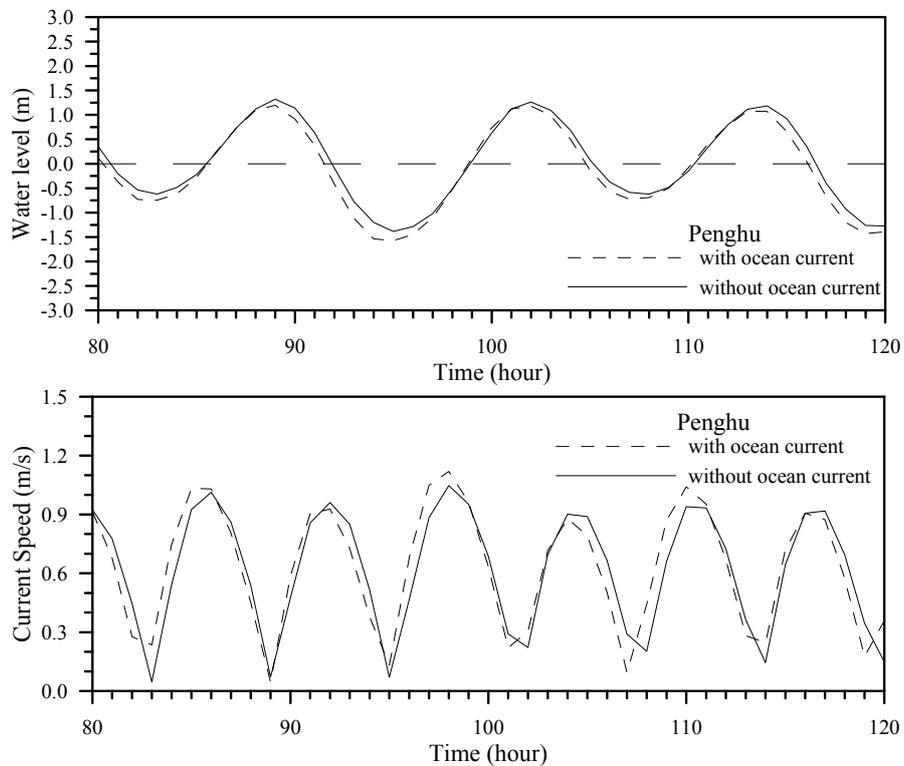


圖 4-38 澎湖海域綜合洋流與潮流效應之模擬水位與海流流速變化

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，豐富數位台灣之海洋 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，再籍實測資料，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」。

5.2 結論

本研究針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與大陸棚架地形，應用美國普林斯頓大學所研發之 POM 海洋數值模式，利用其三維模式的特性，現階段已初步透過巢狀格網之配置架構，完成臺灣鄰近海域的洋流模擬，同時亦可對海流進行概略之特性分析，總體以作業化程序所建主之海流模式及海流數值模擬成果，經初步驗證後，可得主要結論綜述如后：

- (1) 結合國際之海洋海氣象資料庫資源，在巢狀格網配置下，本研究於全球格網海域中，已可針對太平洋海域的主要海流，進行模擬計算，並對於其所附屬的海流特性，也可概略的予以掌握。
- (2) 在臺灣鄰近海域之巢狀格網次網格計算海域中，本研究現階段已可概略模擬計算親潮、南海吹送流、及黑潮等冬夏季自然陳現的主要海流流動現象。
- (3) 在西北太平洋及臺灣鄰近海域巢狀格網次網格計算海域範圍中，儘管其起始與邊界條件資料皆直接萃取並沿用自上層網格海域，且建置巢狀子格網緩衝區並應用邊界推進(nudging)技術，但不同的次網格計算海域範圍及不同的格網空間解析度，所模擬計算的海流流場結果，雖然流場特性粗略上甚相近似，但詳細上仍多變異。造成之原因，應係本研究目前應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，僅具特定的時空解析度(時間解析度為月平均；最小空間解析度為

1.0 度 \approx 100 km)，其無法隨巢狀格網次網格計算海域之高空間解析度及所對應的細計算時距機動準確彈性調整所致。

- (4) 充分考量洋流之科氏力、信風、氣壓、溫鹽度等水動力趨動特性影響及陸地海岸之地形水深效應，本研究認為，在巢狀格網配置之計算海域中，欲較準確地對臺灣鄰近海域的海流進行模擬計算，其在西太平洋海域之格網南界範圍，最好應如本研究之 N2 格網範圍，含括至赤道以南之部分海域；而在臺灣鄰近海域之格網範圍，應如本研究之 T2 格網範圍，以含括大半的菲律賓呂宋島較佳。
- (5) 以冷啟動方式進行洋流模擬，數值模式確實需要足夠長的穩定計算調適期。以本研究所建置之 G1 全球格網範圍為例，穩定計算調適期至少需要 5 計算年之模擬。
- (6) 比較綜合洋流及潮流效應與僅具潮流效應之模擬計算海流流場特性可知，在臺灣海峽海域內，水位的相對差異均甚小，但流速大小的變化卻皆甚明顯，其中，以台中港及安平港近岸海域之海流流速變化最可觀，不過，在澎湖水道海域內，海流流速卻無太大變化，這可能係因地形水深之空間解析度不足或本海域原本即以潮流為優勢海流所致；至於在臺灣東部海域或東亞大陸棚架外緣之深水海域，海流流場特性變異甚小，優勢海流仍以洋流為最主要。

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，應尚還處於數值啟動階段(spin-up)，未來待電腦計算資源增加，模擬時間可有效延長後，針對臺灣鄰近海域，預期應可得到更客觀準確的洋流模擬計算結果。

- (2) 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，相對地也異形複雜，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，並校正格網範圍與參數，從而提昇海流模擬之準確度。
- (3) 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 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。
- (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，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，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. Barron, C. N., A. B. Kara, R. C. Rhodes, C. Rowley and L. F. Smedstad (2007) *Validation test report for the 1/8⁰ global navy coastal ocean model nowcast/forecast system*, NRL Report No. NRL/MR/7320--07--9019, 149pp.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
8. Ezer, T. and G. L. Mellor (1997) "Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model," *J. Geophys. Res.*, 102, pp. 15647-15657.

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

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

29. Oey, L. Y. (2006) "An OGCM with movable land-sea boundaries," *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.
30. Park, K. and A. Y. Kuo (1993) "A vertical two dimensional model of estuarine hydrodynamics and water quality," *Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering*, 321, Virginia Institute of Marine Science.
31. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
32. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
33. Simons, T. J. (1974) "Verification of numerical models of Lake Ontario. Part I, circulation in spring and early summer," *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 507-523.
34. Smagorinsky, J., S. Manabe and J. L. Holloway (1965) "Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere," *Mon. Weather Rev.*, 93, pp. 727-768.
35. Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson and Jay Lawrimore (2008) "Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006)," *J. Climate*, 21, pp. 2283-2296.
36. Stelling, G. S., A. K. Wiersma and J. B. T. M. Willemse (1986) "Practical aspects of accurate tidal computations," *J. Hydr. Eng.*, ASCE, 112(9), pp. 802-817.
37. Tang, T. Y. and J. C. Ma (1995) "A note on the accuracy of shipboard ADCP on Ocean Research I," *Acta. Oceanogr.*, Taiwanica, 34, pp. 71-81.
38. 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.
39. 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.

40. 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.
41. 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.
42. 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.
43. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
44. 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.
45. 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。
46. 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。
47. 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。
48. 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。
49. 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。
50. 經濟部水利處 (2001)，「臺灣海岸概況」，<http://www.wca.gov.tw/2001/wr/coast.htm> .
51. 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。

52. 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。
53. 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。
54. 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。
55. 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。
56. 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。
57. 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。
58. 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。
59. 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。
60. 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。
61. 國家海洋科學中心, <http://140.112.65.17/odbs/Achievement/numerical/main.html>, 海洋資料庫, 國科會, 台北, 臺灣, 中華民國。

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。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**、**NCLscripts** 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 Resconstructed Sea Surface Temperature V3 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

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

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

omap：目錄中為 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

本節分別說明各單一程式或命令所需的參數與輸入檔，藉此讓使用者瞭解各程式或命令所需的檔案與設定方式。

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 *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(100.0, -19.0)為計算領域左下角經緯
# 度座標，單位為度。第三參數(0.5)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由 IHMT-POM 模式計
# 算所之 NetCDF 資料輸出檔，為了節省磁碟空間通常以 link 形式連結至本計算方案
# 之 inp 目錄。第二參數為外模式之流速與水位邊界條件處理，輸入 1 表示處理，輸入
# 0 表示不處理。第三參數為內模式之鹽溫度與流速邊界 nudging 處理，輸入 1 表示處
# 理，輸入 0 表示不處理。
# NEST (INPUT_NC IUA I3D)
#
pom2k.nested.nc 1 1

```

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)
```

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
      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
      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
    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
    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
    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
    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
    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

```

```

dte=5.0e0
C
C-----
C
C   <Internal (3-D) time step>/<External (2-D) time step>
C   (dti/dte; dimensionless):
C   三維模式的計算時距，單位為次數。如設定 60，表示 dti=dte*isplit=300 秒，
C   建議值為 30 至 80
C
C   isplit=60
C
C-----
C
C   Date and time of start of initial run of model in format (i.e.
C   UDUNITS convention)
C
C   YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C   where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C   Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time
C   axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C   real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C   and time as required:
C   計算起始時間，請依照計算方案設定
C
C   time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----
C   計算時間延時
C
C   days=31.e0      ! run duration in days
C
C-----
C   起始輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd1=12.0 / 24.0  ! Initial print interval (days)
C
C-----
C   最後輸出資料間距，單位為天
C
C   prtd2=1.e0      ! Final print interval (days)
C
C-----
C   由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
C   swtch=1000.e0    ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----
C   設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C

```

```

iskp=5          ! Printout skip interval in i
C
C-----
C 設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
iskp=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
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
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
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
sbias=35.e0     ! Salinity bias
C
C-----
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
grav=9.806e0    ! gravity constant (S.I. units)
C
C-----
C von Karman 參數，預設值為 0.4
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
z0b=.01e0      ! Bottom roughness (metres)
C
C-----
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025

```

```

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 Prandtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
C
C      tprni=.2e0
C
C-----
C
C      Background viscosity used in subroutines profq, proft, profu and
C      profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C      umol=2.e-5
C
C-----
C
C      Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C      bcond (metres):
C 計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C 分佈設定一恰當之值
C
C      hmax=4500.e0
C
C-----
C
C      Minimum depth
C 計算領域中最小水深，單位為公尺。小於此值則會將該格網點視為陸地
C
C      hmin=10.0
C
C-----
C
C

```

```

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 K11=0.3*kb; kl2=kb-2
C
C   kl1=6
C   kl2=kb-2
C
C-----
C
C   Water type, used in subroutine profit.
C
C   ntp      Jerlov water type
C   1         i
C   2         ia
C   3         ib
C   4         ii
C   5         iii
C   水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
C   ntp=2
C
C-----
C
C   Surface temperature boundary condition, used in subroutine profit:
C
C   nbct     prescribed     prescribed     short wave

```

```

C      temperature      flux      penetration
C      1      no      yes      no
C      2      no      yes      yes
C      3      yes      no      no
C      4      yes      no      yes
C 海面溫度邊界條件，在 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
      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)
#
pom2k.nested.nc 1 1

```

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
<i>pom_pltHeight_global_sst_Orthographic.ncl</i>	全球海表面溫度圖
<i>pom_pltHeight_global_elb_Orthographic.ncl</i>	全球海表面水位圖
<i>pom_pltHeight_0m_global_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_0m_nwpo.ncl</i>	全球及北太平洋海域表面流場圖
<i>pom_pltHeight_600m_global_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_600m_nwpo.ncl</i>	全球及北太平洋海域 600 米深層之流場圖
<i>pom_pltHeight_0m_nwpo_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_0m_taiwan.ncl</i>	北太平洋及臺灣鄰近海域表面流場圖
<i>pom_pltHeight_600m_nwpo_ZoomIn.ncl</i> <i>pom_pltHeight_600m_taiwan.ncl</i>	北太平洋及臺灣鄰近海域 600 米深層之流場圖
<i>pom_pltSection_taiwan.ncl</i> <i>pom_pltSection_600m_taiwan.ncl</i>	垂直臺灣東岸特定斷面之流場圖
<i>pom_pltHeight_diff.ncl</i>	全球流場差值圖
<i>pom_pltHeight_0m_tide.ncl</i>	臺灣海域含潮流場圖
<i>pom_pltHeight_600m_tide.ncl</i>	臺灣海域含潮流場圖
<i>pom_pltHeight_0m_tide_current.ncl</i>	含潮流場比較圖

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

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
98 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(1/4)
—POM海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬—

- 研究人員：莊文傑、廖建明
- 研究方式：自行研究
- 研究經費：5萬元
- 研究期間：98/01~98/12



圖 2-11 全球主要洋流分布圖

03/17/2010

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—

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

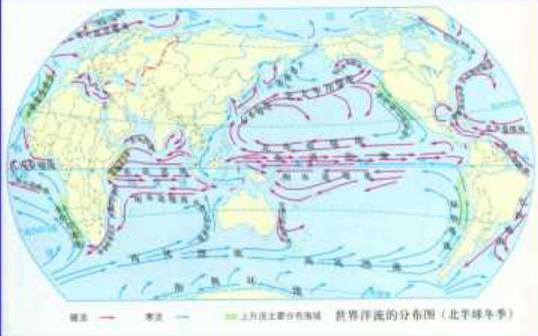


圖 2-12 全球主要洋流分布圖 (北半球冬季)

03/17/2010

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—

研究緣起與目的

■ 研究緣起：

- ◆ 海流，是**大尺度、大規模**的海水流動；
- ◆ 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。
- ◆ **國內海岸工程**，學者專家常關切海流(洋流)的影響。

■ 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，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。
- 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_水溫變動資訊應用；
 - 海洋能源開發利用相關評估；
 - 海岸保育經理_優勢海流流速及流向特性；
- 國內有關此一**時空大尺度**課題的研究，迄今仍甚有限。
- 針對臺灣鄰近海域大尺度之海流(潮流與洋流)特性進行綜合研究，並探討其可能對近岸水動力特性之相關影響。

03/17/2010

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現象；
 - 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：

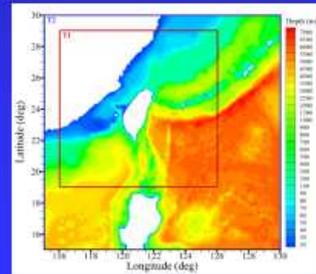
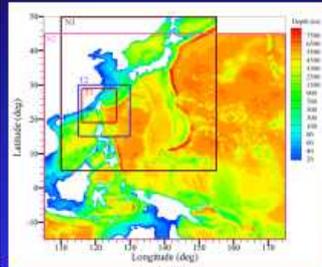
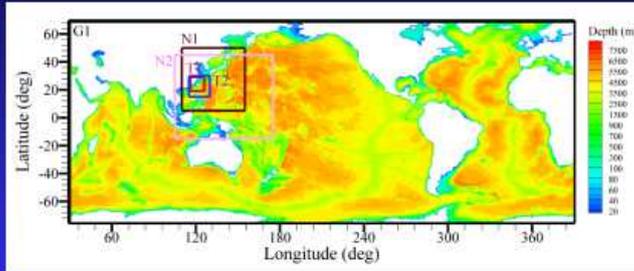
- 針對臺灣鄰近海域，建構巢狀格網架構；
- 巢狀母子格網之聯結銜接，應用邊界緩衝區之流速推進(nudging)技術
- 利用美國NGDC之ETOPO2v2環球水深地形資料庫，再結合美國NCEP/NCAR之風場與氣壓場資料庫、NOAA之ERSST海面溫度資料庫、及NODC之WOA05水深分層溫鹽資料庫；



03/17/2010

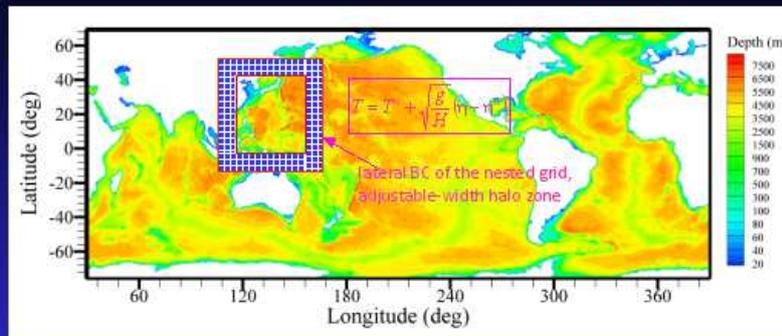
巢狀格網架構

- 全球海域格網_G1
- 西太平洋海域格網_N1;N2
- 臺灣鄰近海域全球格網_T1;T2



模式	模式範圍	解析度 (deg)	計算時距(sec)
G1	180E-180W, 60N-60S	0.5	30
N1	110E-155E, 5N-50N	0.2	20
N2	105E-175E, 15S-45N	0.2	20
T1	116E-126E, 19N-29N	0.05	5
T2	115E-130E, 15N-30N	0.05	5

巢狀母子格網之緩衝邊界及流速推進技術



lateral BC of nested grids

- at the boundary

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

上標0表示上層模式於下層邊界處之內插值

\bar{U}_n 為邊界之法線方向流速 η 為水位

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

Upstream advection scheme

- in the halo zone

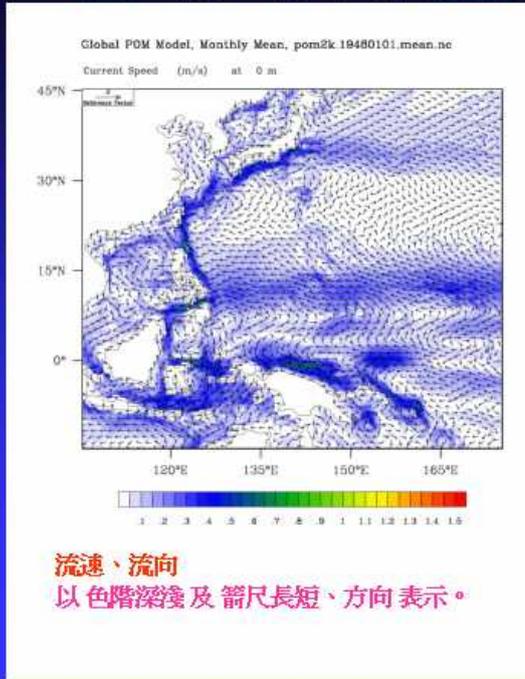
下標i表示據邊界格網第i點處之值；

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

緩衝邊界取12層。

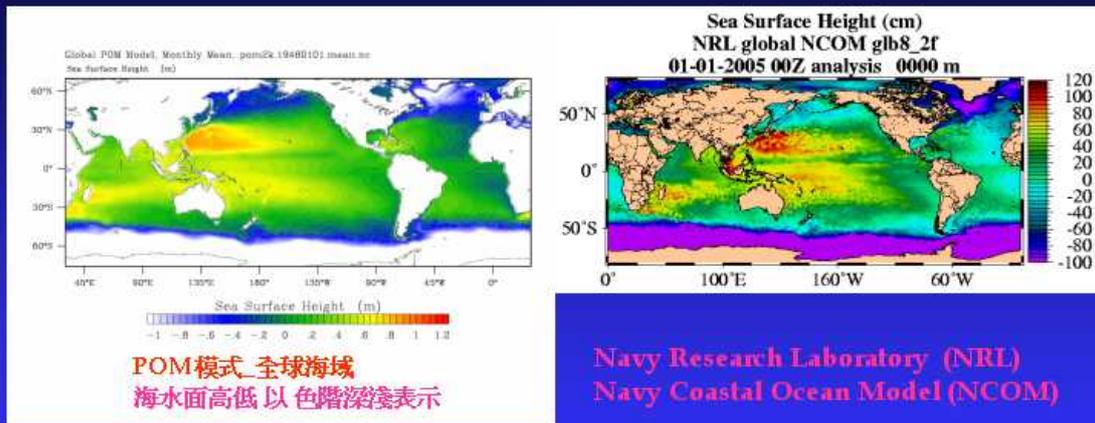
研究成果及討論

POM模式全球範圍之西太平洋海域海流流場



研究成果及討論

全球海域月平均SSH驗證

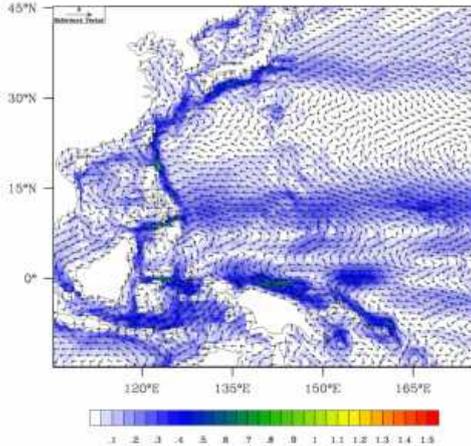


研究成果及討論

POM模式全球及西太平洋海域巢狀格網範圍之海流流場對照比較

Global POM Model, Monthly Mean, pom2k.19480101.mean.nc

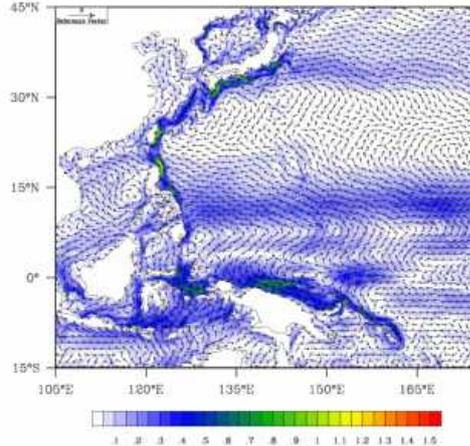
Current Speed (m/s) at 0 m



全球範圍G1 之西太平洋海域

NWPO POM Model, Monthly Mean, pom2k.19480101.mean.nc

Current Speed (m/s) at 0 m



西太平洋範圍之N2海域

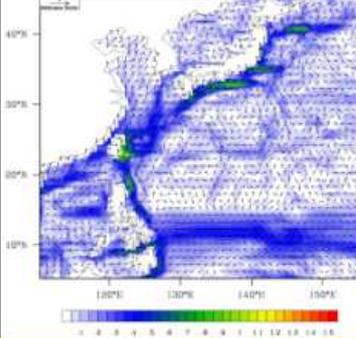
流速、流向以色階深淺及箭尺長短、方向表示。

研究成果及討論

全球G1及西太平洋N1、N2海域巢狀格網範圍之海流流場對照比較

Global POM Model, Monthly Mean, pom2k.19560801.mean.nc

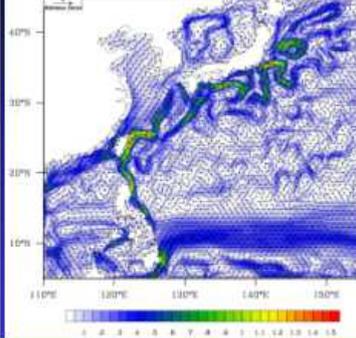
Current Speed (m/s) at 0 m



全球海域_G1

NWPO POM Model, Monthly Mean, pom2k.19560801.mean.nc

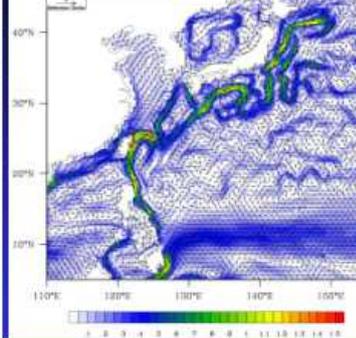
Current Speed (m/s) at 0 m



西太平洋海域_N1

NWPO POM Model, Monthly Mean, pom2k.19560801.mean.nc

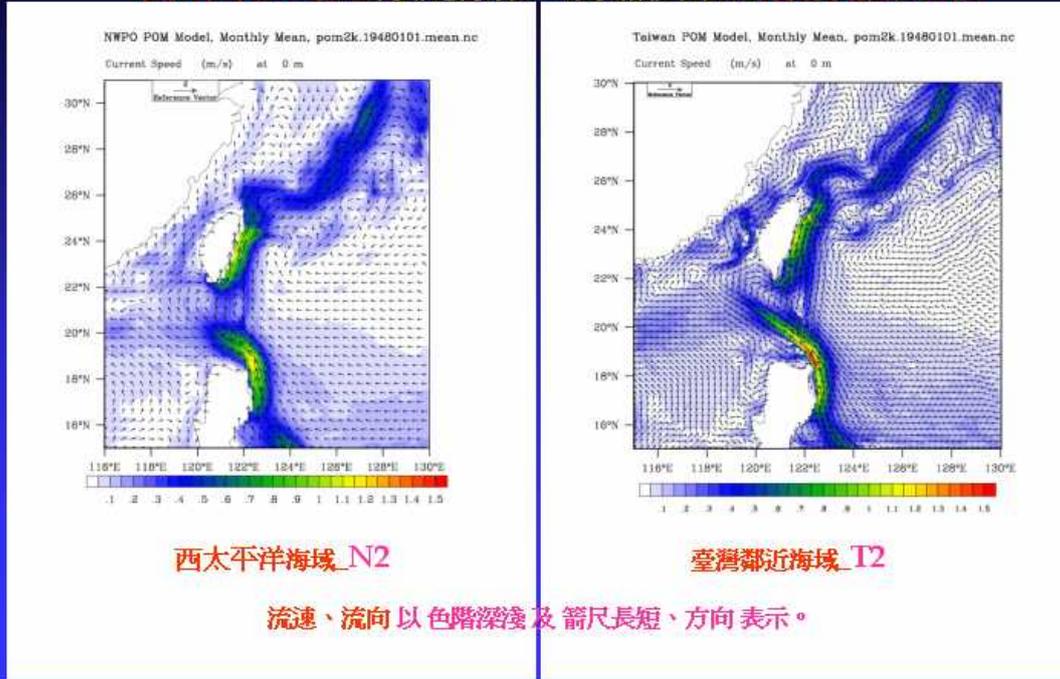
Current Speed (m/s) at 0 m



西太平洋海域_N2

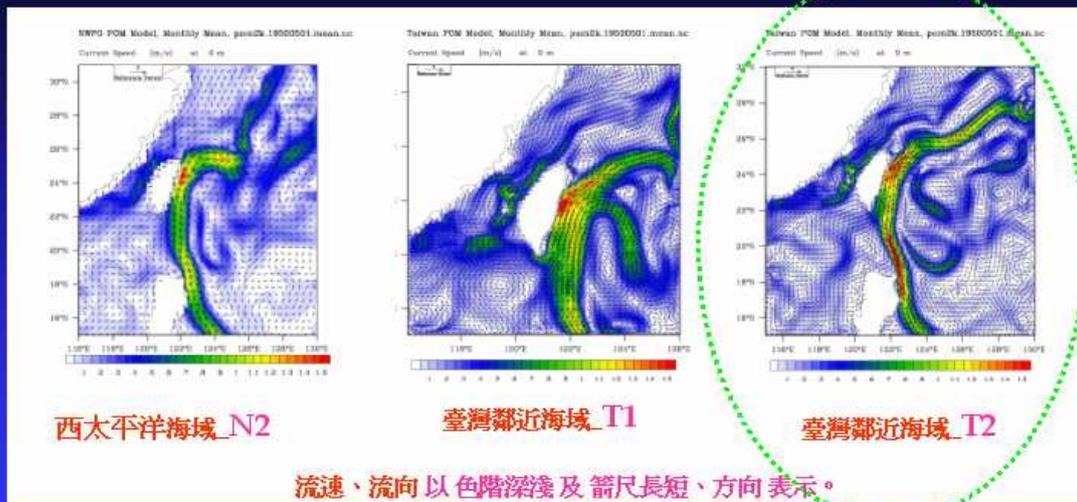
研究成果及討論

西太平洋_N2 及 臺灣鄰近海域_T2 巢狀格網範圍之海流流場對照比較



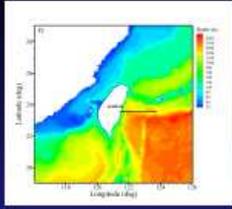
研究成果及討論

西太平洋_N2 及 臺灣鄰近T1、T2 海域巢狀格網範圍之海流流場對照比較

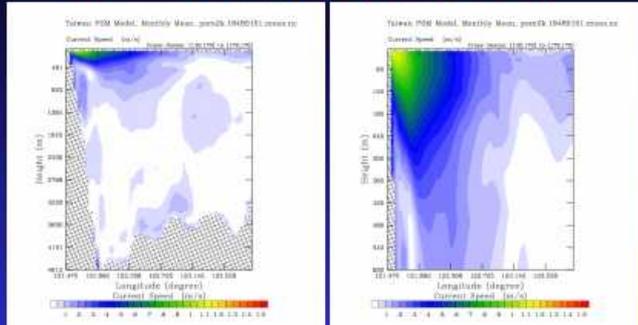


研究成果及討論

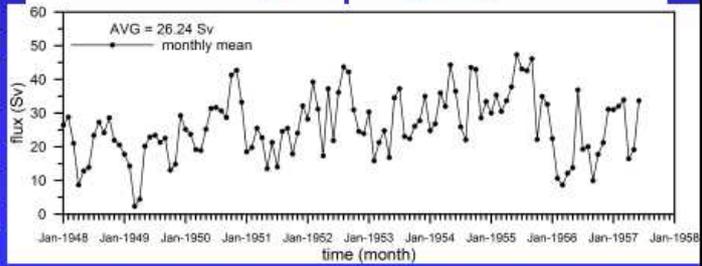
臺灣東部近海之黑潮特性及流量初步驗證



Publication	Mean Q_s Sv
Chu (1970)	17.8-20.4
Wakani (1972)	40
Wakani (1972)	33
Chu (1976)	29.3
Lin (1983)	44.2
Lin et al. (1998)	19.7 (0-350m) 22.6 (0-bottom)
Johns et al. (2001)	21.5±2.5
Hwang and Kao (2002)	19±6 (northeast) 26±5 (southeast)
Gilson and Roegnerich (2002)	22.0±1.5
Yang and Lin (2003)	22.9±14.2
Liang et al. (2003)	15.4-24.3
Hsu et al. (2008)	28.4±5.0, 32.7±4.4



23.5°N 断面之月平均流速變化

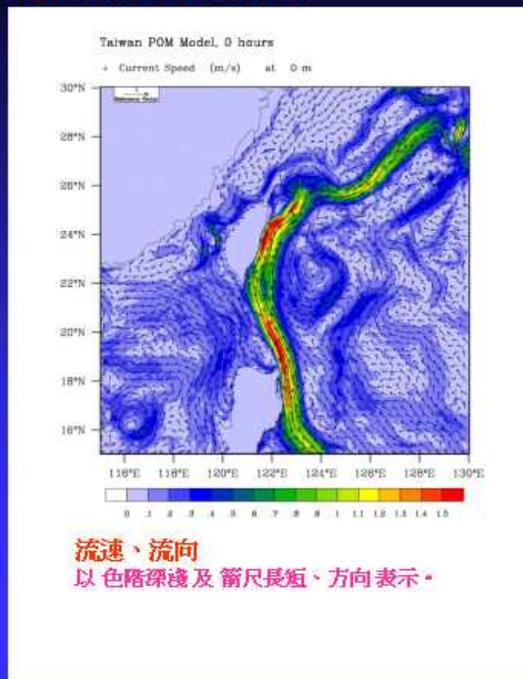
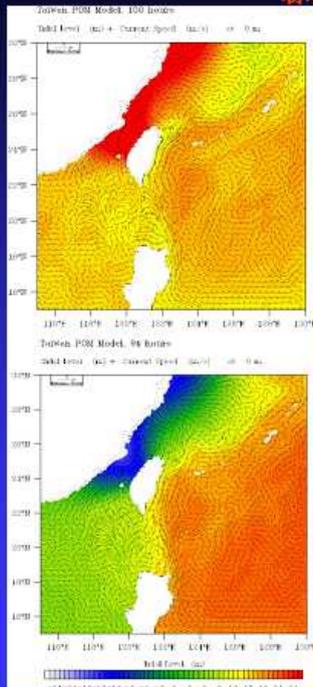


月平均之流量變化 ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

研究成果及討論

綜合洋流與潮流效應之海流流場

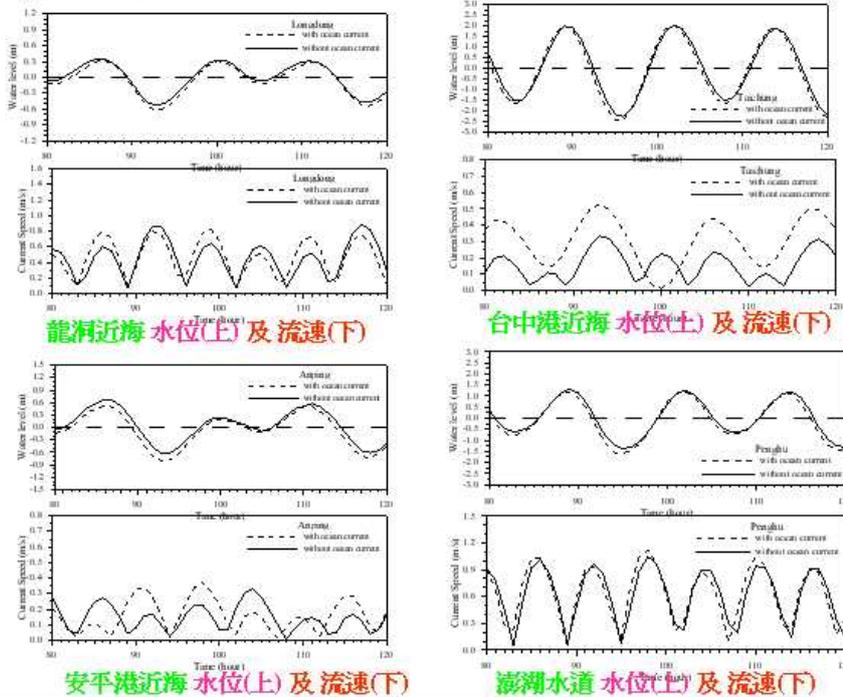
以色階深淺表示海面水位高低



流速、流向
以色階深淺及箭尺長短、方向表示。

研究成果及討論

臺灣海峽海域綜合洋流與潮流效應(虛線)與純潮流(實線)之海流流場特性對照比較



龍洞近海 水位(上) 及 流速(下)

台中港近海 水位(上) 及 流速(下)

安平港近海 水位(上) 及 流速(下)

蘆潮水道 水位(上) 及 流速(下)

結論(1/2)

- 結合國際之海洋海氣象資料庫資源，在巢狀格網配置下，本研究於全球格網海域中，已可針對太平洋海域的主要海流，進行模擬計算，並對於其所附屬的海流特性，也可概略的予以掌握。
- 在臺灣鄰近海域之巢狀格網次網格計算海域中，本研究現階段已可概略模擬計算親潮、南海吹送流、及黑潮等冬夏季自然陳現的主要海流流動現象。
- 在西北太平洋及臺灣鄰近海域巢狀格網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網格海域，且建置巢狀子格網緩衝區並應用邊界推進(nudging)技術，但不同的次網格計算海域範圍及不同的格網空間解析度，所模擬計算的海流流場結果，雖然流場特性粗略上甚相近似，但詳細上仍多變異。造成之原因，應係本研究目前應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，僅具特定的時空解析度(時間解析度為月平均；最小空間解析度為1.0度100 km)，其無法隨巢狀格網次網格計算海域之高空間解析度及所對應的細計算時距機動準確彈性調整所致。

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)
— ROMS海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬

03/17/2010

結論(2/2)

- 充分考量洋流之科氏力、信風、氣壓、溫鹽度等水動力趨動特性影響及陸地海岸之地形水深效應，本研究認為，在巢狀格網配置之計算海域中，欲較準確地對臺灣鄰近海域的海流進行模擬計算，其在西太平洋海域之格網南界範圍，最好應如本研究之N2格網範圍，含括至赤道以南之部分海域；而在臺灣鄰近海域之格網範圍，應如本研究之T2格網範圍，以含括大半的菲律賓呂宋島較佳。
- 以冷啟動方式進行洋流模擬，數值模式確實需要足夠長的穩定計算調適期。以本研究所建置之G1全球格網範圍為例，穩定計算調適期至少需要5計算年之模擬。
- 比較綜合洋流及潮流效應與僅具潮流效應之模擬計算海流流場特性可知，在臺灣海峽海域內，水位的相對差異均甚小，但流速大小的變化卻皆甚明顯，其中，以台中港及安平港近岸海域之海流流速變化最可觀，不過，在澎湖水道海域內，海流流速卻無太大變化，這可能係因地形水深之空間解析度不足或本海域原本即以潮流為優勢海流所致；至於在臺灣東部海域或東亞大陸棚架外緣之深水海域，海流流場特性變異甚小，優勢海流仍以洋流為最主要。

03/17/2010

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4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，較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。
- **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。

03/17/2010

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
98 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

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

03/17/2010

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 98 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(1/4)
」期末審查會議紀錄

壹、時間：民國 99 年 3 月 17 日（星期三）上午 9 時 45 分

貳、地點：本所港研中心 2 樓會議室

參、主持人：港研中心 邱主任永芳

紀錄：劉清松

肆、出席單位及人員：

<u>審查委員：</u>	
中山大學 李忠潘教授	李忠潘
臺灣大學 梁乃匡教授	梁乃匡
建國科技大學 莊甲子教授	莊甲子
成功大學 李兆芳教授	李兆芳
臺灣海洋大學 翁文凱教授	請假
<u>本所港研中心：</u>	
邱永芳主任	簡仲澤代
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、梁乃匡委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 未來應加強與實測資料驗證。另對「近自然工法」策略之關鍵技術應用，宜舉例說明，以讓讀者更清楚了解其應用範疇。 2. 大尺度海洋模式是海洋科技領域重要的課題，本研究引進國外先進技術，並作較深入的改善應用，實屬不易。 3. 本報告作者包括合作研究之學者，符合學術倫理原則。 	<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"> 1. 遵照辦理。數值模擬結果與實測資料之驗證，已列為下一年度(99)研究計畫之執行重點，驗證工作將會於下一年度加強、另外，本研究與海岸保育近自然工法策略之關聯，主要係大尺度優勢海流流速與恆常流向之掌握與應用，關鍵技術著重於大範圍、長期性輸沙潛勢與輸沙方向之評估與判定。 2. 感謝肯定與期勉。 3. 感謝肯定與期勉。
<p>二、莊甲子委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. POM 海洋模式過去曾有和其他發展中的近岸海洋預測模式系統(COFS)作比較，其比較結果建議略加補充。 2. 圖 2-5 的計算流程建議再加整理完整。 3. 時間解析度及空間解析度的選定依據，宜加以補充說明。 4. 數值格網間距設定為 0.625 公里的理由及依據，建議加以補充說明。 5. 結論中建議可增補各重要參數之檢核設定結果及對冷起動需要期間之長短的研究成果。 	<p>感謝莊委員甲子教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 參見 Aikman et al. (1996)之文獻資料或 http://polar.ncep.noaa.gov/cofs/ 或 http://polar.ncep.noaa.gov/ofs/ 2. 感謝提示與指正，已遵照辦理。 3. 時間解析度及空間解析度的選定，與數值計算之穩定條件相關，相關選定依據參見第 2.3.3 節之內文說明。 4. 第 4.1 節乾濕格網模式驗證中，設定格網間距為 0.625 公里，純為測試及陳現模式乾濕效應之空間解析度選定，其在數值計算穩定條件下，所搭配之時間解析度，如表 4-1 所示。 5. 冷起動需要期間長短的研究成果，參見第 4.3.2 節之內文說明；至於增補各重要參數之檢核設定結果，因其與實測資料之驗證相關，故已列為下一

<p>6. 可能的話，建議增作檢核點的驗證。</p> <p>7. 本研究為四年研究計畫之第1年，計畫內容架構、年度進度及本年度計畫目標皆甚明確，研究成果亦皆甚具體與充實，值得肯定。</p>	<p>年度(99)研究計畫之執行重點。</p> <p>6. 本年度之研究重點主要為 POM 模式之引進、建置、及運轉測試，有關增作檢核點進行實測驗證，已列為下一年度(99)研究計畫之執行重點。</p> <p>7. 感謝肯定與期勉。</p>
<p>三、李忠潘委員</p> <p>1. P. 2-3, (2-7)式之 K_H 似為 K_q 之誤。</p> <p>2. P. 2-3, (2-8)式中，密度除為溫度與鹽度函數外，應增列為 P 的函數，即 $\rho = \rho(\theta, S, p)$。</p> <p>3. P. 2-7, H 似為靜水位的水深?</p> <p>4. P. 2-11, K_b 的定義與敘述，稍有混淆。</p> <p>5. 建議將 P. 2-7 之後的垂直速度符號 ω 改為 W，以與 P. 4-1 之 ω 區別。</p> <p>6. 表 4-1, 計算時距，請加單位。</p> <p>7. 除了 SSH 之外，如何驗證?尚有發揮的空間。</p>	<p>感謝李委員忠潘教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. (2-7)式中，K_H 為鹽度與溫度之垂直渦旋混合係數；在 POM 模式中，既有之鹽度與溫度，係採用相同之垂直渦旋混合係數。</p> <p>2. 感謝提示與指正。(2-8)式中，海水密度確實應為溫度、鹽度與壓力之函數，$\rho = \rho(\theta, S, p)$ 已於(2-4)式中修正。</p> <p>3. 感謝提示與指正。P. 2-7 中，H 確為靜水位下之水深，原文中表示為地形總水深已修正。</p> <p>4. kb 為一符號，用以表示垂直分層之層次數，使用於 POM 模式之原始說明文件中，其並非為 $k \times b$ 之意義，已於第 2.2.5 節之內文中說明。</p> <p>5. 感謝提示與指正。由於第 2.2.3 節中，W 已定義為 z 座標系統之速度、ω 為 σ 座標系統之速度，故修正 P. 4-1 中之 ω 為 ϖ，以茲區別。</p> <p>6. 遵照辦理。表 4-1 中，計算時距單位為秒，已修正。</p> <p>7. 感謝指正與期勉。本年度之研究重點主要為 POM 模式之引進、建置、及運轉測試，現階段並僅作全球 SSH 及臺灣東部近海之黑潮月平均流量初步驗證，至於更多及進一步詳細的驗證，已列為下一年度(99)研究計畫之執行重點。</p>

<p>四、李兆芳委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在海流計算結果的特性探討上，可以繼續延伸。 2. 海流和潮流的特性區隔，可以繼續延伸。 3. 利用 POM 模式，計算台灣四周海流特性具重要性；結果具初步合理性，後續可加強研究。 	<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> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝提示與期勉。本年度之研究重點主要為 POM 模式之引進、建置、及運轉測試，現階段海流數值模擬計算之初步成果，僅具概略性，詳細準確的海流特性探討，將於下一年度(99)研究計畫中執行。 2. 感謝提示與期勉。本研究於第 4.4 節中曾進行綜合洋流與潮流效應之海流模擬，主要目的在探討洋流對潮流之影響。惟基於本研究現階段 POM 模式之引進、建置、及運轉測試目標，相關海流和潮流的特性區隔，將於下一年度(99)研究計畫中執行並詳加探討。 3. 感謝肯定與期勉。
---	--