

97-33-7320
MOTC-IOT-96-H3DB005

臺灣環島海域海洋數值模式之 引進及建置



交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

97-33-7320
MOTC-IOT-96-H3DB005

臺灣環島海域海洋數值模式之 引進及建置

著者：歐善惠、廖建明、許泰文、辛志勇、莊文傑

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置 / 歐
善惠等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運
研所，民97. 03
面；公分
參考書目：面
ISBN 978-986-01-3800-9(平裝)

1. 海洋探測 2. 防災工程 3. 數值控制 4.
自動化

351. 9029

97006133

臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置

著者：歐善惠、廖建明、許泰文、辛志勇、莊文傑
出版機關：交通部運輸研究所
地址：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) 26587176
出版年月：中華民國 97 年 3 月
印刷者：承亞興企業有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 110 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
五南文化廣場：臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009700787

ISBN：978-986-01-3800-9 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-3800-9 (平裝)	政府出版品統一編號 1009700787	運輸研究所出版品編號 97-33-7320	計畫編號 96-H3DB005
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：莊文傑 研究人員：馬維倫、錢爾潔 聯絡電話：04-26587185 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：大仁科技大學 計畫主持人：歐善惠 研究人員：廖建明、許泰文、辛志勇 地址：屏東縣鹽埔鄉新二村維新路 20 號 聯絡電話：08-7624002 轉 102		研究期間 自 96 年 2 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：普林斯頓海洋數值模式；海潮流模式；潮殘餘流			
摘要： 為改善災害風險評估系統，促進既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家永續發展之目標，本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」為主計畫「潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」之前導研究，將透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性完成台灣環島海域的海潮流模擬。並建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續主計畫所需的分析程式之發展，以數值模式模擬分析台灣環島海域之海潮流特性，以期提供達到主計畫目標的分析工具。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
97 年 3 月	116	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: Introducing and Installing the ocean circulation model: POM for seas around Taiwan			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-01-3800-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700787	IOT SERIAL NUMBER 97-33-7320	PROJECT NUMBER 96-H3DB005
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang PROJECT STAFF: Wei-Lun Ma, Er-Jier Chien PHONE: (04) 26587185 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2007 TO December 2007
RESEARCH AGENCY: Tajen Technology University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shan-Hwei Ou PROJECT STAFF: Jian-Ming Liao, Tai-Wen Hsu, Chih-Yung Shin ADDRESS: 20, Weishin Road, Yanpu Township, Pingtung County, 907, Taiwan, R.O.C. PHONE: 08-7624002 ext 102			
KEY WORDS: Princeton Ocean Model, ocean circulation model, tidal residual current			
ABSTRACT: In order to improve the system of disaster prevention and strengthen the integrity of the monitoring system in the coastal waters of Taiwan, the Princeton Ocean Model (POM) was introduced from Princeton University of USA. This is a preliminary study for the main project of the relationship between tidal residual current and the tendency of long-term sediment movement on the western coast of Taiwan. The POM model is able to simulate tidal current over the complex topography of Taiwan's coastal waters. The standard operating procedure of the computational environment of POM will be established for the simulation of tidal current. According to the developments of the display system and the analyzed tool in this study, the numerical ocean model can evaluate the characteristic current of the Taiwan coast. Aside from the mentioned function, another function is to provide an analytical tool for the main project.			
DATE OF PUBLICATION March 2008	NUMBER OF PAGES 116	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	V
第一章 緒論	1-1
1.1 研究動機	1-1
1.2 計畫背景	1-1
1.3 工作項目與預期成果	1-4
第二章 POM 模式之理論介紹	2-1
2.1 模式特性	2-1
2.2 控制方程式	2-2
2.3 數值方法	2-11
第三章 POM 模式執行環境建置	3-1
3.1 硬體設備建置	3-1
3.2 軟體環境建置	3-2
3.3 資料蒐集	3-13
3.4 POM 模式建置	3-16
3.5 POM 模式操作說明	3-17
第四章 模式測試與驗證	4-1
4.1 模式驗證	4-1
4.2 實例應用	4-5

第五章 結論	5-1
參考文獻	參-1
附錄 1 港灣研究技術中心 POM 模式操作手冊	附 1
附錄 2 期中與期末審查意見處理情形表	附 2
附錄 3 期末報告書面資料	附 3

圖目錄

圖 2-1 σ 座標系統 (Mellor, 2003)	2-7
圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor, 2003).....	2-12
圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003).....	2-12
圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003).....	2-13
圖 2-5 模式計算流程圖.....	2-16
圖 3-1 起始歡迎畫面.....	3-4
圖 3-2 版權同意畫面.....	3-4
圖 3-3 安裝模式選擇畫面.....	3-5
圖 3-4 時區選擇畫面.....	3-5
圖 3-5 桌面環境選擇畫面.....	3-6
圖 3-6 安裝設定畫面.....	3-6
圖 3-7 安裝過程畫面.....	3-7
圖 3-8 安裝之後重新開機畫面.....	3-7
圖 3-9 設定系統管理員密碼畫面.....	3-8
圖 3-10 主機與領域名稱設定畫面.....	3-8
圖 3-11 網路組態設定畫面.....	3-9
圖 3-12 安裝更新畫面.....	3-9
圖 3-13 使用者驗證方式畫面.....	3-10
圖 3-14 本機使用者設定畫面.....	3-10
圖 3-15 為硬體組態畫面.....	3-11

圖 3-16 安裝完成後桌面	3-11
圖 3-17 POM 模式建置與資料處理流程	3-18
圖 4-1 風引致水位測試設定示意圖	4-2
圖 4-2 水位推升高比較圖	4-2
圖 4-3 鹽度分佈切面圖(第 0 小時)	4-3
圖 4-4 鹽度分佈切面圖(第 2 小時)	4-4
圖 4-5 鹽度分佈切面圖(第 12 小時)	4-4
圖 4-6 鹽度分佈切面圖(第 72 小時)	4-5
圖 4-7 台灣海域附近海流流況	4-8
圖 4-8 北太平洋模式格網與地形水深圖	4-8
圖 4-9 台灣海域模式格網與地形水深圖	4-8
圖 4-10 北太平洋海面海流流速分布圖	4-10
圖 4-11 台灣海域海面海流流速分布圖	4-11
圖 4-12 永安海域時序列潮位比較圖	4-12
圖 4-13 石梯海域時序列潮位比較圖	4-12
圖 4-14 大武海域時序列潮位比較圖	4-12
圖 4-15 綠島海域時序列潮位比較圖	4-12
圖 4-16 台灣附近海域潮汐變化	4-13
圖 4-17 台灣附近海域潮汐變化	4-14
圖 4-18 台灣附近海域潮汐變化	4-15

表目錄

表 1-1 計畫預定進度	1-7
表 3-1 模式執行硬體配置	3-1
表 3-2 QSCAT/NCEP 混合風場資料格式	3-14
表 3-3 NCEP/NCAR 分析風場資料格式	3-14
表 3-4 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式	3-15
表 3-5 NOAA OI 海面溫度資料格式	3-15
表 3-6 WOA05 海洋資料庫格式	3-16

第一章 緒論

1.1 研究動機

為改善災害風險評估系統，促進既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家永續發展之目標，本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」為主計畫「潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」之前導研究，將透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性完成台灣環島海域的海潮流模擬。預定建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續主計畫所需的分析程式之發展，以數值模式模擬分析台灣環島海域之海潮流特性，以期提供達到主計畫目標的分析工具。主要工作項目包括：引進及建置 POM 海洋數值計算模式及其相關資料輸出、入處理系統與模擬成果展示系統；購建數值模擬所需之軟、硬體作業環境；及編撰中文化之安裝與操作手冊。

1.2 計畫背景

潮汐是天體對海洋萬有引力所產生的振動，波長則有數百至數千公里，其周期與天體運行一致，此種潮汐稱為天文潮。當由此天體引潮力所引起的波動進入淺水地區，則會形成與天體運行頻率無關的振動，此種波動稱為淺水分潮。潮汐的傳播，表現在垂直方向即為潮位的升降，而水平方向則會引起水體的流動稱為潮流。除了天文潮外，還有由氣壓變化或風剪力所引起的海洋水位變動，稱為氣象潮。

台灣四面環海，位於歐亞大陸棚的東南邊緣，西側為台灣海峽，海底平緩，其平均水深約為 60 公尺。東側為北太平洋，海底地形陡峭，海底高程急劇下降至 4000 公尺以下，南側以巴士海峽與菲律賓島相

望。東西部海底環境形成強烈對比，導致東西部潮流特性亦不同，西部受台灣海峽影響，漲潮時潮汐由台灣南北兩端進入，導致台中彰化一帶的潮差可達 4 公尺，而東部約在 1 公尺上下。由此可知台灣附近海域潮汐變動複雜，如何正確的了解台灣環島海域潮汐的變動與特性，也是國內學者爭相研究的課題。

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

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

在三維模式應用上，由於計算費時加上邊界條件取得不易，Nihoul (1977) 提出擬似三維模式 (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 (1977) 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。

關於本計畫所使用的美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM) 的發展，早期是由 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 (1987) 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。

建立數值模式的目的是在於可提供模擬所預測的詳細資料，Zavatarelli 和 Mellor (1995) 模擬實際的地中海流況，並與各種觀測結果比較。Aikman 等人 (1996) 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台灣海域之潮汐模式，找尋該模式最佳化參數，以完成一套台灣海域作業化潮汐預報模式。另外，盧與吳（2005）曾利用 POM 針對台灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究。由此可知，POM 模式不但可計算小尺度河川、渠道等之水理運動例如溫度、鹽度等的改變，亦可模擬大尺度海洋、海岸等天文潮及氣象潮所引起的水位與流場變化。

本計畫研究範圍為台灣環島海域，研究對象為模擬海潮流流場模式作業化，利用美國普林斯頓大學海洋模式為基礎，建構台灣環島海域三維海潮流流場。透過本計畫引進 POM 模式及其相關資料，其中包括控制方程式的介紹與建構模式所需的海底地形資料、全球潮汐模式與海面氣象資料，並透過台灣海域中各種實測潮流資料調整模式中參數，探討使用於台灣海域中之最佳參數值。對於前置與後置處理流程與相關工具程式，亦進行開發與研究，以期模式轉移至交通部運輸研究所後能順利使用，提供準確與有效率的台灣海域海潮流之研究工具。

1.3 工作項目與預期成果

1.3.1 工作項目

本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」，原預定計畫期程為民國 96 年 1 月 1 日至 96 年 12 月 31 日，共計一個年度。為主計畫「潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」之前導計畫，主計畫目的在於了解台灣近岸海域所形成沉積型態與潮殘餘流之間的關係，故需要建置台灣環島海域海洋數值模式作為分析潮汐特性之主要工具。本計畫利用 POM 模式建立台灣海域三維海潮流模式，透過模式

建立，以其模式能應用於台灣海域海潮流特性的解析，並發展前置與後置處理軟體與流程，簡化處理海潮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，表 1-1 為計畫進度甘特圖。

本計畫的工作項目與進行步驟如下所述：

- (1) 購置及建置個人電腦數值模擬及成果展示所需之軟、硬體作業環境；蒐集與建置模式計算所需的海底地形水深、海氣象、潮流與潮位資料。
- (2) 引進及建置美國普林斯頓大學研發之 POM 海洋數值計算模式及其相關資料輸出、輸入處理系統與模擬成果展示系統；建立與完成模式計算所需的軟硬體電腦環境。
- (3) 進行前置處理程序與程式的建立，以縮短整理 POM 模式計算所需資料與邊界條件的處理時間。
- (4) 引進及建置美國普林斯頓大學海洋模式 POM，完成模式修改以適用台灣環島海域之海潮流計算，並建置模式計算所需之軟硬體環境。
- (5) 進行模式計算後置處理程式或程序的建立，完成模式結果展示與後續計畫所需之分析工具。
- (6) 撰寫 POM 海洋數值計算模式及其相關模擬成果展示系統之中文化引進及建置手冊。
- (7) 撰寫 POM 海洋數值計算模式及其相關模擬成果展示系統之中文化操作手冊。
- (8) 完成模擬台灣環島海域海潮流，並驗證模式之正確性。
- (9) 以臺灣環島海域海流數值模擬計算為例，撰寫並提交實際應用報告，報告內容應分別包含上列(6)及(7)項之中文化手冊。撰寫成果報告與 POM 模式中文化操作手冊與標準程序。

- (10) 本委託合作研究所引進及建置數值模擬系統(含軟、硬體)之移轉臺灣技術研究中心使用，本計畫結束後進行模式移轉與相關之必要協助。

1.3.2 預期成果

依據本計畫之工作項目，預期成果與未來之應用如下所述：

- (1) 完成以美國普林斯頓大學海洋模式 POM 進行台灣環島海域之海潮流模擬，建立模式作業化環境與展示系統。
- (2) 完成主計畫「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」前導基礎。
- (3) 引進及應用國際資源，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。
- (4) 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。
- (5) 進行本土化海洋環境、資源、及能源之保育、開發及利用。充實臺灣大百科知識庫、海洋科研資料庫，深耕海洋文化，厚植海洋科技發展相關產業之基礎。
- (6) 落實科技的民生應用，強化社會與海洋環境科技的互動，研發新災害課題之防治方法與技術。
- (7) 配合建立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，以降低生態環境衝擊，並因應全球環境之變遷，補充既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家永續發展之目標。

表 1-1 計畫預定進度

工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月					備 註
相關資料蒐集 與分析													
POM 模式之引 進與建置		※											
模擬範圍與格 網之建立													
模式邊界條件 之建立													
模式前置處理 程序之建立													
模式後置與展 示程序之建立					※								
模式驗證與測 試													
期中簡報													
報告與模式操 作手冊之撰寫							※						
技術轉移													
期末簡報													
繳交正式報告 及辦理結案													
工作進度估計 百分比(累積數)	10	20	30	40	50	70	80	100					
※預定查核點	第 1 季：資料蒐集與 POM 模式所需環境之建立												
	第 2 季：模式前置與後置展示處理程序之開發與建立												
	第 3 季：模式驗證與測試、手冊與報告之撰寫												

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，一般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。本計畫使用的美國普林斯頓大學海洋模式是由 Blumberg 和 Mellor (1987) 所發展及撰寫，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，提高局部解析度並增加計算效率。POM 模式之數值技巧分為外模式 (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深平均流場，計算速度較快，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，計算速度較慢，時距可以取得較長，如此兩種不同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 Phillips (1957) 創立之 σ 座標系統，此座標可以解析地形變化梯度很大的地方，例如複雜起伏多變的河口及沿岸海域地形、大陸棚斜坡或斷層等。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、淡水混合的問題，透過鹽度狀態方程式，亦可以描述河口附近海域鹽度的變化。以下則簡介該模式之控制方程式、邊界條件與數值方法。

2.2 控制方程式

2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

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

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

式中 U 、 V 為水平方向的流速， W 為 z 方向上為正的流速， x 方向為向岸座標， y 方向為沿岸座標， z 方向則為水深方向之座標。第二個假設則是使用近似的方法簡化流體的動力方程式，引用包氏近似 (Boussinesq approximation)，因此流體的水平方向動量方程式可寫為：

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

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

水深方向的動量方程式，因為水深方向流速 (W) 的大小比起水平方向的海流 (U, V) 尺度小了許多，故可以把水深方向的動量方程式化簡為靜水壓方程式來代替，則變成下面的形式：

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

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

水深方向的壓力可以藉由對動量方程式，式 (2-4) 的垂直分量作

積分，可得

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

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 為熱能和鹽度的垂直渦旋混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)， F_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。

海水混合密度為溫度和鹽度之函數，可表示為：

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

在控制方程式中的 F_u 、 F_v 、 F_θ 、 F_S 分別表示如下：

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

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

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

式 (2-11) 中的 ϕ 可分別用 θ 和 S 來表示。

A_M 、 A_H 分別為動量及熱量之水平渦旋擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式 (Smagorinsky 等人，1965) 求得，其表示式為

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

其中 C 為 Horcon 參數，範圍在 $0.1 \leq C \leq 0.2$ 之間， Δx 、 Δy 表示 x 和 y 方向的格網間距。而 POM 模式利用 Schmidt 數以之與 A_M 相關聯，即 $A_H / A_M \equiv TPRNI$ ，該值通常設定為一個很小的數，例如 0.2 或甚至在某些例子為零 (Oey 等人，1985a；1985b)。

2.2.2 紊流閉合模式

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

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

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

式中 $\tilde{W}$ 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：

$$K_M = qlS_M \dots\dots\dots(2-17)$$

$$K_H = qlS_H \dots\dots\dots(2-18)$$

$$K_q = qlS_q \dots\dots\dots(2-19)$$

其中 S_M 、 S_H 、 S_q 定義為穩定函數，而以下式表示：

$$S_H [1 - (3A_2B_2 + 18A_1A_2)G_H] = A_2 [1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots(2-20)$$

$$S_M [1 - 9A_1A_2G_H] - S_H [(18A_1^2 + 9A_1A_2)G_H] = A_1 [1 - 3C_1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots(2-21)$$

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

上二式中

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

其中參數分別為

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

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

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

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，對模式計算上帶來很大的便利。卡式座標與 σ 座標轉換關係如下所示：

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

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

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

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

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

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

其中 x 、 y 、 z 是一般的卡式座標， $D \equiv H + \eta$ 而 $H(x, y)$ 是底部地形， $\eta(x, y, t)$ 為表面高程。將上列 (2-25) 至 (2-28) 式代入控制方程式，則上列所有的方程式將自卡式座標系統轉換至 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。

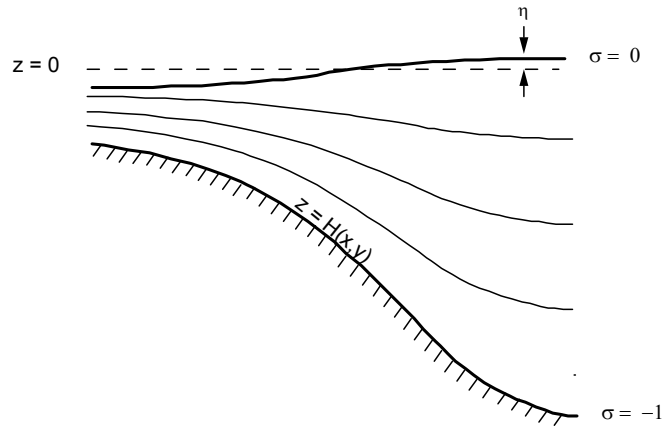


圖 2-1 σ 座標系統 (Mellor, 2003)

假設一變量是 ξ 是 x^* 、 y^* 、 σ 和 t^* 的函數 $\xi = \xi(x^*, y^*, \sigma, t^*)$ ，則 z 垂直方向之流速分量 W 可表示為 $W = dz/dt$ ，如下式：

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

將 $z = D\sigma + \eta$ 帶入上式，則 σ 垂直座標上之流速分量 ω 表示為，

$$\omega \equiv \frac{1}{D} \left\{ W - U \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] - V \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] - \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \right\} \dots\dots\dots (2-30)$$

則轉換至 x^* 、 y^* 、 σ 和 t^* 座標上之連續方程式：

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

動量守恆方程式：

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

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

$$+ \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + DF_v \quad (2-33)$$

溫度守恆方程式：

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

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：

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

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

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

2.2.4 水深積分方程式

在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，所以將上述的三維方程式利用水深積分技巧轉換成二維模式。如此可依波動變化速度的分別，將模式分成二

維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而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，

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = & +f\bar{V}D - \langle wu(0) \rangle + \langle wu(-1) \rangle \\ & + \tilde{F}_x + G_x \end{aligned} \quad (2-39)$$

$$- \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma} \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = & -f\bar{U}D - \langle wv(0) \rangle + \langle wv(-1) \rangle \\ & + \tilde{F}_y + G_y \end{aligned} \quad (2-40)$$

$$- \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma} \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\partial D}{\partial y} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma$$

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，

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

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

而 G_x 與 G_y 定義為，

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

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

2.2.5 邊界條件

連續方程式 (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 (32)、(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 ：摩擦參數， σ_{kb} 表示當垂直層 $k = kb$ 層時的值， kb 表示垂直層的最底層。

溫度和鹽度方程式 (2-34)、(2-35) 的邊界條件

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

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

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 為任意水深， g 為重力加速度， $\bar{U}$ 為垂直平均速度， η 為水位， 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。模式的計算上外部模式為計算速度較快的表面重力波，計算時間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。內部模式則為計算速度較慢的內部重力波，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運用可以大大減少電腦運算時間。在空

間網格的設定上，水平方向採用 Arakawa C-grid 系統，是一種交錯的網格分布，如圖 2-3、2-4 所示。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 等等，則位於網格中間。

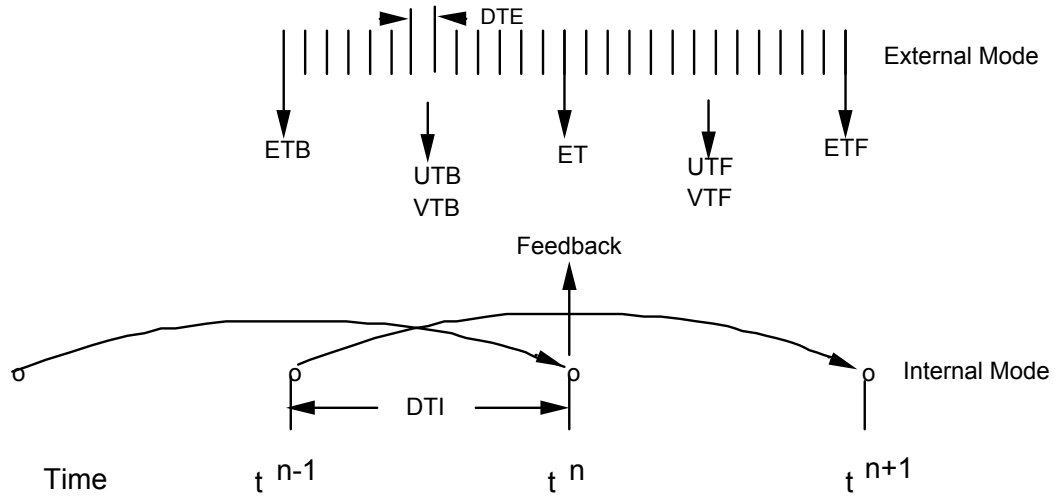


圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor, 2003)

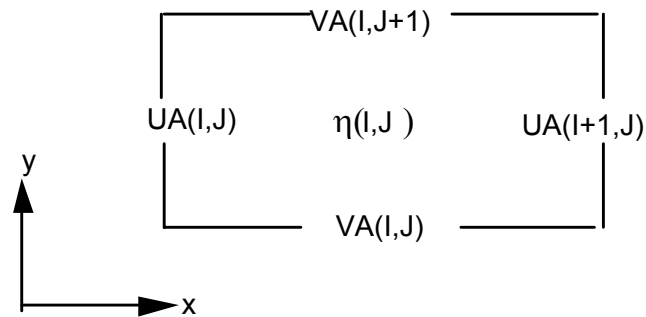


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

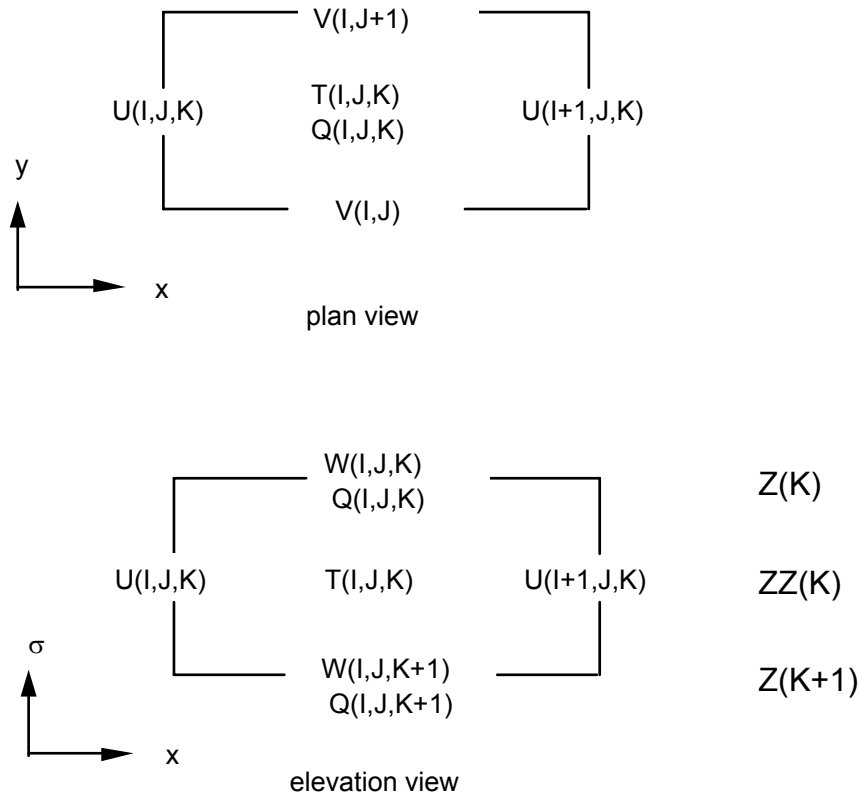


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003)

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

2.3.2 數值離散

關於數值離散方面，在三維模式中可將計算分為垂直與水平傳導與擴散兩步驟，在 POM 模式中將垂直方向分量以隱式 (implicit) 積分，而水平分量以顯式 (explicit) 積分。例如以溫度平衡方程式可離散成

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

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，

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

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。而模式的計算流程與相對應的副程式如圖 2-5 中所示。

2.3.3 穩定條件

在水深積分模式中即外部模式，以及傳輸方程式計算時所取時距限制是根據 Courant-Friedrichs-Levy (CFL) 計算穩定條件

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

其中

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

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：

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

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

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

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。

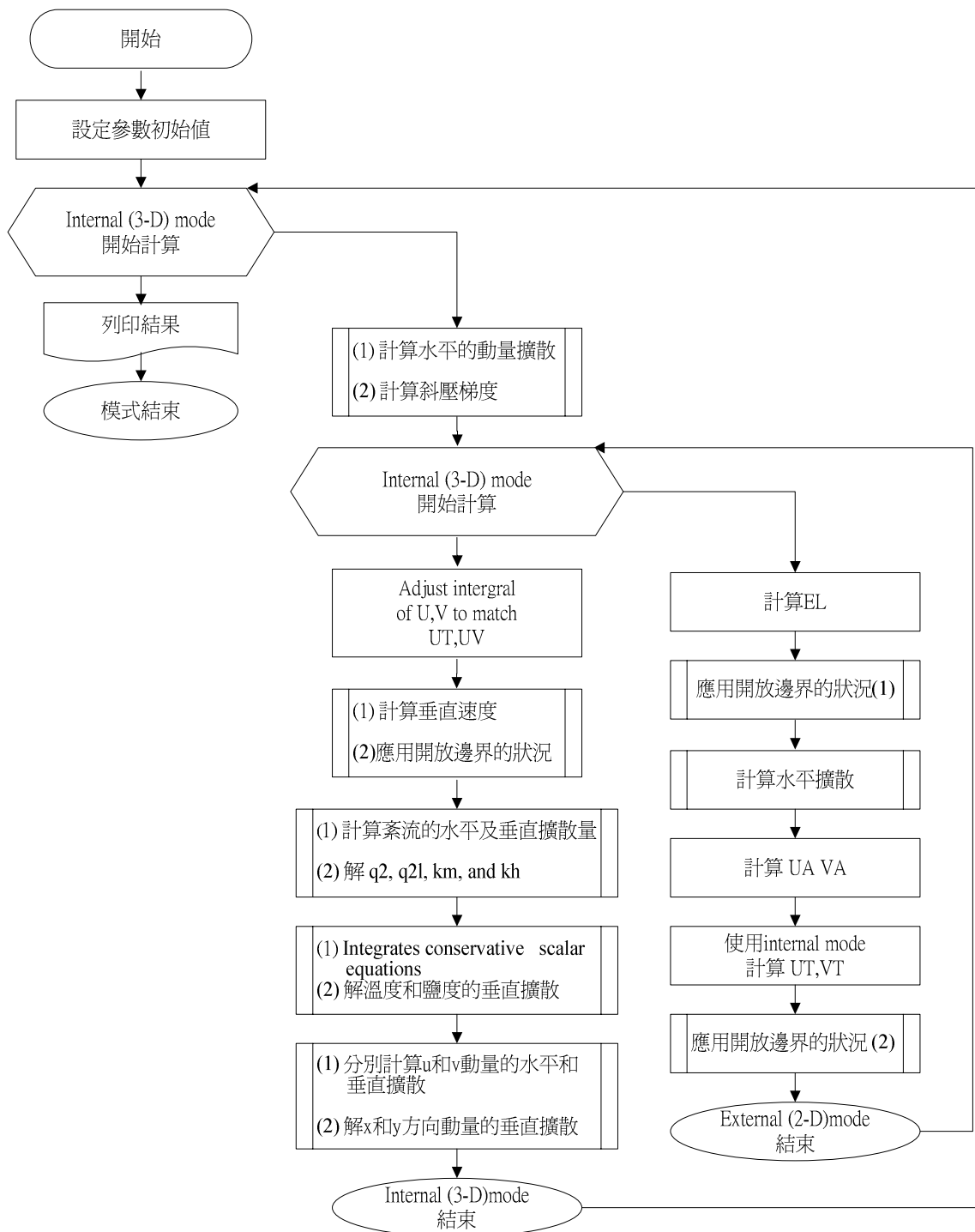


圖 2-5 模式計算流程圖

第三章 POM 模式執行環境建置

本計畫利用 POM 模式建立台灣海域三維海潮流模式，透過模式建立使其能應用於台灣海域海潮流特性的模擬，並發展前置與後置處理軟體與流程，簡化處理海潮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。為了有效落實計畫執行目的，本節將描述模式建置過程與所需要的軟硬體設備。

3.1 硬體設備建置

POM 模式為三維海洋模式，其需要較大量的計算能量與模式輸入出資料儲存空間，本計畫透過經費編置進行電腦購置。由於本電腦硬體為硬體經費購置，待計畫結束後也將一並移轉至港研中心，進行 POM 模式的執行所需。本次電腦購置項目如表 3-1 中所述，包含美國 Intel 公司 Core 2 Duo E6700 雙核心處理器，高效能主機板、2GB 隨機動態主記憶體、兩部 200GB SATA 硬碟與寬螢幕液晶顯示器，如此硬體配備足可勝任 POM 模式執行與資料分析展示。

表 3-1 模式執行硬體配置

處理器	Intel Core 2 Duo E6700 2.6GHz
主機板	高效能 Intel 處理器相容主機板
記憶體	DDR2 2GB
硬碟	200G SATA 硬碟×2
顯示卡	ATI 3D 顯示卡
顯示器	22 吋寬螢幕液晶顯示器

3.2 軟體環境建置

3.2.1 作業系統

POM 模式並未限制模式執行環境，考量未來擴充性與降低模式發展與執行時所遭遇的阻礙，本計畫以 Linux 系統作為主要的系統環境。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。

本計畫採用美國 Novell 公司所負責維護的 openSUSE Linux 套件，其使用 Linux Kernel 2.6 核心，具有執行速度最佳化、更廣泛的硬體支援、有效率的檔案系統與電源管理等特點，可有效發揮硬體效能，而系統安全與穩定性也可有效保護計畫成果。其官方網站為 http://en.opensuse.org/Welcome_to_openSUSE.org，使用者可自由下載安裝光碟，本計畫使用 10.2 64bit 版本進行作業系統安裝，為了讓使用與維護者了解系統安裝，使計畫結束後技術能轉移順利，以下則簡述系統安裝過程。

利用下載光碟開機之後，則進行以下步驟：

- (1) 圖 3-1 為起始歡迎畫面，可由<F2>按鍵選擇系統預設語言，並選擇 Installation 選項進行系統安裝。
- (2) 圖 3-2 為版權同意畫面。
- (3) 圖 3-3 為安裝模式，由於是第一次安裝，選擇全新安裝選項。
- (4) 圖 3-4 為時區選擇，選擇亞洲與台灣，並將硬體時鐘設定為本地時間。
- (5) 圖 3-5 為桌面環境選擇畫面，可由使用者喜好選擇不同的桌面環境，在此選擇 KDE 桌面系統。

- (6) 圖 3-6 為安裝設定，分別有磁碟切割設定、安裝軟體與地區設定，可根據硬碟空間選擇所需的軟體，重點是開發軟體需要安裝。
- (7) 圖 3-7 為安裝設定完成後，系統與套件安裝畫面，所需時間依照硬體配備與安裝軟體的多寡而定。
- (8) 圖 3-8 為安裝之後重新開機畫面，選擇剛安裝後的 openSUSE 10.2。
- (9) 圖 3-9 為設定系統管理員 (root) 密碼畫面，請妥善與安全紀錄密碼設定。
- (10) 圖 3-10 為主機與領域名稱設定畫面，依據主機放置之網路環境設定。
- (11) 圖 3-11 為網路組態設定畫面，可設定網路防火牆與主機 IP，請依據主機放置之網路環境設定。
- (12) 圖 3-12 為安裝更新畫面，openSUSE 可由網路更新其套件，維持系統安全與穩定性。
- (13) 圖 3-13 為使用者驗證方式畫面，在此選擇本地選項，表示使用者密碼保管於本機。
- (14) 圖 3-14 為本機使用者設定畫面，為了系統安全與穩定性請增加至少一位的一般使用者。
- (15) 圖 3-15 為硬體組態畫面，在一般情況下系統會自動選擇正確的選項。
- (16) 圖 3-16 為安裝完成後桌面，到此步驟則完成作業系統的設置。

由於市面或網路上關於 Linux 作業系統的書籍相當多，在此只是簡述安裝流程，使用者可自由隨環境與需要的不同進行設置。



圖 3-1 起始歡迎畫面



圖 3-2 版權同意畫面



圖 3-3 安裝模式選擇畫面

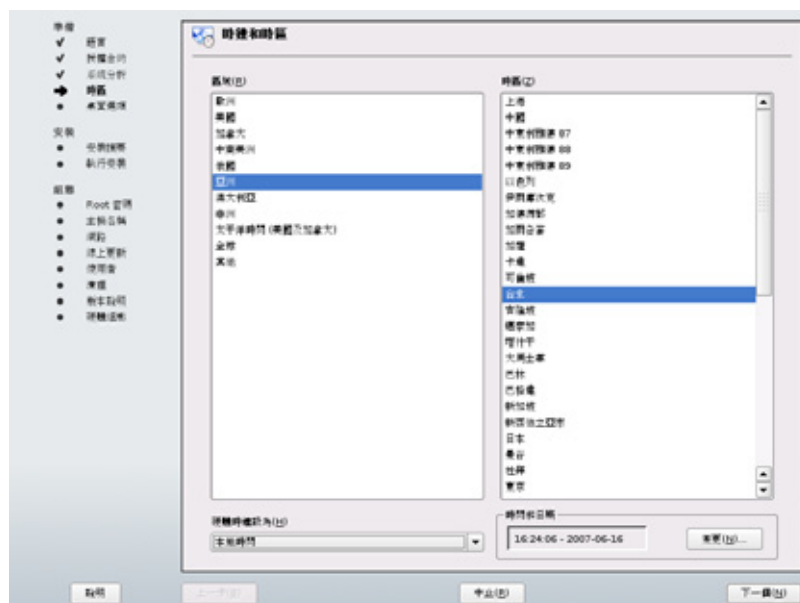


圖 3-4 時區選擇畫面



圖 3-5 桌面環境選擇畫面



圖 3-6 安裝設定畫面



圖 3-7 安裝過程畫面

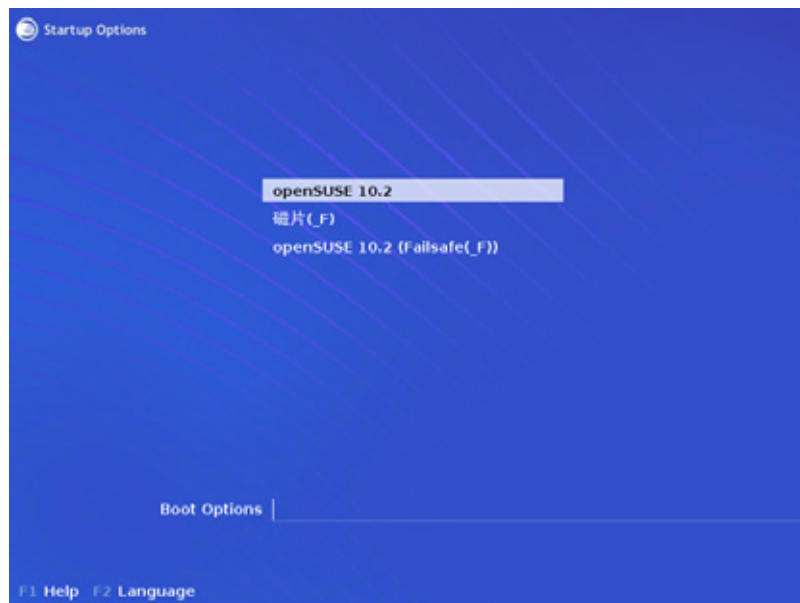


圖 3-8 安裝之後重新開機畫面

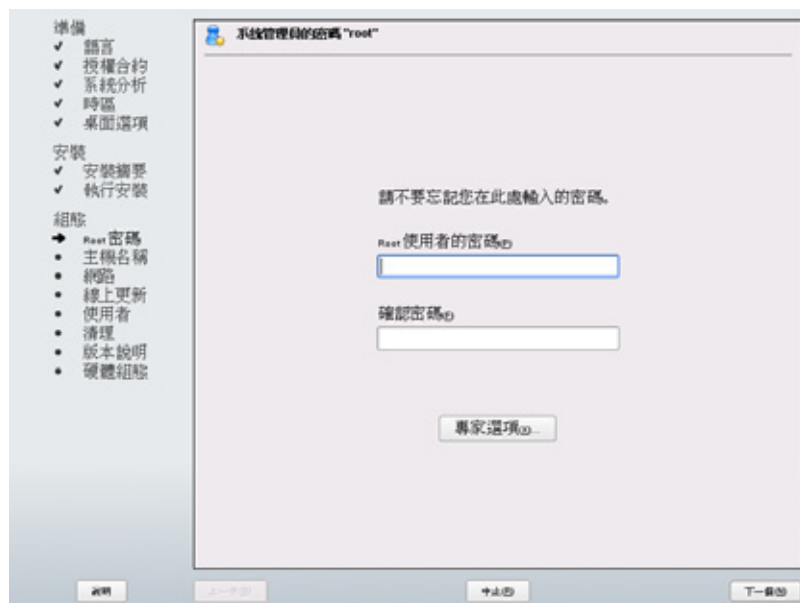


圖 3-9 設定系統管理員密碼畫面

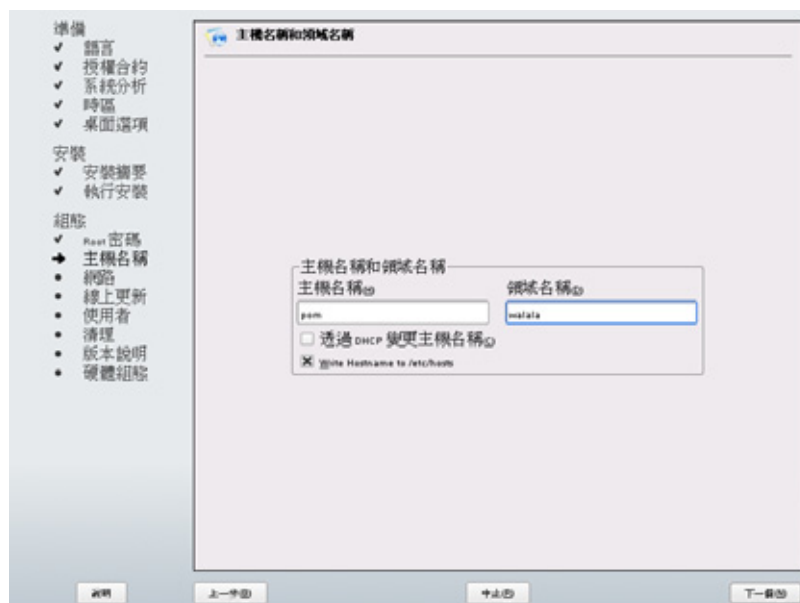


圖 3-10 主機與領域名稱設定畫面

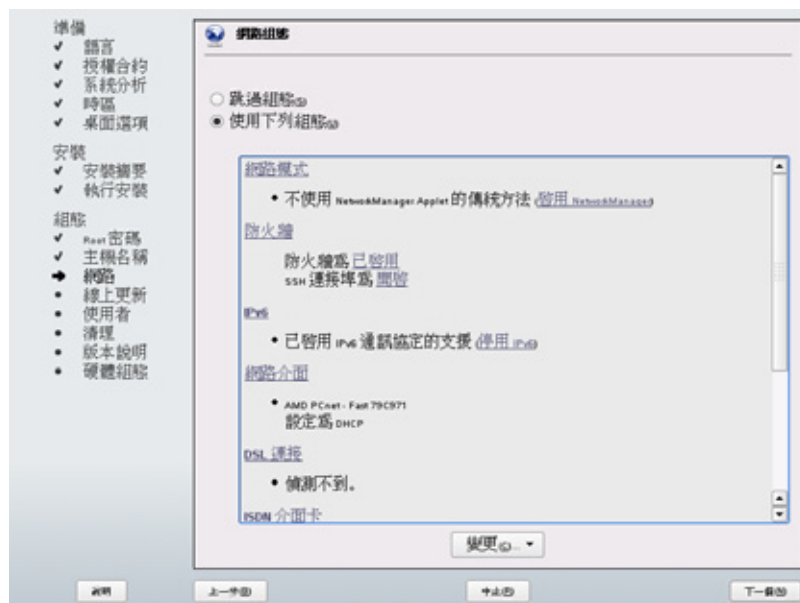


圖 3-11 網路組態設定畫面

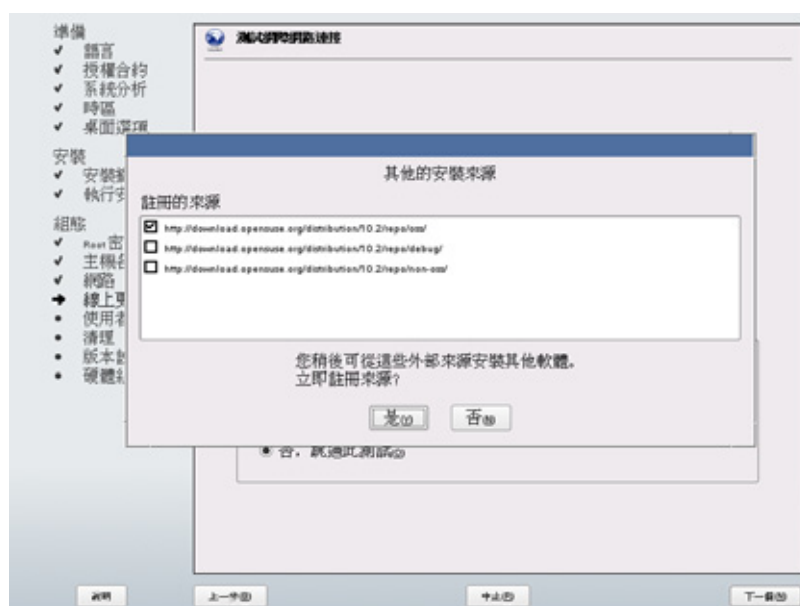


圖 3-12 安裝更新畫面



圖 3-13 使用者驗證方式畫面

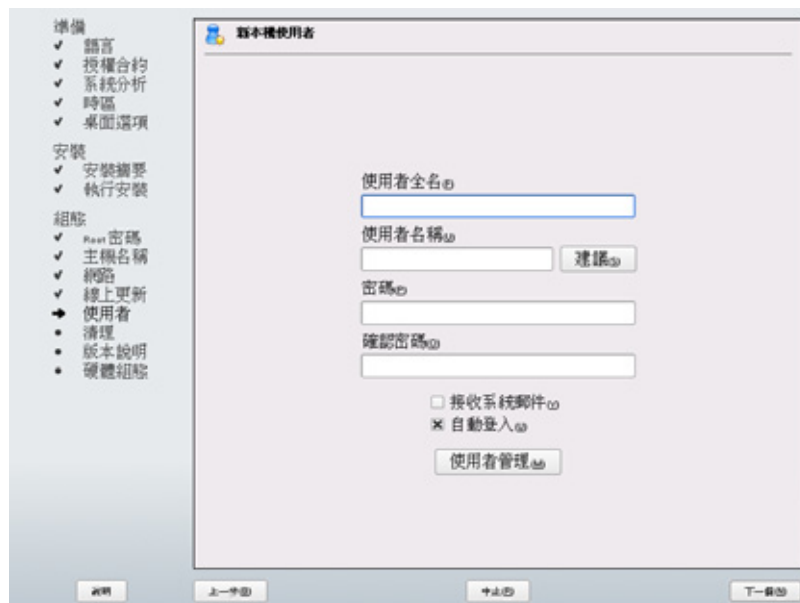


圖 3-14 本機使用者設定畫面

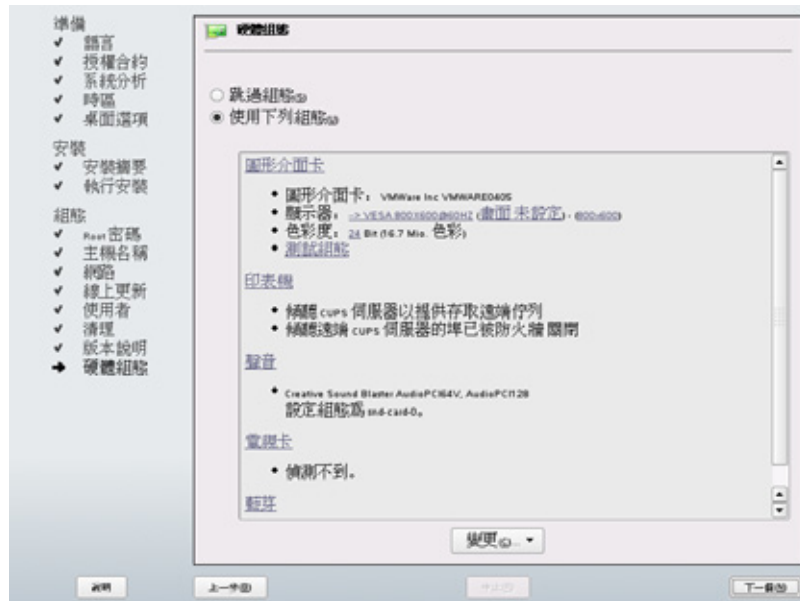


圖 3-15 為硬體組態畫面

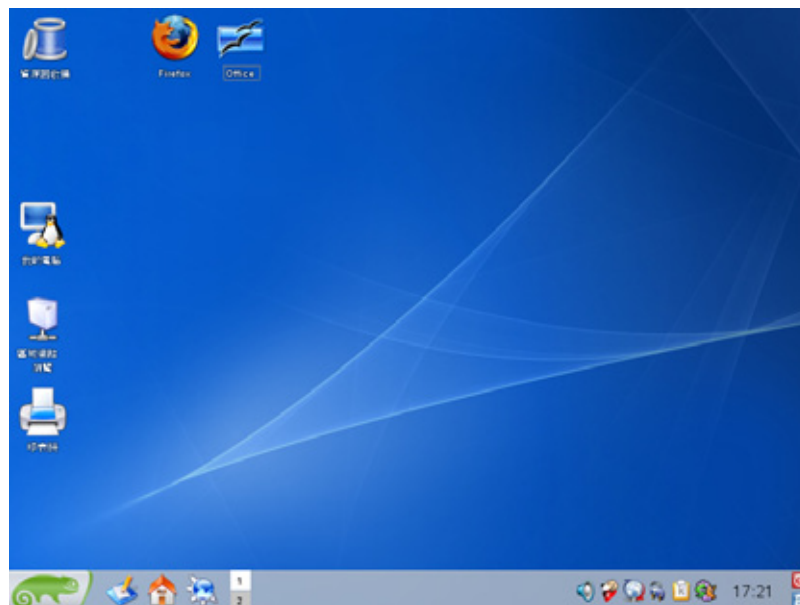


圖 3-16 安裝完成後桌面

3.2.2 開發與必備軟體

POM 模式為一源碼開放軟體，其利用標準 FORTRAN 77 程式語言開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。為了程式執行與開發，本計畫購置 Intel Fortran for Linux 來解決編譯程式的問題。而 Intel

Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點。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/9.1.036/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，9.1.036 為版本編號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。
- (6) 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。

除了編譯器的設定外，由於 POM2K 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，其用意是提供一種可以通用的資料存取方式，資料的形狀包括單點的觀測值、時間序列、規則排列的網格、以及人造衛星或雷達之影像檔案。其資料格式廣泛應用於大氣與海洋研究中，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，其官方網站為 <http://www.unidata.ucar>。

edu/software/netcdf/，使用者可自由下載，其最新版本為 3.6.2。在任何一個 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『gunzip netcdf-3.6.2.tar.gz』，『tar -xf netcdf-3.6.2.tar』，完成解壓縮程序。
- (3) 執行目錄下之組態設定，輸入『cd netcdf-3.6.2』，『./configure -prefix=/opt/netcdf』，其中安裝目錄/opt/netcdf使用者可自行指定。
- (4) 編譯程式，輸入『make check』，並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。

3.3 資料蒐集

3.3.1 海表面風場資料

在風場資料方面，本計畫中蒐集美國 UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) 資料庫中 QSCAT/NCEP 混合風場資料，其資料混合了 QuickSCAT 衛星風場資料與 NCEP 氣象中心模式的分析場，其資料時間範圍為 1999 年 07 月至 2006 年 06 月，時間解析度為 6 小時，空間解析度為 0.5 度，資料範圍涵蓋全球，其資料網址為 <http://dss.ucar.edu/datasets/ds744.4/>。表 3-2 為 QSCAT/NCEP 混合風場資料格式說明。

本計畫亦蒐集了 NCEP/NCAR 分析風場資料，其資料為模式運算

後資料同化之輸出結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為 6 小時，空間解析度約為 2.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。表 3-3 為 NCEP/NCAR 分析風場資料格式說明。

表 3-2 QSCAT/NCEP 混合風場資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1999/07~2006/06
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)	格網化資料(grid)
資料範圍	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，0.5E~360.0E，88.0S~88.0N
資料來源(source)	NWRA/CORA

表 3-3 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
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)	192×94 格網化資料(Gaussian grid)
資料範圍	0.0E~358.12E，88.542S~88.542N
資料來源(source)	NCEP/NCAR

3.3.2 海平面大氣壓力資料

關於海平面大氣壓力資料，本計畫蒐集了 NCEP/NCAR 分析場資料，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輸出結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為 6 小時，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/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。表 3-4 為 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式說明。

表 3-4 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
變數(variable)	海平面大氣壓力(sea level pressure)
高度(level)	近海面(0.995 sigma level)
資料型式(type)	144×73 格網化資料(grid)
資料範圍	0.0E~357.5E，90.0S~90.0N
資料來源(source)	NCEP/NCAR

3.3.3 海面溫度

關於海面溫度資料，本計畫蒐集了 NOAA 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 1990 年至今，時間解析度為 7 天，空間解析度為 1.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html>。表 3-5 為 NOAA OI 海面溫度資料格式說明。

表 3-5 NOAA OI 海面溫度資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1990~迄今
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面
資料型式(type)	180×360 格網化資料(grid)
資料範圍	0.5E~359.5E，89.5S~89.5N
資料來源(source)	NOAA

3.3.4 海洋鹽度與溫度

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

33 層，分別是 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。表 3-6 為 WOA05 海洋資料庫格式說明。

表 3-6 WOA05 海洋資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	2005
變數(variable)	溫度 (temperature)、鹽度 (salinity)
高度(level)	33 層
資料型式(type)	格網化資料(grid)
資料範圍	0.0E~359.0E，89.5S~89.5N
資料來源(source)	NODC

3.3.5 潮位資料

潮位資料的來源是利用 NAO99b 潮位模式，其為日本國家天文觀測局 (National Astronomical Observatory) 所建立，利用 TOPEX/POSEIDON 衛星測高資料進行模式同化處理，並配合 Schwiderski (1980) 所推導出的潮汐運動力學方程，發展出可計算全球各主要分潮特性分布的資料庫。其資料庫中有兩種解析度，一為日本近海的區域模式，其解析度為 1/12 度；二為全球模式，其解析度為 0.5 度。其網址為 http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/README_NAOTIDE_En.html，使用者可以自由下載。

3.4 POM 模式建置

POM 模式為一源碼開放軟體，可由官方網站上依其需要自由下載與修正，其網址為 <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>，本計畫所使用的是 POM2K 版本，發表日期為

2006 年 5 月 3 日。由於程式中並未提供完整的資料輸入選項，使用者必須自行建立輸入資料的介面，並依計算方案的不同提供相對應的輸入資料等。為了方便模式發展與執行，本計畫首先進行輸入介面的發展，提供使用者更為快速的資料輸入方式。並依計畫目的台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置，增加 POM 模式中對於資料的處理與計算。圖 3-22 為 POM 模式資料處理流程圖，資料經由前置處理程式將海面邊界與側向潮位邊界資料透過內插法內插至 POM 模式格網上，透過 POM 模式進行模擬，之後輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，再經由後置處理程式分析各種變量之變化趨勢並繪製圖表。

3.5 POM 模式操作說明

關於 POM 模式的操作與相關檔案的說明，在附錄「港灣技術中心研究中心 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原始程式、可執行程式、輸出入資料與命令腳本檔等四大類檔案。在原始程式方面，是以 Fortran 程式開發，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。

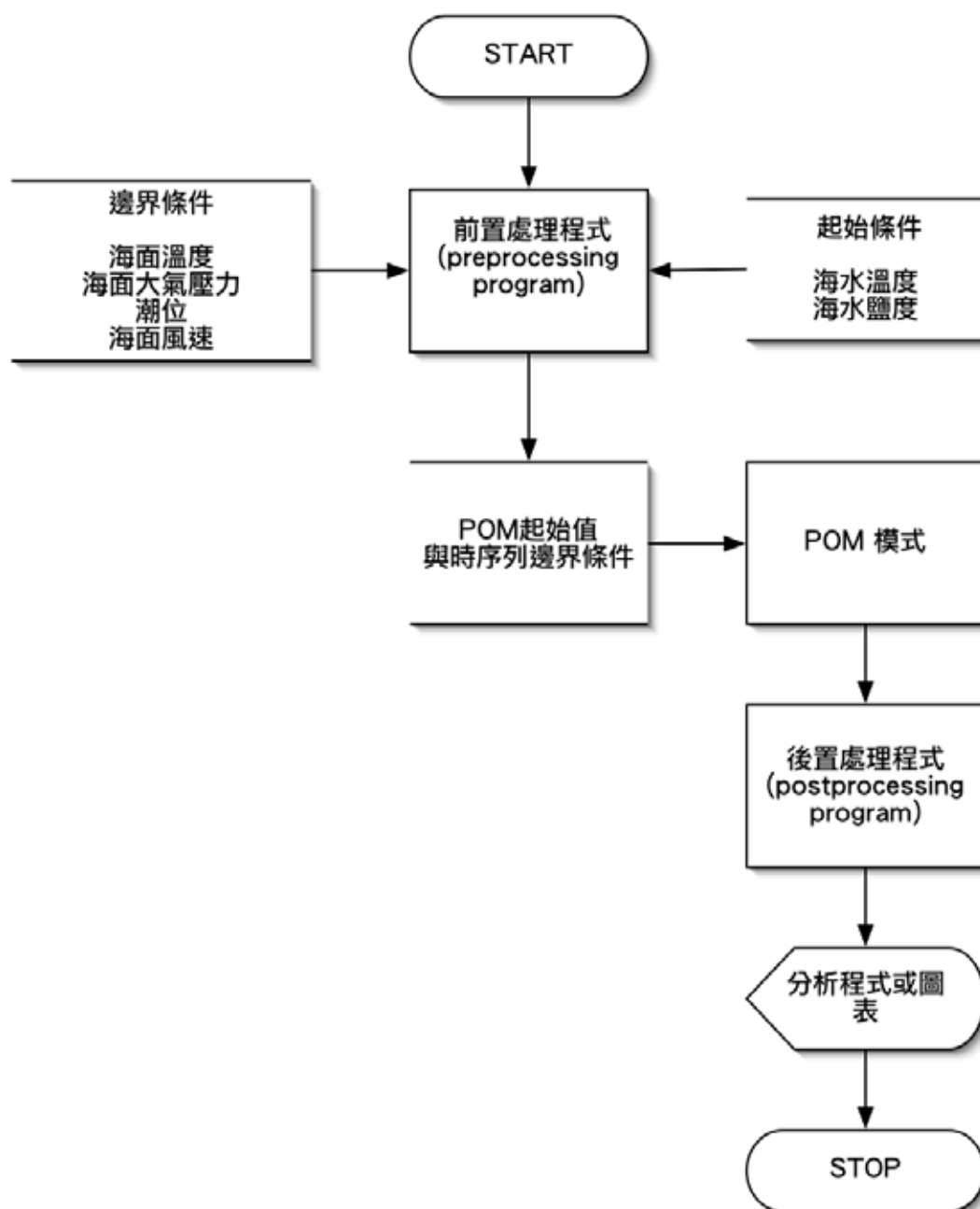


圖 3-17 POM 模式建置與資料處理流程

第四章 模式測試與驗證

本計畫已完成 POM 模式的測試與驗證，其中包含理想條件下的風力推升水位與淡鹽水混合測試。實例計算中，則包含北太平洋洋流模擬與台灣附近海域洋流與潮流變化模擬。以下則說明模式驗證與測試過程與結果。

4.1 模式驗證

4.1.1 風剪力推升水位

由於海面風與海面的摩擦下，在模式中會以海面風剪應力的形式造成海面變動，此種現象在渠道或大陸棚上特別明顯。例如在台灣西海岸海岸坡度平緩，由風所引致的水位變化是不可忽略的。故本測試以理想狀態下，以 POM 模式測試均勻向岸風場在海岸上所造成的水位推升高，並將其結果與理論分析結果相比較。在 POM 模式設定方面，計算範圍為長 50 公里、寬 25 公里，格網間距為 500 公尺，垂直方向為 31 層，格網數目共為 $101 \times 51 \times 31$ 。西側邊界水深為 20 公尺，東側為海岸線，底床坡度為 20/50000，風場為每秒 32 公尺均勻向岸風。圖 4-1 為計算條件設定示意圖。

若只考慮底床與表面剪應力，則斜坡底床上風引致之水位高可寫成下式(Dean 和 Dalrymple, 1991)，

$$\frac{x}{l} = \left(1 - \frac{h + \eta}{h_o}\right) - A \ln \left(\frac{\frac{h + \eta}{h_o} - A}{1 - A} \right) \dots\dots\dots (4-1)$$

式中 $A = n\tau_{wx}l / \rho gh_o^2$ ， τ_{wx} 為海表面風剪應力， $n = 1 - \tau_{bx} / \tau_{wx}$ 的範圍為 1.15 至 1.30 (Shore Protection Manual, 1977)，在此採用 1.22。 l 為吹風距離，在此為計算領域長度。 h_o 為外海水深。圖 4-2 為水位推升高比較圖，圖

中圓點為 POM 模式計算值，實線為理論計算值，由圖中比較可知，POM 模式測試結果符合理論計算值，表示模式設定與計算具有準確性。

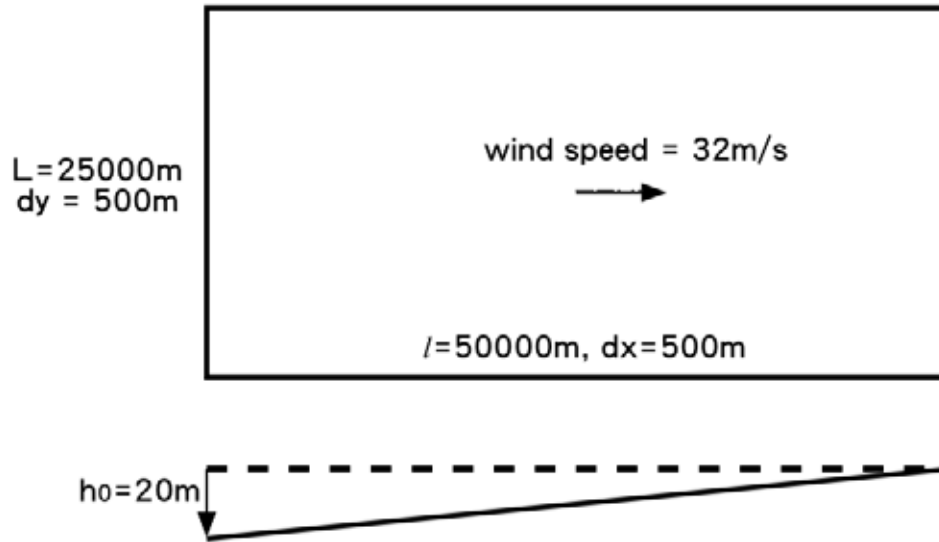


圖 4-1 風引致水位測試設定示意圖

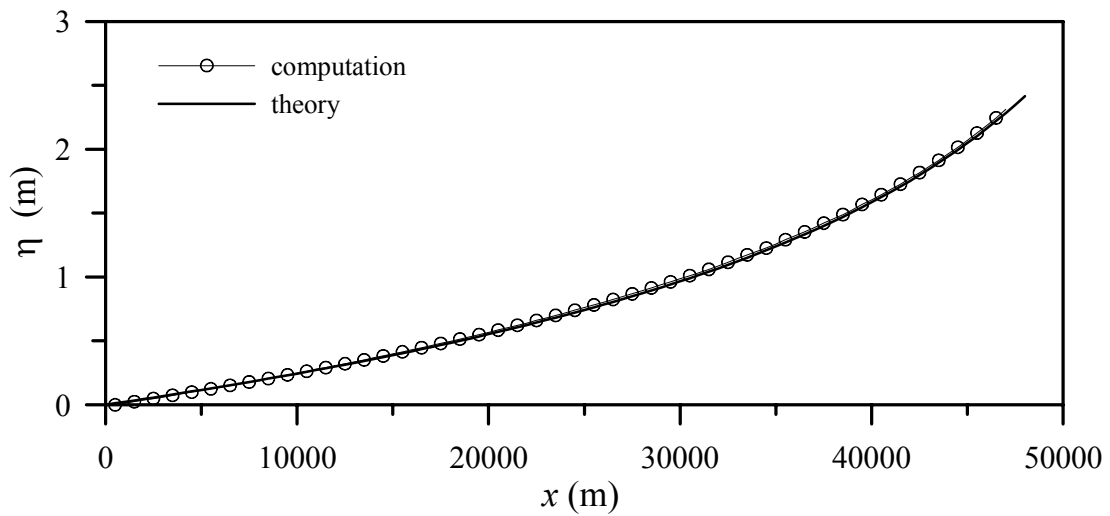


圖 4-2 水位推升高比較圖

4.1.2 淡鹽水混合

為了測試模式是否可模擬淡鹽水混合情況，並測試模式的設定與修改無誤，利用單一渠道中給定不同起始鹽度進行混合。由於鹽度會

影響水體密度進而造成水體交換的現象，此種測試稱為鎖定交換 (lock exchange) 的測試。模式設定渠道長 50 公里、寬 25 公里，格網間距為 500 公尺，垂直方向為 51 層，格網數目共為 $101 \times 51 \times 51$ ，水深為 20 公尺，四周為封閉邊界。如圖 4-3 中所示，渠道右側設定鹽度為 35 psu 其與海水鹽度相近，右側設定為 0.5 psu 其與淡水鹽度相近。圖中為第 0 小時沿著 $y=12500$ 公尺處之橫切面鹽度分布圖，其可表示為模式起始值。圖 4-4 為第 2 小時之鹽度分布圖，由圖中可看出底層鹽水向淡水側入侵，而表層的淡水向鹽水側移動，形成淡鹽水交換現象。圖 4-5 則為第 12 小時的鹽度分布圖，由圖中看到鹽水已經移動至 $x=42000$ 處，移動速度約為 0.4 公尺每秒。而圖 4-6 為第 72 小時鹽度分布圖，可見鹽度分布漸趨穩定，而形成成層狀態。由本測試中，可驗證本計畫所設定與修改的 POM 模式在模擬淡鹽水交換情況具有合理性。

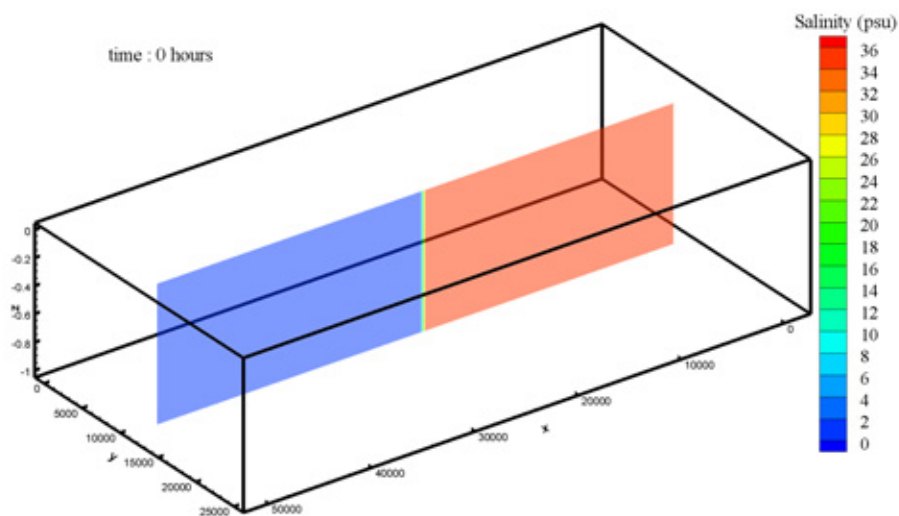


圖 4-3 鹽度分佈切面圖(第 0 小時)

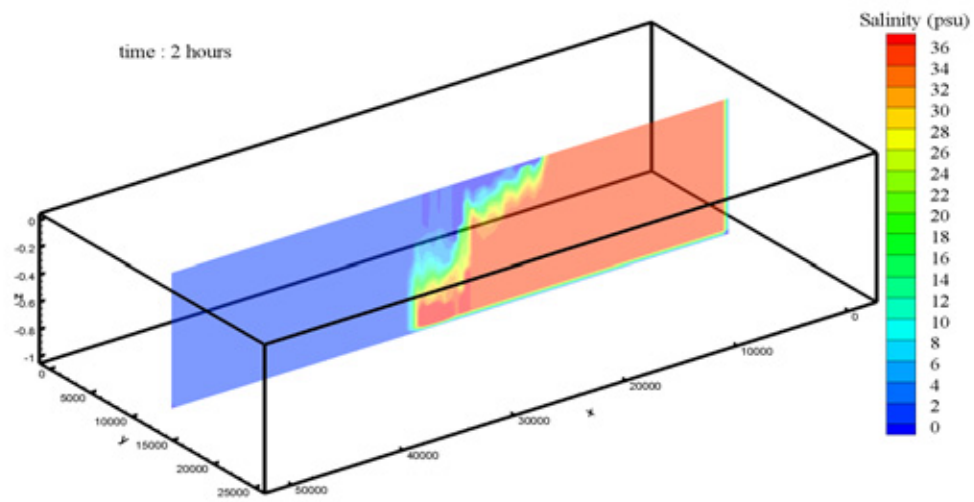


圖 4-4 鹽度分佈切面圖(第 2 小時)

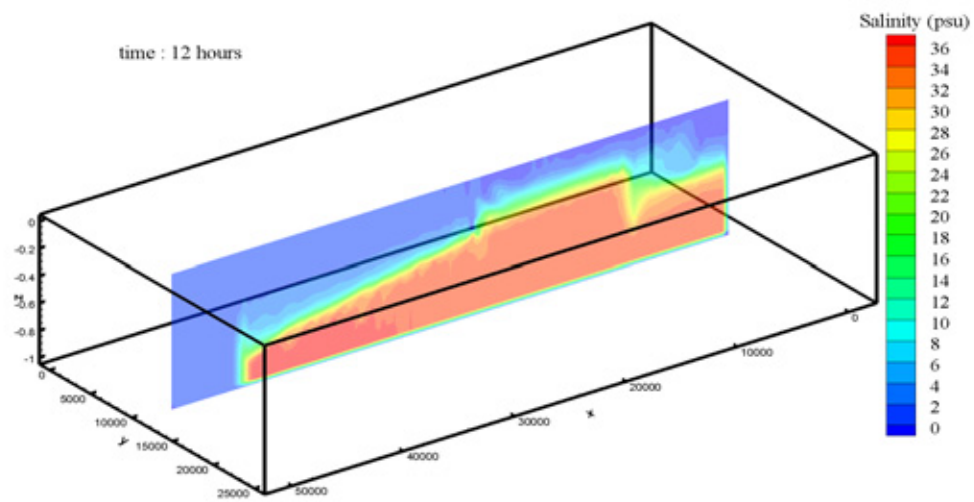


圖 4-5 鹽度分佈切面圖(第 12 小時)

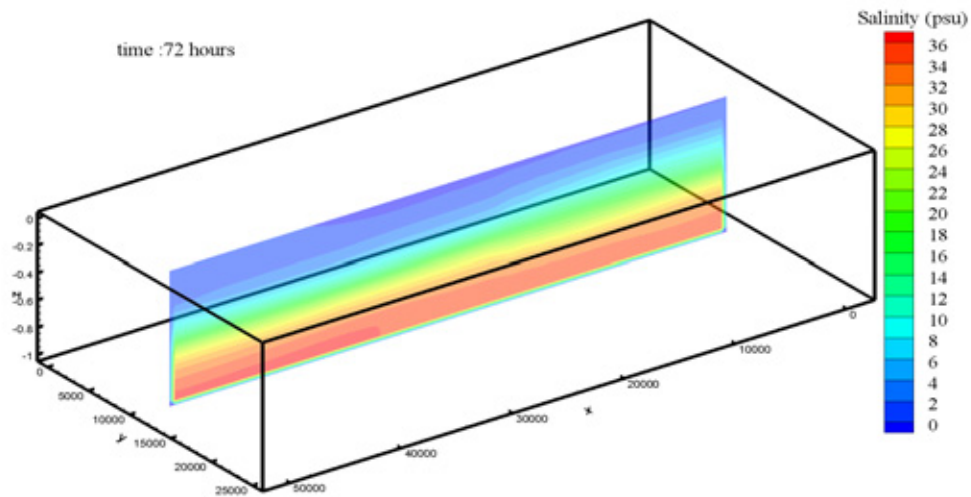


圖 4-6 鹽度分佈切面圖(第 72 小時)

4.2 實例應用

4.2.1 台灣附近海域海流模擬

台灣為一海島，東臨太平洋，西隔台灣海峽與大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，海岸線全長約 1,200 公里 (含澎湖群島總長約 1,520 公里)。島上山嶽高聳，東部海岸因海岸山脈面海矗立，岸邊多懸崖峭壁，海底坡降陡峻，距岸不遠處即為深海。西部海岸則山脈離海較遠，加以早年各主要河川均西向流入台灣海峽，順流而下之大量泥沙堆積於近海地區，遂助長海灘向外伸展，沿海平原坡度平緩，海灘承其餘勢坡度亦緩。受地形影響，台灣之海流與潮汐在南北部與東西部均有不同之變化。海流與潮汐為影響台灣沿海環境之重要自然因素。海流主要影響氣候及漁場分佈；潮汐影響河川與港灣的自淨能力以及沿海汙染物質的擴散。資就台灣附近之海流與潮汐狀況分別描述如下：

在台灣海峽的海流情形因受季風之影響，一般可分為兩種形態：春末至秋初，由於西南季風盛行，位於台灣南方之南海海流與黑潮支流等兩股暖流流經台灣海峽 (如圖 4-7a 所示)；在冬季時，因東北季風盛行，由東北風吹起的冷流 (中國沿岸流) 流入台灣海峽北部，而南部

海峽的海水主要來自黑潮支流，這兩種水溫不同的水團相遇於澎湖群島附近，然後一起流入中國南海 (如圖 4-7b 所示)。海流影響台灣氣候及漁貨量之分佈，對台灣之影響重大。台灣附近的海流有四個：

黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名台灣海流，向北流至台灣南端附近時，分成兩股。主流沿台灣東北而上，在蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後彎曲朝東北向流去，流速達 1m/sec，有時高達 2m/sec。一般而言，夏季流速較快。黑潮主流之寬度約為 110~150 公里。主流中軸線距台灣約 50~150 公里，最大流速範圍為 60~100cm/sec，但隨區域與季節而有所不同，最強之流速出現在接近台灣海岸處，流速向東緩慢降低。在主流右側常有一反向向南之海流或渦流存在。黑潮主流由海面向下可延伸至 600 公尺深，在此深度之流速仍達 10~20cm/sec，在台灣東部近岸流速超過 30cm/sec 之黑潮潮流亦可延展至 200 公尺深。黑潮為來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30℃，冬季水溫不低於 20℃。黑潮流經台灣附近，由於受到海底地形的影響，在台灣東南沿海及東北外海海域引起湧昇流現象。湧昇流會把二、三百公尺深的中層海水帶到表層來，中層海水含較豐富的營養鹽，這些高養分的海水使浮游生物繁殖旺盛，引來魚群，因而形成良好的漁場，為台灣近海漁業帶來大洋暖水性魚種，例如鮪魚、鰹魚、旗魚、鬼頭刀等等。台灣北部的彭佳嶼就是湧昇流區，是台灣重要的魚場之一，南方澳一帶的漁船經常在此海域作業。對台灣漁業發展有重大之影響。

黑潮支流，黑潮支流沿台灣西岸而上，夏季時因有西南風吹送，可一直流經整個台灣海峽；冬季時海峽北部海面因東北季風盛行，黑潮支流流經澎湖群島附近時，與北方來的親潮（中國沿岸流）會合後，折向西流入南海。

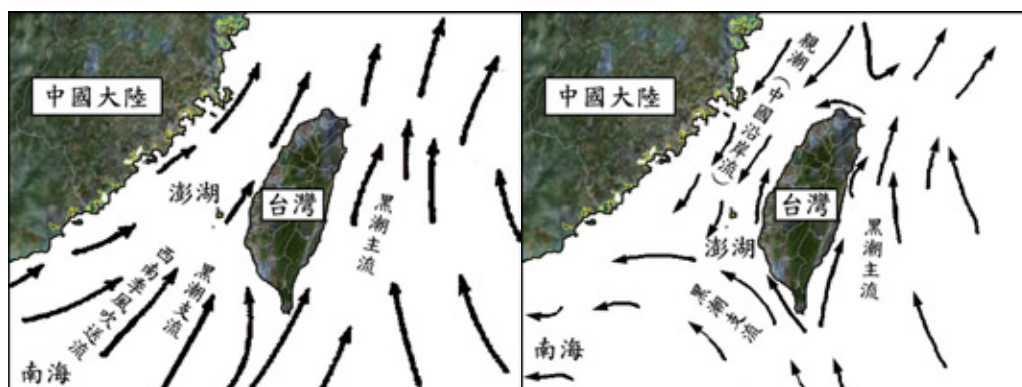
中國沿岸流（親潮），起源於渤海與黃海北部之冷流，沿大陸海岸南下。冬季因東北季風之吹拂，流入台灣海峽後與黑潮支流相會於澎湖群島附近，會合後流入南海。魚類隨這道海流南下集中於澎湖群島西側，同時澎湖在冷暖海流的交匯下，產生了大量的浮游生物，因此也使得大量的魚類得以在此生存，使澎湖群島成為台灣西部海域重要

之漁場；夏季時因西南季風影響，使黑潮支流強勁，無法流向台灣海峽。南海海流，冬季時，此一海流無法流入台灣海峽；夏季由於西南季風之吹送北上與黑潮支流一起流入台灣海峽，因此又稱為西南季風吹送流。

本節則利用 POM 模式透過兩層格網來推算台灣附近海流變化，測試 POM 模式之適用性，第一層格網考慮北太平洋模式，第二層則利用台灣附近海域進行巢狀計算。第一層格網範圍為東經 100 度至西經 170 度，其中橫跨換日線，南北範圍為南緯 19 度至北緯 66 度，格網間距為 0.5 度，其範圍包括北太平洋。第二層格網範圍為東經 116 度至東經 126 度，南北範圍為北緯 19 度至 29 度，格網間距為 0.05 度。計算格網與地形水深如圖 4-8 與 4-9 中所示，圖 4-8 為北太平洋計算範圍，而圖 4-9 為台灣附近海域計算範圍，圖中地形水深來源為 ETOPO2 地形水深資料庫。

在邊界條件方面，海面溫度採 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature 的逐月平均資料庫，其資料範圍為 1854 年 1 月至今，海面風場與氣壓資料為 NCEP/NCAR Reanalysis 的逐月大氣資料庫，其資料範圍為 1948 年至今。模式鹽度與溫度起始資料以 WOA 的海洋資料庫。關於模式設定，在北太平洋模式中，起始時間為 1968 年 1 月 1 日 0 時，計算積分時距為 30 秒，計算時間為 30 年。而台灣附近海域模式中，起始時間為 1990 年 1 月 1 日 0 時，計算積分時距為 5 秒，計算時間為 5 年，計算時距則為 5 秒。

圖 4-10 為北太平洋模式輸出結果，圖中分別為 1995 年 3、6、9 與 12 月份平均海面流速，由圖中可見黑潮起源之北太平洋赤道流在夏季達到流速高鋒的現象，而其向北分支則是黑潮，亦在夏季達到流速最大。圖 4-11 則為台灣海域模式輸出結果，圖中分別為 1995 年 3、6、9 與 12 月份平均海面流速，其流速與流向與圖 30 之趨勢相近。由模擬結果中可知，本計畫利用 POM 模式透過第一層北太平洋模式，與第二層台灣海域模式進行巢狀計算，可重現台灣附近海域海流現象，表示本計畫所建置的 POM 模式具有可靠性。



(a) 夏季海流流況

(b) 冬季海流流況

圖 4-7 台灣海域附近海流流況

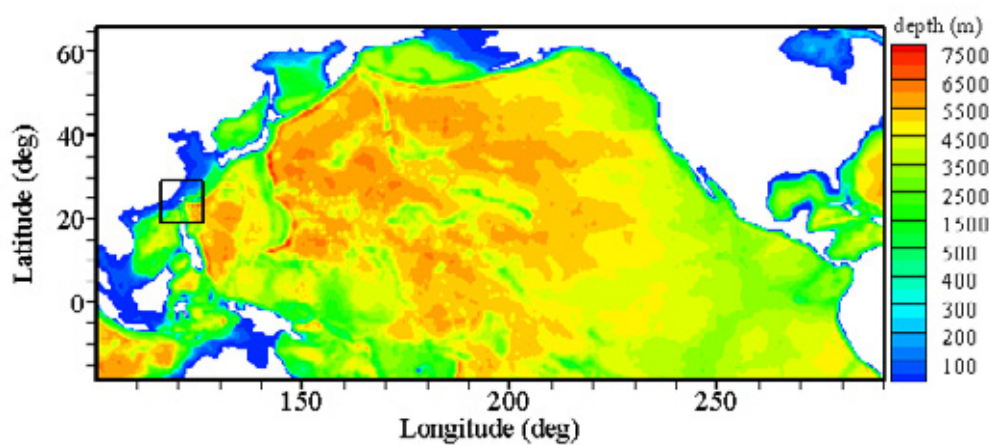


圖 4-8 北太平洋模式格網與地形水深圖

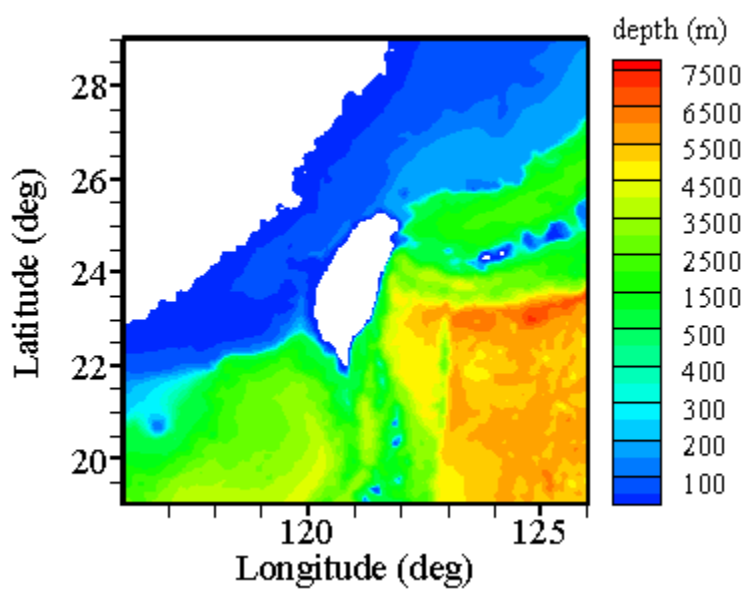


圖 4-9 台灣海域模式格網與地形水深圖

4.2.2 台灣附近海域潮流模擬

在台灣附近海域潮流模擬方面，本計畫中以上節所建立的台灣海域格網進行模擬，在 POM 模式邊界條件方面，天文潮位邊界的設定採用 Matsumoto 等人 (2000) 所提出的 NAO99b 模式，以 NAO99b 的輸出結果做為驅動 POM 模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件，而 NAO99b 所採用的分潮分別為短週期的 16 個分潮加上長週期的 7 個分潮。據此利用邊界上的潮位資料配合上述格網，模擬出約 0.5 度格網解析度的潮位變化。

圖 4-12 至與圖 4-15 分別台灣西南部永安與台灣東部石梯、大武與綠島之 POM 模式模擬結果與潮位測站之水位比較圖，圖中黑色實線為 POM 模式之模擬結果，黑色圓點為潮位測站量測結果。其模擬時間為民國 95 年 (2006 年) 5 月份，在此次計算中有 5 月 16 日至 5 月 18 日之珍珠 (Chanchu) 颱風經過台灣附近海域，由於潮位資料無法蒐集完全，僅以水利署所屬之潮位站進行比較。由圖中比較結果可知，不論在台灣西部或東部海域，水位的驗證皆具有合理性，不論是相位與振幅皆可準確預測，表示以 POM 模式來模擬台灣附近海域的天文潮汐具有可行性。

為了更進一步瞭解 POM 模式的計算結果，圖 4-16 則為 2004 年 2 月台灣海域潮流模擬結果，由二維的水位分布圖中可看出，此時台灣海峽正值退潮段，澎湖水道流速可達每秒 0.8 公尺以上。而高雄港附近海域中北邊流速向南與澎湖水道潮流方向一致，南邊卻有流速向北趨勢。圖 4-17 為接近低潮段，而高雄港海域流速向北，南端流速最大可達每秒 0.4 公尺。圖 4-18 為漲潮段，潮流由台灣兩端流入台灣海峽，此時高雄港附近海域流速向北，流速約為每秒 0.2 公尺。由圖中可知，高雄港附近海域流向變化與台灣南部海域漲退潮流向並不一致，較無規則性。由更多時間的資料分析中可知，高雄屏東一帶海域存在一小規模環流，潮流在此海域產生分支，漲潮時向北分支進入台南與澎湖之間，向南分支則向南流經高雄外海，但環流規模大小並不規則，其有待格網更精細的模式進一步分析。由台灣海域潮流模擬結果可知，

本計畫所建置的 POM 模式可適當的重現台灣附近潮流現象。

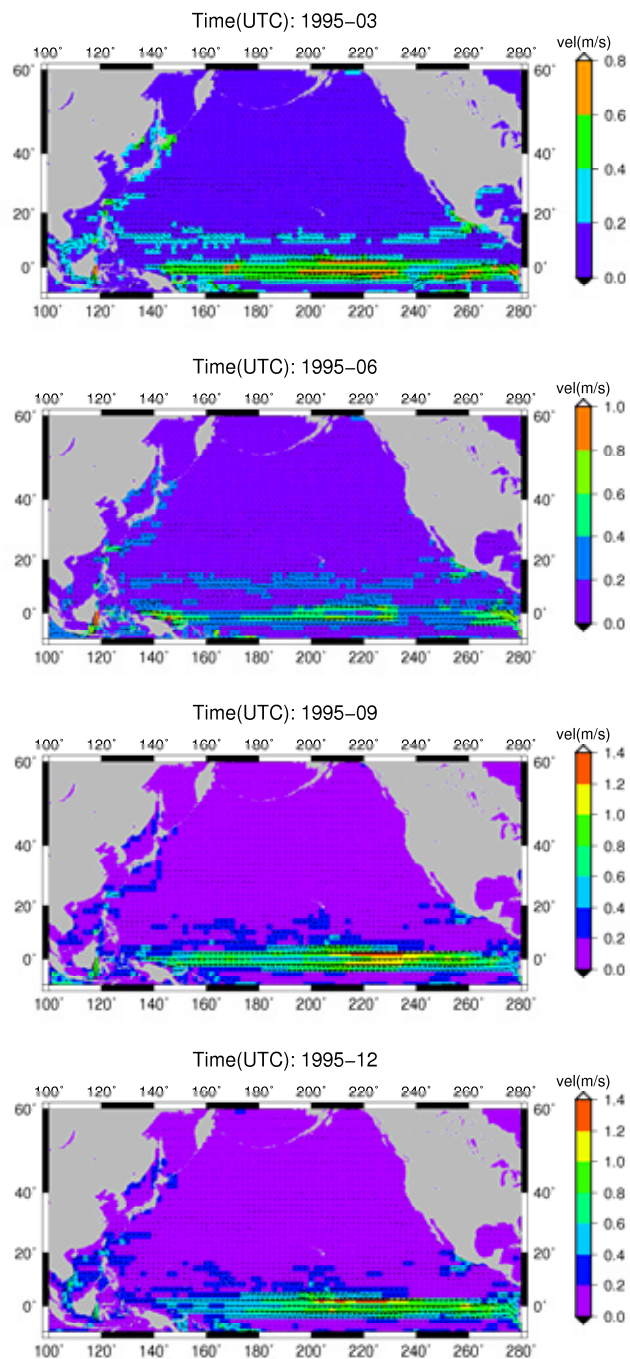


圖 4-10 北太平洋海面海流流速分布圖

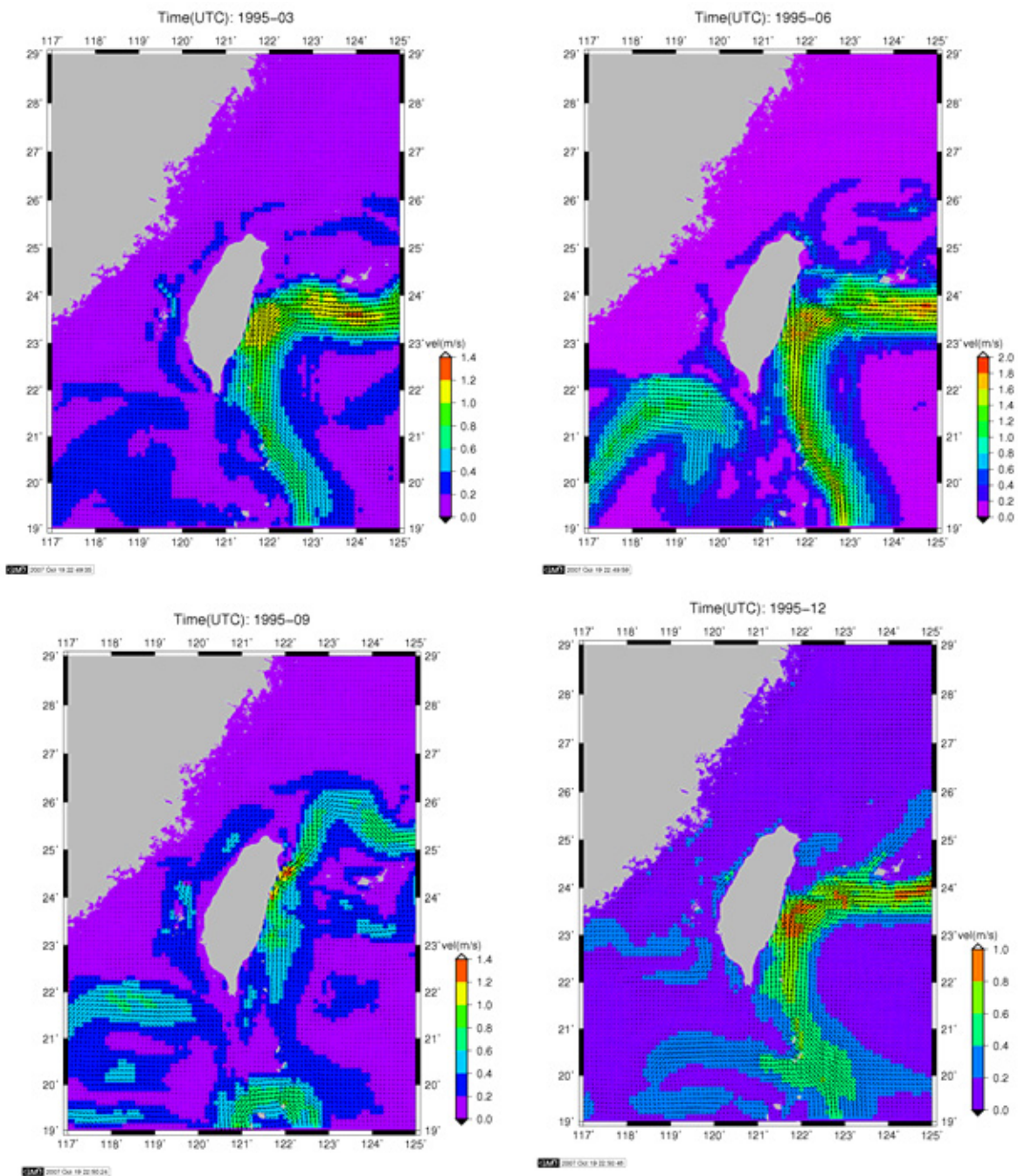


圖 4-11 台灣海域海面海流流速分布圖

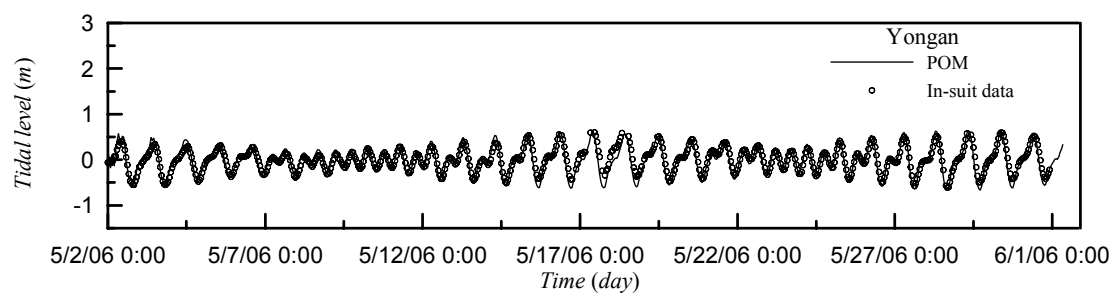


圖 4-12 永安海域時序列潮位比較圖

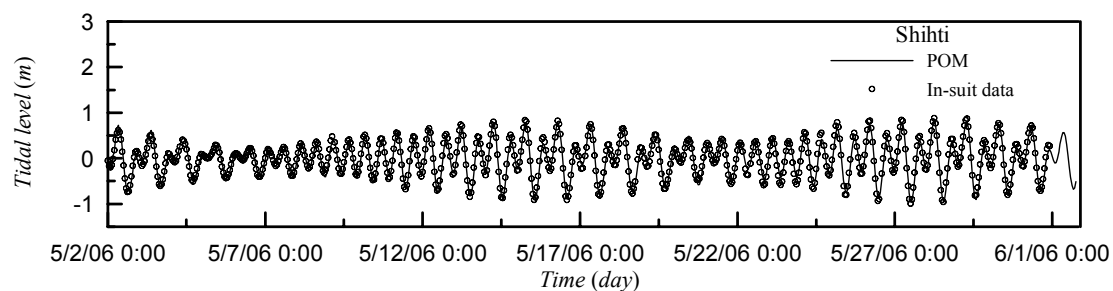


圖 4-13 石梯海域時序列潮位比較圖

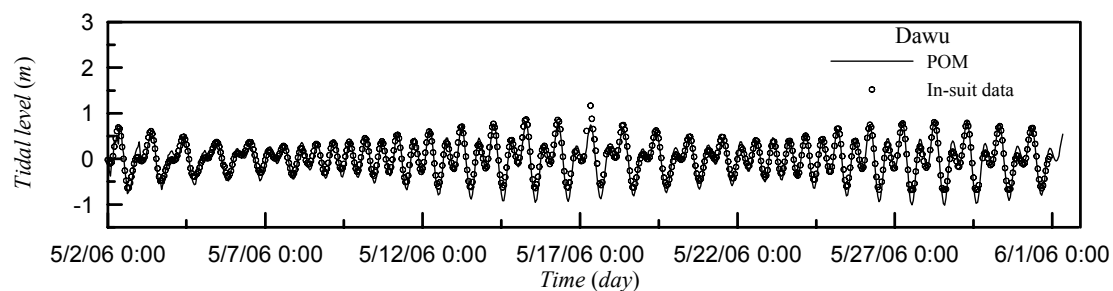


圖 4-14 大武海域時序列潮位比較圖

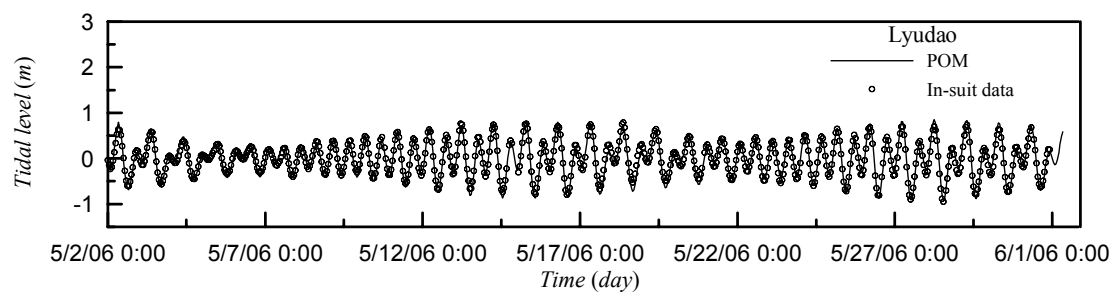


圖 4-15 綠島海域時序列潮位比較圖

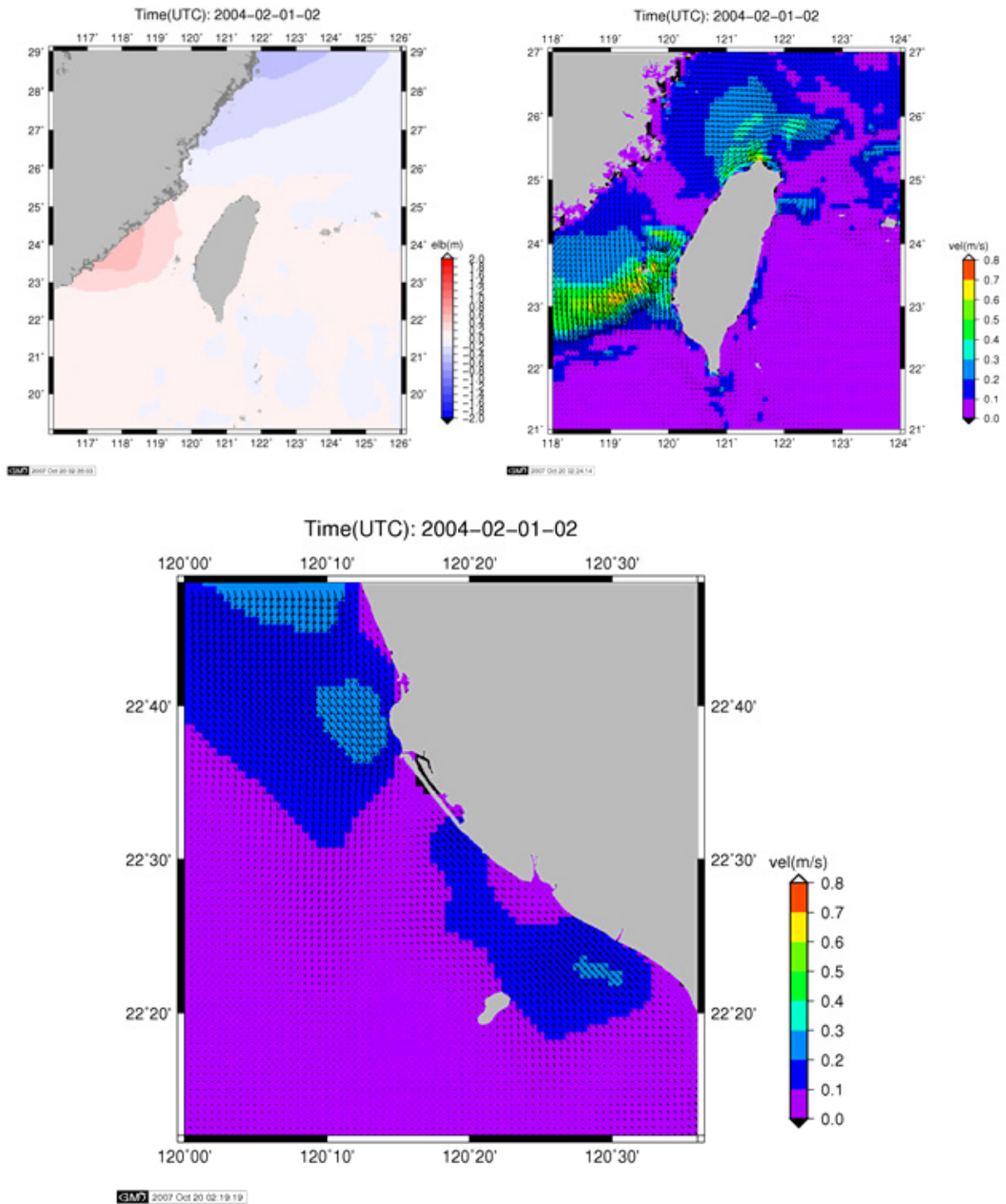


圖 4-16 台灣附近海域潮汐變化(左上：水位，右上：流速，下：高雄附近流速)

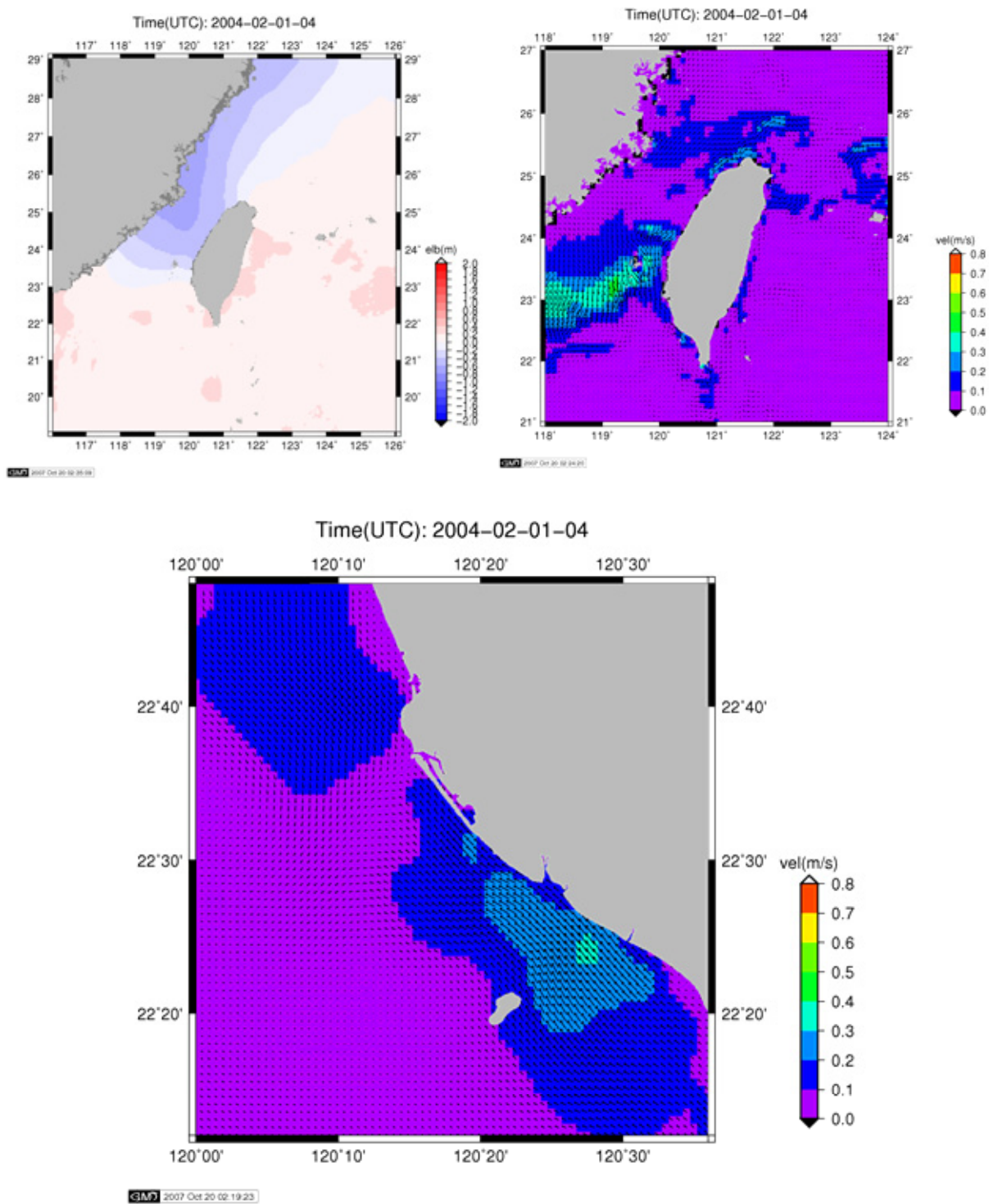


圖 4-17 台灣附近海域潮汐變化(左上角：水位，右上角：流速，下：高雄附近流速)

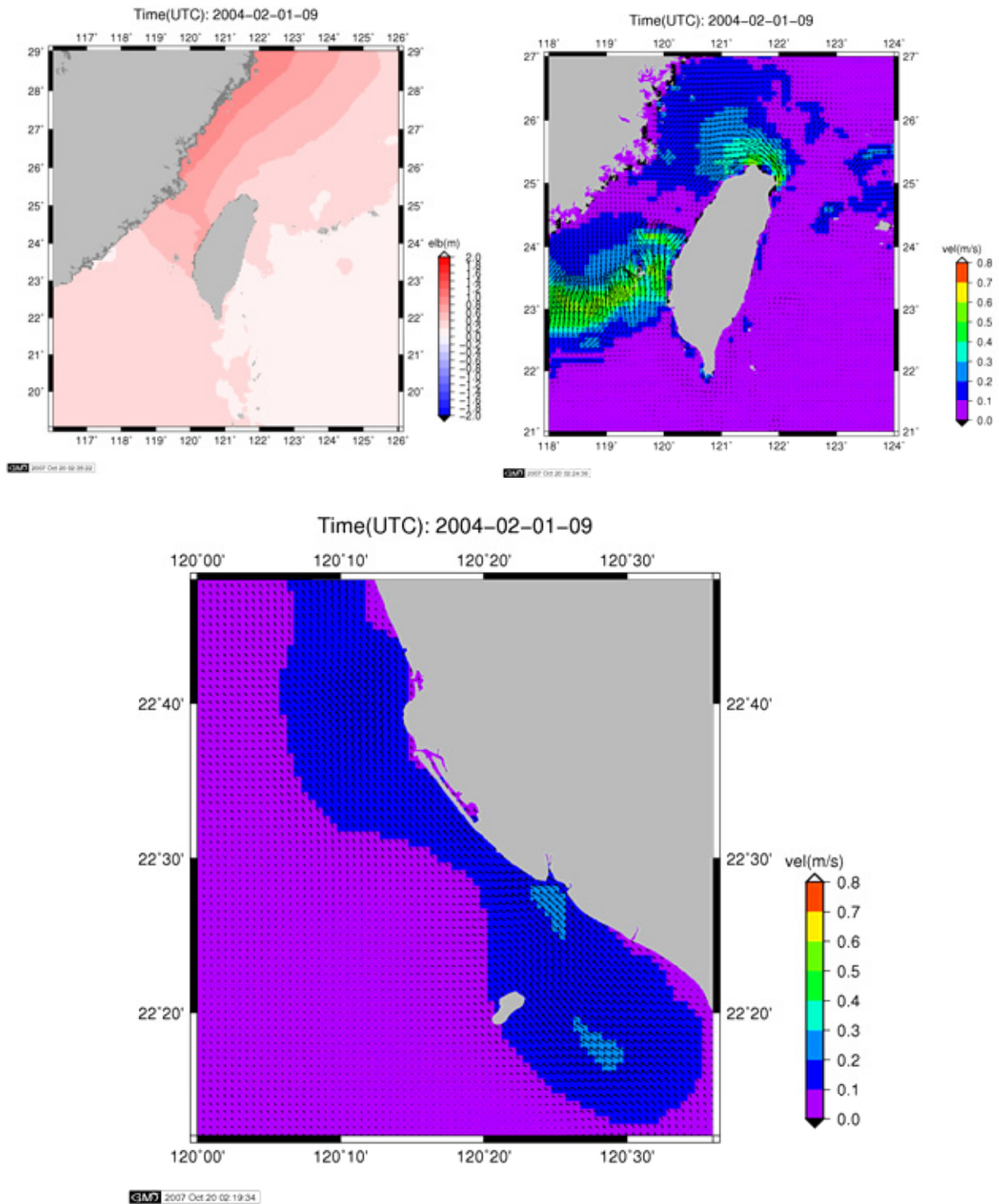


圖 4-18 台灣附近海域潮汐變化(左上角：水位，右上角：流速，下：
高雄附近流速)

第五章 結論

本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」為主計畫「潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」之前導研究，透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性完成台灣環島海域的海潮流模擬。計畫目的為建置港灣技術研究中心 POM 模式(IHMT-POM)，並建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續主計畫所需之分析程式的發展，以數值模式模擬分析台灣環島海域之海潮流特性，以期提供主計畫目標的主要分析工具。主要工作項目包括：購建數值模擬所需之軟、硬體作業環境，蒐集模擬台灣附近海潮流所需的海洋水文資料，引進及建置 POM 海洋數值模式及資料前置處理系統，並進行建置後模式測試等工作項目。

在軟硬體建置方面，已經完成計算設備的購置與作業系統環境的設定。在資料蒐集方面，蒐集模擬海潮流所需的海洋水文資料，例如應用於模式邊界條件的海面風場、大氣壓力、溫度與潮位等，與應用於模式起始條件的海洋溫度與鹽度等。在模式建置方面，已經完成模式前後置處理與 IHMT-POM 模式的發展，並以操作手冊方式說明模式建置與執行流程。而在模式驗證與測試方面，完成理想條件下的風推升水位與淡鹽水混合測試，其模式計算值與理論值符合一致，具有合理性。在 POM 模式應用上，也完成台灣附近海域海潮流變化的模擬，其計算結果與潮位測站資料的比較下也具有一致性，但在流速方面仍有待更多實測資料進行模式校正。

在台灣海域潮汐模擬方面，高雄港附近海域流向變化與台灣南部海域漲退潮流向並不一致，較無規則性。由模擬結果中可知，高雄屏東一帶海域存在一小規模環流，潮流在此海域產生分支，漲潮時向北分支進入台南與澎湖之間，向南分支則向南流經高雄外海，但環流規模大小並不規則，其有待格網更精細的模式進一步分析。

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. 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.
3. 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.
4. 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..
5. Dean, R. G. and R. A. Dalrymple (1991) *Water wave mechanics for engineering and scientists*, Advanced Series on Ocean Engineering, 2, World Scientific Publishing, 353p..
6. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation," RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
12. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans," *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.
13. 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.

14. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
15. Mellor, G. L., S. Hakkinen, T. Ezer and R. Patchen (2002) "A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids," *Ocean Forecastings: Conceptual Basis and Applications*, Pinardl, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Phillips, N. A. (1957) "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting," *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
23. Schwiderski, E. W. (1980) "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations," *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. U.S. Army, Coastal Engineering Research Center (1977) : *Shore Protection Manual*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C..
28. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.

29. 吳仁友 (1997), 「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」, 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
30. 林政偉 (1999), 「感潮河段之計算研究」, 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
31. 莊文傑 (2000), 「台灣海峽潮波協振盪之研究」, 國立台灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。
32. 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。
33. 葉姍霈 (2002), 「台灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」, 國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。
34. 盧鴻復、吳朝榮 (2005), 「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」, 海洋技術季刊第十四卷第四期, 12-18。

附錄 1

港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

委託單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

承辦單位：大仁科技大學

中華民國九十六年十月

一、前言

本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」將透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性完成台灣環島海域的海潮流模擬。並建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續主計畫所需的分析程式，以提供一數值模式模擬分析台灣環島海域之海潮流特性。本操作手冊「港灣技術中心研究中心 POM 模式操作手冊」詳細介紹「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式」的模式架構與操作流程，以提供使用者操作的依據。

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

二、模式架構

本模式「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式」(IHMT-POM)建置在 Linux 作業系統的環境下，關於作業環境系統與相關軟體工具的設定於「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」第四章中有詳細的說明，其中包括 Linux 作業系統、Fortran 編譯器與 NetCDF 工具程式等，使用者必須依據其說明將作業環境設定後方可進行隨後的運算環境的設定。在本操作手冊中以字型來代表不同目錄、檔案、變數或指令等不同的意義，以英文 *Times New Roman* 斜體字型表示檔案名稱，以英文 **Times New Roman** 粗體字型表示 IHMT-POM 模式的內定目錄名稱，使用者必須依照說明而建立，以 ***Times New Roman*** 粗斜體字型表示可由使用者自行命名的目錄名稱，以英文 Book Antiqua 字型則是設定檔案中的文字，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

在模式架構方面，在使用者家目錄下首先建立一個模式運算目錄 **IHMTpom**，目錄中所應該包括 **bin**、**data**、**src** 與運算方案名稱如 *windsetup*、*npo*、*taiwan_tide* 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「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」第四章中所收集的海氣象與地形資料庫，**src** 目錄中則是放置程式的原始檔案可供使用者編譯與修改。而運算方案名稱則是隨使用者自行建立，依照模擬的方案命名。其目錄架構如圖附 1 中所表示。

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

f、for、f90：Fortran 程式語言檔。

sh：Linux 作業系統中 bash 環境之命令腳本檔。

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

in：為程式執行所需的命令檔，其格式為文字檔。

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

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

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

nc：為 NetCDF 資料格式檔案，包括海氣象資料庫與 *pom2k.exe* 執行後的模擬資料。

而各目錄中所包含的程式與目錄用途則分別說明如下，

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

prepom.exe：為 IHMT-POM 模式前置處理程式，目的為處理地形與海氣象資料供主程式 *pom2k.exe* 所使用。

nao99b.exe：為 NAO99b 模式執行程式，目的為運算潮位邊界供 *pom2k.exe* 程式所使用。

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。

psscalar.sh：命令腳本，可進行以 IHMT-POM 模式運算輸出之 NetCDF 資料格式中，純量變數的繪圖呈現。

psvector.sh：命令腳本，可進行以 IHMT-POM 模式運算輸出之 NetCDF 資料格式中，向量變數的繪圖呈現。

rumpom.sh：命令腳本，進行 IHMT-POM 模式之模擬使用，可以月為時間單位進行長時間的模式模擬。

rumpomvis.sh：命令腳本，可進行由 *rumpom.sh* 命令腳本運算後，呼叫以 *psscalar.sh* 與 *psvector.sh* 進行長時間模擬的繪圖呈現。

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

NCEP_NCAR_Reanalysis1_Surface_flux：目錄中為 NCEP/ NCAR 海面氣象資料庫，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：目錄中為 NOAA 的海面溫

度(Sea Surface Temperature)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。

WOA2005：目錄中為 NODC 的 WOA 海洋水文資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行 IHMT-POM 模式的溫度與鹽度初始資料。

C. **src** 目錄：包含各種程式的原始碼。

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

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

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

ncmean：其中檔案經過編譯後會產生 *ncmean.exe* 程式。

ncread：其中檔案經過編譯後會產生 *ncmean.exe* 程式。

D. **project**：為計算方案主目錄，其名稱可由使用者隨計算方案而命名(如 *npo*)，其中包含 **bin**、**include**、**inp** 與 **snapshot** 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。

include：其目錄中放置與計算有關的設定檔，主要是供 *pom2k.exe*

程式編譯時所需的 include 檔。

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。

snapshot：其目錄放置由 *psscalar.sh* 與 *psvector.sh* 兩個命令腳本所處理後的圖形資料。

2.2 編譯與安裝

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

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

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

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

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

```
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。而模式執行前必須將模式中可執行程式進行編譯，編譯方式可由 *maketools.sh* 命令腳本完成，其作用在於編譯 *prepom.exe*、*ncmean.exe*、*ncread.exe* 與 *nao99b.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。而主程式 *pom2k.exe* 由於必須跟隨計算方案的不同而編譯與更改，故編譯前必須修改計算方案中 **project** / **include** 目錄中之 *grid.h* 與 *params.h* 兩檔案後再進行編譯，欲編譯時則在命令模式下執行：

```
makepom.sh project
```

執行此命令後程式會自動連結 **project** / **include** 目錄中之 *grid.h* 與 *params.h* 兩檔案再進行 *pom2k.exe* 程式的編譯，編譯完成後會將程式拷貝至 **project** / **bin** 目錄。而 *grid.h* 與 *params.h* 兩檔案則於下節中分別說明。

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

前置處理程式包括 *prepom.exe* 與 *nao99b.exe* 等，首先說明 *prepom.exe* 的輸入檔 *project.in*，而 *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。
MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB)
100.0 -19.0 0.5 381 171 21
#
# 地形資料設定。第一參數為資料庫檔案名稱，預設為 ETOPO2v2g_f4.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。
#
MESH DATA (INPUT / OUTPUT DATASET)
user topo.inp
#
# IHMT-POM 模式潮位邊界資料。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 則會輸出 nao99b.nml 檔案，供
# nao99b.exe 執行所需，輸入 none 則表示不處理潮位邊界資料。第二參數
# 為潮位輸出檔名，供 pom2k.exe 執行所需。第三參數為輸出資料檔的時間間
# 距，單位為天。
#
ETA DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
nao99b eta.inp 0.04166
#
# IHMT-POM 模式大氣壓力邊界資料。第一參數為大氣壓力資料庫的選擇，現
# 僅有 ncep_mon、none 與 user 等三種輸入選擇，若選擇 ncep_mon 則會選
# 擇 NCEP 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，供 pom2k.exe 執行所
# 需。第三參數為輸出資料檔的時間間距，單位為天。
#
SLP DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
ncep_mon slp.inp 31
#
# IHMT-POM 模式風場邊界資料。第一參數為風場資料庫的選擇，現僅有
# ncep_mon 與 none 與 user 等三種輸入選擇，若選擇 ncep_mon 則會選
# 擇 NCEP 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，供 pom2k.exe 執行所需。
# 第三參數為輸出資料檔的時間間距，單位為天。
#
WIND DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
ncep_mon wind.inp 31
#
# IHMT-POM 模式海面溫度邊界資料。第一參數為海面溫度資料庫的選擇，現
# 僅有 noaa_mon 與 none 與 user 等三種輸入選擇，若選擇 noaa_mon 則會
# 選擇 NOAA 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，供 pom2k.exe 執行所
# 需。第三參數為輸出資料檔的時間間距，單位為天。

```

```

#
SST DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
noaa_mon sst.inp 31
#
# IHMT-POM 模式鹽度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的資料
# 檔名，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。第二參數為鹽度初始資料輸出檔名，
# 供 pom2k.exe 執行所需。
#
SALINITY (INPUT / OUTPUT DATASET)
s00an1 salinity.inp
#
# IHMT-POM 模式溫度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的資料
# 檔名，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 tembyuser.f90 程式。第二參數為溫度初始資料輸出檔名，
# 供 pom2k.exe 執行所需。
#
TEMPERATURE (INPUT / OUTPUT DATASET)
t00an1 temperature.inp
#
# IHMT-POM 模式流場初始資料。現不可使用，請設定為 none。
#
CURRENT (INPUT / OUTPUT DATASET)
none current.inp

```

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。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。

而 *nao99b.exe* 程式所需的命令資料檔為 *nao99b.nml*，若在 *project.in* 中潮位邊界段落中有設定 *nao99b* 則會自動輸出該檔案，使用者不必進行修改。其中內容說明如下，

```

#
# MESH 段落為模式格網相關資訊之設定
# mnx 為模式 x 方向格網數目
# mny 為模式 y 方向格網數目

```

```

# gfile 為格網檔案名稱，其中包含格網點 x、y 座標與水深，其檔案經由
# prepom.exe 程式輸出
# icord = 1 預設值，請勿更改
# inest = 0 預設值，請勿更改
# nfile = '空字串' 預設值，請勿更改
#
&MESH
  mnx = 201
  mny = 201
  gfile = topo.dat
  icord = 1
  inest = 0
  nfile =
&END
#
# iopen = 1 預設值，請勿更改。
# idateea = 模式起始時間格式為 YYYYMMDD.HHmmSS
# idateee = 模式結束時間格式為 YYYYMMDD.HHmmSS
# unitet = hr 輸出間隔之時間單位
# idtet = 1 輸出間隔之時間，配合 unitet 之單位設定
# ofile 為 nao99b.exe 程式所輸出之潮位邊界檔名，其內容為配合
# pom2k.exe 模式所需之格式輸出
#
&BOUC
  iopen = 1
  idateea = 20040901.000000
  idateee = 20041001.000000
  unitet = hr
  idtet = 1
  ofile = eta.inp
&END

```

而 *nao99b.exe* 程式亦可單獨執行，若使用者欲單獨執行此程式，請在命令模式下輸入：

$$nao99b.exe < nao99b.nml$$

則該程式會進行 NAO99b 模式的運算，輸出 *pom2k.exe* 計算所需的潮位邊界檔。

3.2 主程式 *pom2k.exe*

IHMT-POM 模式之主程式為 *pom2k.exe*，此程式與計算方案的格網設定與計算條件有關，故在計算執行前必須先進行 **include** 目錄中

grid.h 與 *params.h* 兩檔案的修改再進行編譯。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= 201,jm= 201,kb= 16)
```

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

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

```

```

C 建議值為 30 至 80
C
C      isplit=60
C
C-----
C
C      Date and time of start of initial run of model in format (i.e.
C      UDUNITS convention)
C
C      YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C      where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C      Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time
C      axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C      real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C      and time as required:
C 計算起始時間，請依照計算方案設定
C
C      time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----
C 預設不使用，請於 pom.in 中設定
C
C      days=0.25e0      ! run duration in days
C
C-----
C 起始輸出資料間距，單位為天
C
C      prtd1=12.0 / 24.0  ! Initial print interval (days)
C
C-----
C 最後輸出資料間距，單位為天
C
C      prtd2=1.e0      ! Final print interval (days)
C
C-----
C 由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
C      swtch=1000.e0      ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----
C 設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C
C      iskp=5      ! Printout skip interval in i
C
C-----
C 設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
C      jskip=5      ! Printout skip interval in j
C

```

```

C-----
C
C   Logical for inertial ramp (.true. if inertial ramp to be applied
C   to wind stress and baroclinic forcing, otherwise .false.)
C 是否使邊界條件漸進式啟動，可避免數值不穩定，預設值為.false.
C
C   lramp=.false.
C
C-----
C
C   Reference density (recommended values: 1025 for seawater,
C   1000 for freshwater; S.I. units):
C 水體密度參考值，預設值海水預設為 1025，淡水為 1000
C
C   rhoref=1025.e0
C
C-----
C
C 水體溫度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C   tbias=0.e0           ! Temperature bias (deg. C)
C
C-----
C
C 水體鹽度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
C   sbias=0.e0           ! Salinity bias
C
C-----
C
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
C   grav=9.806e0         ! gravity constant (S.I. units)
C
C-----
C
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
C   kappa=0.4e0          ! von Karman's constant
C
C-----
C
C 底床粗糙度，其值會影響底床磨擦力大小，預設值為 0.01
C
C   z0b=.01e0            ! Bottom roughness (metres)
C
C-----
C
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
C   cbcmin=.0025e0       ! Minimum bottom friction coeff.
C
C-----
C
C 最大底床摩擦係數，預設值為 1.0
C
C   cbcmax=1.e0          ! Maximum bottom friction coeff.

```

```

C
C-----
C 水平擴散係數，預設值為 0.2，合理範圍為 0.1 至 0.2
C
C      horcon=0.2e0      ! Smagorinsky diffusivity coeff.
C
C-----
C
C      Inverse horizontal turbulent Prandtl number
C      (ah/am; dimensionless):
C
C      NOTE that tprni=0.e0 yields zero horizontal diffusivity!
C Pradtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
C
C      tprni=.2e0
C
C-----
C
C      Background viscosity used in subroutines profq, proft, profu and
C      profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
C      umol=2.e-5
C
C-----
C
C      Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C      bcond (metres):
C 計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C 分佈設定一恰當之值
C
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=6.0
C
C-----
C
C      Maximum magnitude of vaf (used in check that essentially tests
C      for CFL violation):
C 最大可能的流速，單位為每秒公尺。大於此值則會終止程式運算
C
C      vmax1=100.e0
C
C-----

```

```

C
C      Maximum allowable value of:
C
C      <difference of depths>/<sum of depths>
C
C      for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C      slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:
C 地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
C      slmax=2.e0
C
C-----
C
C      Integers defining the number of logarithmic layers at the
C      surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C      logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
C      at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C 垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C 數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定
C
C      kl1=6
C      kl2=kb-2
C
C-----
C
C      Water type, used in subroutine proft.
C
C      ntp      Jerlov water type
C      1          i
C      2          ia
C      3          ib
C      4          ii
C      5          iii
C 水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
C      ntp=2
C
C-----
C
C      Surface temperature boundary condition, used in subroutine proft:
C
C      nbct      prescribed      prescribed      short wave
C                temperature      flux            penetration
C      1          no              yes             no
C      2          no              yes             yes
C      3          yes             no              no
C      4          yes             no              yes
C 海面溫度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
C      nbct=3

```

```

C
C-----
C
C   Surface salinity boundary condition, used in subroutine 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 IHMT-POM 模式中預設為 1，請勿更動
C
C       nbcs=1
C
C-----
C
C   Step interval during which external (2-D) mode advective terms are
C   not updated (dimensionless):
C   對流項更新時間間距，單位為次數。其值可改善數值穩定性，預設值為 5
C
C       ispadv=5
C
C-----
C
C   Constant in temporal filter used to prevent solution splitting
C   (dimensionless):
C   平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性，預設值為 0.1
C
C       smoth=0.10e0
C
C-----
C
C   Weight used for surface slope term in external (2-D) dynamic
C   equation (a value of alpha = 0.e0 is perfectly acceptable, but the
C   value, alpha=.225e0 permits a longer time step):
C   權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性，預設值為 0.225
C
C       alpha=0.225e0
C
C-----
C
C   Initial value of aam:
C   起始水平擴散項之值，預設值 500
C
C       aam_init=500.e0
C
C   End of input of constants

```

以上為 *grid.h* 與 *params.h* 設定之說明。在一般的情況下，若有事

先執行 *prepom.exe* 的狀況下，*grid.h* 檔案會自動生成，使用者可自行把該檔案拷貝至計算方案主目錄下之 **include** 目錄，再進行程式編譯。而 *params.h* 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，在一般的情況下其餘的參數根據測試並不需要進行大幅修改。

經編譯後執行，*pom2k.exe* 程式會依照相關設定進行 POM 模式運算，其模式所需的資料皆經由 *prepom.exe* 與 *nao99b.exe* 程式輸出的資料檔案。而模式必須讀入 *pom.in* 命令資料檔，該檔案會自動由 *prepom.exe* 程式輸出，使用者不用自行建立。而 *pom.in* 內容說明如下，

TIME	
20040901.000000	# 模式起始時間，時間格式為 YYYYMMDD.HHmmSS
DURATION	
0.300000E+02	# 模式模擬時間長度，單位為天
GRIDS	
topo.inp	# 格網資料檔名，必須輸入
ETA BOUND	
eta.inp	# 潮位邊界資料檔名，none 表示不輸入
SLP BOUND	
none	# 大氣壓力邊界資料檔名，none 表示不輸入
WND BOUND	
none	# 風場邊界資料檔名，none 表示不輸入
SST BOUND	
none	# 海面溫度邊界資料檔名，none 表示不輸入
SLIC	
salinity.inp	# 鹽度初始資料檔名，none 表示不輸入
TEIC	
temperature.inp	# 溫度初始資料檔名，none 表示不輸入
UVIC	
none	# 流速初始資料檔名，none 表示不輸入
NEST	
none	# 巢狀格網邊界資料檔名，none 表示不輸入

而執行 *pom2k.exe* 程式時，程式會自動找尋 *pom.in* 進行輸入，故請將 *pom.in* 命令資料檔放置計算方案主目錄中，在一般的情況下 *pom.in* 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/pom.in pom.in
```

則會將 **inp** 目錄中之 *pom.in* 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，此目錄皆放置與此計算方案有關的可執行程式。在模式執行前，由於所有的資料檔皆放置於 **inp** 目錄中，使用者必須依照需要進行如上述的連結，如欲連接 *eta.inp*、*salinity.inp*、*temperature.inp* 檔案，則在計算方案主目錄下，輸入：

```
ln -f -s ./inp/eta.inp eta.inp
```

```
ln -f -s ./inp/salinity.inp salinity.inp
```

```
ln -f -s ./inp/temperature.inp temperature.inp
```

則可將資料檔案連接到計算主目錄中。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 *YYYYMMDDHH.71* 與 *pom2k.nc* 等檔案。*pom.prn* 為程式輸出於螢幕的資訊，*YYYYMMDDHH.71* 檔案為程式執行完成後所留存的重新啟動資料檔，而檔名 *YYYYMMDDHH* 表示程式執行完成後的時間，若程式啟動時有相對應時間的重新啟動檔，*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 IHMT-POM 模式所輸出的 NetCDF 格式之工具程式，包括 *ncread.exe* 與 *ncmean.exe* 兩程式。首先說明 *ncread.exe* 程式主要目的為將 NetCDF 格式轉換為文字檔格式以方便使用者進行其他後置的處理，該程式需要命令資料檔進行輸入，而其檔案為 Fortran 程式語言之 namelist 格式撰寫，其說明如下：

```

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

```

```
# DELT 表示輸出時間間距，單位為天
# NGFILE 為輸出之邊界檔名
#
&NESTOUT
  NGRID = 'topo.inp'
  IM = 201,
  JM = 201,
  KB = 16,
  IUA = 1,
  DELT = 31,
  NGFILE = 'nested.inp',
&END
```

則執行時請於命令模式下輸入，

ncread.exe < ncread.nml

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

ncmean.exe -Ipom2k.exe -Opom2k.mean.exe

其中-I 參數後為輸入之資料檔名，-O 參數後為輸出檔名。

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，包括 *runpom.sh* 執行模擬腳本與 *psvector.sh*、*psscalar.sh* 兩個繪圖指令，使用方式皆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 main-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，*main-project* 為母

領域計算方案名稱，其表示 *project* 計算方案為 *main-project* 計算方案之子領域，需要由 *main-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。由於命令腳本需要一樣本命令資料檔進行作業，故進行命令腳本之前需要事先編輯計算方案主目錄中 **inp** 子目錄下之 *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)
100.0 -19.0 0.5 381 171 21
#
MESH DATA (INPUT / OUTPUT DATASET)
user topo.inp
#
ETA DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
none none 0.0
#
SLP DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
ncep_mon slp.inp DD.D
#
WIND DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
ncep_mon wind.inp DD.D
#
SST DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
noaa_mon sst.inp DD.D
#
SALINITY (INPUT / OUTPUT DATASET)
s00an1 salinity.inp
#
TEMPERATURE (INPUT / OUTPUT DATASET)
t00an1 temperature.inp
#
CURRENT (INPUT / OUTPUT DATASET)
none current.inp
```

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，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。

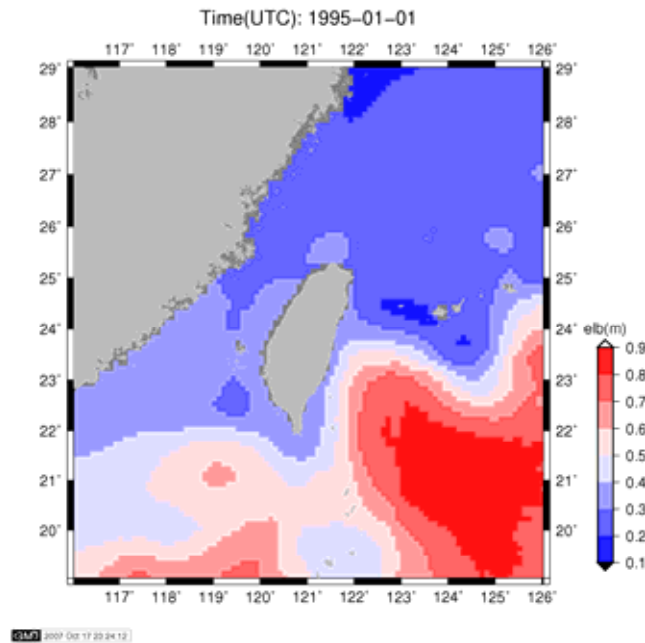
而 *psscalar.sh* 可進行以 IHMT-POM 模式運算輸出之 NetCDF 資料格式中，純量變數的繪圖呈現，如在命令模式下輸入，

```
psscalar.sh pom2k.19950101.mean.nc elb 19950101 0
```

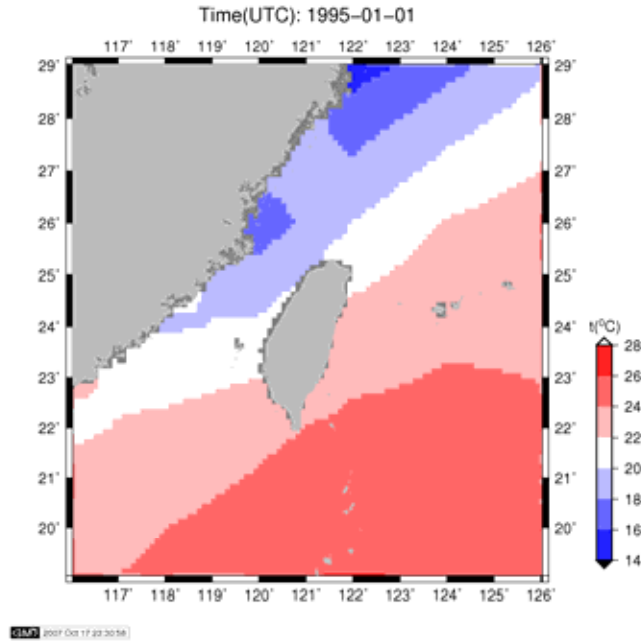
表示處理 *pom2k.19950101.mean.nc* 檔案中 *elb* 變數，該時間起始時間為 1995 年 01 月 01 日 0 時。以台灣海域巢狀格網範例中資料檔繪製出圖形如圖附 1 中所示。而在命令模式下輸入，

```
psscalar.sh pom2k.19950101.mean.nc t 0 19950101 0
```

表示處理 *pom2k.19950101.mean.nc* 檔案中第一層 *t* 變數，該時間起始時間為 1995 年 01 月 01 日 0 時。以台灣海域巢狀格網範例中資料檔繪製出圖形如圖附 2 中所示。



圖附 1 台灣附近海域平均水位分佈



圖附 2 台灣附近海域海面溫度分佈

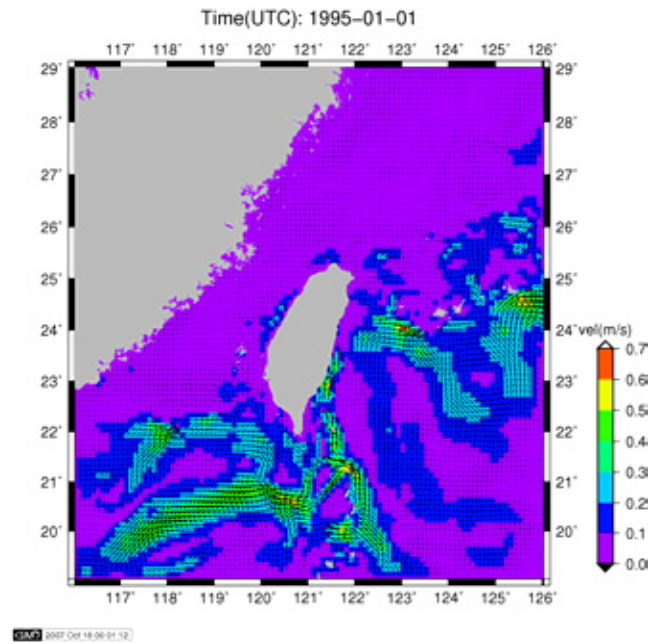
而 *psvector.sh* 可進行以 IHMT-POM 模式運算輸出之 NetCDF 資料格式中，向量變數的繪圖呈現，如在命令模式下輸入，

```
psvector.sh pom2k.19950101.mean.nc uab vab 19950101 0
```

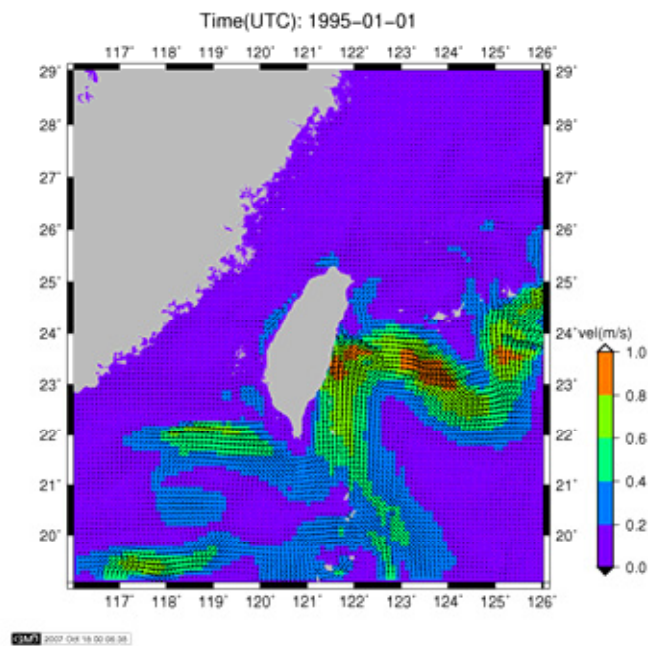
表示處理 *pom2k.19950101.mean.nc* 檔案中 *uab* 與 *vab* 組成的向量變數，該時間起始時間為 1995 年 01 月 01 日 0 時。以台灣海域巢狀格網範例中資料檔繪製出圖形如圖附 3 中所示。而在命令模式下輸入，

```
psvector.sh pom2k.19950101.mean.nc u v 0 19950101 0
```

表示處理 *pom2k.19950101.mean.nc* 檔案中第一層 *u* 與 *v* 變數，該時間起始時間為 1995 年 01 月 01 日 0 時。以台灣海域巢狀格網範例中資料檔繪製出圖形如圖附 4 中所示。



圖附 3 台灣附近海域水深平均海流分佈



圖附 4 台灣附近海域海面海流分佈

四、範例執行

本節利用一計算方案的操作流程來總結 IHMT-POM 模式的操作步驟，計算方案為利用 POM 模式(mode=4)來模擬台灣附近潮流，其計算

方案名稱訂為 `tide_mode4`。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. 安裝模式與設定 IHMT-POM 模式環境變數。
2. 執行 `createproj.sh` 命令腳本，利用樣板檔案建立計算方案，於命令模式下輸入：

```
createproj.sh tide_mode4
```

3. 編輯 **tide_mode4/inp** 目錄中 `tide_mode4.copy` 樣板檔案，其中模式計算範圍左下角座標為東經 116.0 度、北緯 19.0 度，格網間距為 0.05 度，x 與 y 方向格網點數為 201，垂直方向為 16 層。模式格網點水深以 `topo_taiwan_smooth.dat` 提供，除了潮位邊界設定為 `nao99b` 之外，所有邊界與起始條件皆設定為零。如下所示：

```
#
START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
SSSSSSSS.SSSSSS
#
SIMULATING DURATION (DAYS)
DD.D
#
MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB)
116.0 19.0 0.05 201 201 16
#
MESH DATA (INPUT / OUTPUT DATASET)
topo_taiwan_smooth.dat topo.inp
#
ETA DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
nao99b eta.inp 0.041666666666
#
SLP DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
none slp.inp DD.D
#
WIND DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
none wind.inp DD.D
#
SST DATA (INPUT / OUTPUT DATASET, TIME INTERVAL)
none sst.inp DD.D
#
SALINITY (INPUT / OUTPUT DATASET)
none salinity.inp
```

```
#  
TEMPERATURE (INPUT / OUTPUT DATASET)  
none temperature.inp  
#  
CURRENT (INPUT / OUTPUT DATASET)  
none current.inp
```

4. 修改 **tide_mode4/include** 目錄中 *grid.h* 與 *params.h* 兩檔案中之參數，使其適用於此方案。在 *grid.h* 中修改 *im=201*、*jm=201*、*kb=16*，而在 *params.h* 中修改 *mode=4*。

5. 編譯 POM 模式，在命令模式下輸入：

```
makepom.sh tide_mode4
```

6. 執行 IHMT-POM 模式，預計執行 2004 年 1 月 1 日 0 時至 2004 年 2 月 28 日 23 時之潮位模擬，於命令模式下輸入：

```
runpom.sh tide_mode4 20040101 2
```

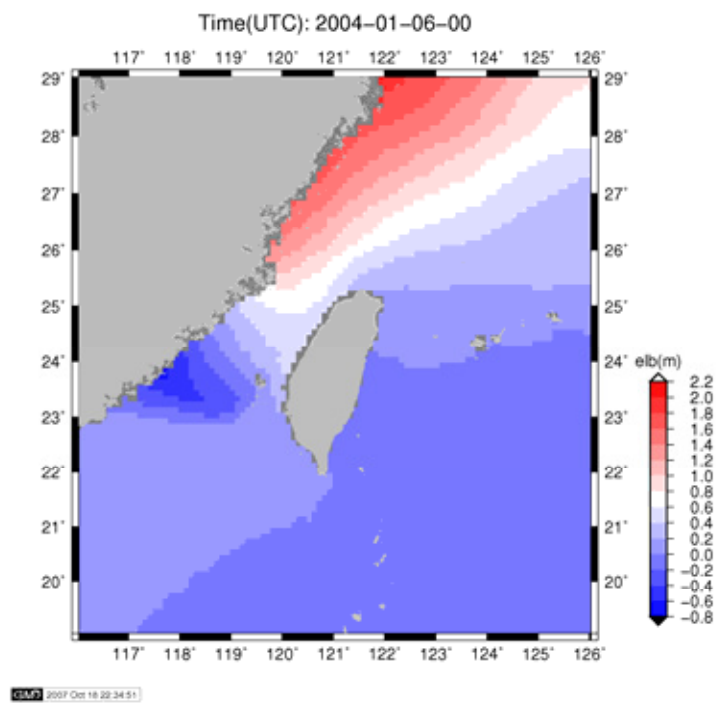
7. 於模式完成執行後，利用繪圖命令腳本進行初步分析與繪圖，於命令模式下輸入：

```
psscalar.sh pom2k.20040101.nc elb 20040101 120
```

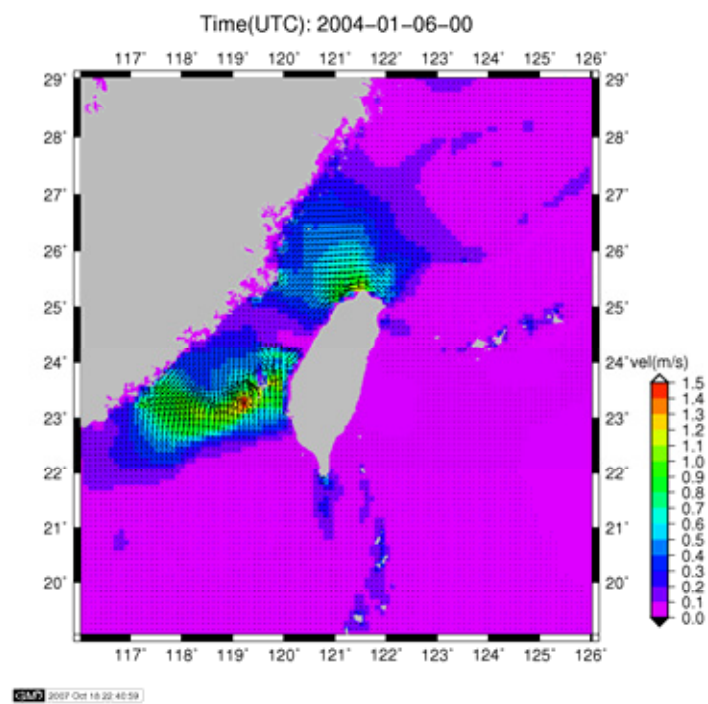
可於 *snapshot* 目錄中發現 *elb2004010600.png* 圖形檔案，如圖附 5 中所示。若輸入：

```
psvector.sh pom2k.20040101.nc uab vab 20040101 120
```

可於 *snapshot* 目錄中發現 *uabvab2004010600.png* 圖形檔案，如圖附 6 中所示。



圖附 5 台灣海域潮位分佈(2004/01/06 00:00)



圖附 6 台灣海域潮流分佈(2004/01/06 00:00)

附錄 2

交通部運輸研究所合作研究計畫
☒期中☐期末 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置

計畫編號：MOTC-IOT-96-H3DB005

執行單位：大仁科技大學環境資源管理系

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
林銘崇 委員 1. 執行過程及其進度順利良好。 2. 所需基本資料儘可能考量引用國內相關模式或實測資料。	意見答覆 1. 謝謝委員指教。 2. 在期中報告中所引用的海洋水文或大氣資料都是來自國外免費的資料庫，其優點是容易取得且有長期的歷史資料。在模式建置過程中會保留資料轉換的程序，未來如可取得國內相關模式或實測資料，可容易的取代現有的資料，保留使用的彈性。
李忠潘 委員 1. 執行成果符合進度。	意見答覆 1. 謝謝委員指教。
陳陽益 委員 1. 建議先清楚描述台灣海域(尤其是沿近岸)的海潮流實際現實特性。	意見答覆 1. 關於台灣海域海潮流特性的描述，在期末報告中將會增補專節加以說明，並配合模式結果互相驗證，以了解模式特性與限制。

2. 海洋數值模式要計算的內涵(或內容)與目的在本計畫中是什麼，請說明。	2. 海洋數值模式在本計畫中為探討台灣附近潮汐殘餘流之特性，故依此目的所建置之主要分析工具，未來也可據此模式結果進行不同台灣海潮流特性的分析與應用。
3. 台灣需要此模式可解決或說明什麼特性或現象？	3. 台灣四面環海海域地形複雜，為了解海域海潮流特性，故需要可信度高的海潮流模式來了解其特性。本計畫是配合未來計畫需要的前導計畫，透過計畫的執行，希望達成台灣附近海潮流的模擬與建立分析工具。
4. 波浪與碎波似無在此模式內，那波引起的環流(rip current,包括沿、向一離岸海流)如何考量；或如何由此模式算出的結果來分離出？	4. 關於波浪與碎波現象所衍生的近岸環流在本計畫中並未考慮，本計畫主要以較大尺度的格網考量之下來模擬台灣附近海域的海潮流現象。希望未來也可透過數值技巧與軟硬體擴充達到較小時空尺度的海潮流模擬，達到模擬近岸環流的現象。
5. 考量到以上四點，如何檢測出本模式的正確性？	5. 關於模式的驗證，主要收集台灣海域的海潮流觀測資料與模式結果互相比較，來驗證模式的可信度與正確性。
6. 多彎角、凹凸大或小島與多群小島(如小琉球與澎湖等)情形，如何驗證海潮流預測的正確性。	6. 關於島嶼附近海流現象的描述，本計畫現有建置的數值格網並無法加以描述，在計畫執行時間與相關資料取得的允許下將會嘗試縮小數值格網來描述台灣附近島嶼海域的海潮流現象。

簡仲璟 委員 1. 本計畫主要工作是 POM 模式的軟、硬體建置及操作手冊的撰寫。依期中報告所述已完成之工作事項大致符合計畫預定進度。 2. 在實例應用中(4-2節)風場模式是利用中央氣象局 15 公里網格之 MC 模式，此與報告中 3-3 節之資料蒐集似乎不一致，請補充說明。 3. 除模式操作手冊外，建議對於軟、硬體建置及模式作業系統安裝也能撰寫建置手冊，並納入期末報告。	意見答覆 1. 謝謝委員指教。 2. 關於中央氣象局之風場資料格式，將會在期末報告中增加資料格式的說明。 3. 將在期末報告中遵照委員意見辦理，期中報告對於模式軟體硬體建置過程與內容已有說明，將在期末報告中以配合模式操作手冊改列於手冊中。
蘇青和 委員 1. 請補充說明建立臺灣環島海域海洋數值模式相關所需邊界條件，如風場、氣壓場、溫度、鹽度、及潮汐，國外及國內資料蒐集情形，此些資訊是否	意見答覆 1. 現有蒐集的海氣象資料皆由國外知名資料庫取得，這些資料庫會不定期增加新的資料，但有些資料並無法即時取得。在模式建置過程中會保留更改資料使用的過程與方法，為未來使用者保留使用不同資料庫做為模式邊界與起始條件的彈性。

可即時由網站獲得?	
2. 本計畫建立之臺灣環島海域海洋數值模式相關水深網格是否可應用於近岸海域?	2. 如答覆陳委員第四點建議，現有計畫目的與工作項目並未考慮近海海域的海潮流特性，在執行時間與資料取得的允許下，將會嘗試模擬特定海域的小尺度海潮流現象。
3. 模式驗證於近岸流場模擬部份是否納入本研究探討範圍?	3. 如第二點答覆，近岸流場模擬並未考慮，由於近岸海域的水體流動可能與波浪有關，在波浪未進行模擬的情況下，並未考慮近岸流場的模擬。
4. 建議後續有關模式之後置與展示程序研究部份，可提供數值計算結果繪圖及動畫展示功能。	4. 遵照委員意見辦理，模式之後處理程序與繪圖功能將會在期末報告中進行說明。

交通部運輸研究所合作研究計畫
☐期中 ☒期末 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置

計畫編號：MOTC-IOT-96-H3DB005

執行單位：大仁科技大學環境資源管理系

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
林銘崇 委員 1. 研究成果具體合理。 2. 海流模擬大範圍取至北太平洋，是否合宜或需要？	意見答覆 1. 謝謝委員指教。 2. 為了模擬台灣附近海域海流流動必須有一大範圍模式的結果來作為小範圍巢狀格網的邊界條件來源，在本計畫中取至北太平洋範圍應可完整涵蓋流經台灣附近海域的海流分支的起源與其影響範圍，至於最合宜的範圍與格網解析度仍需進行後續的研究才可確定。
郭一羽 委員 1. 對於模式的適用條件，如：網格大小、邊界的處理等，希望儘量能詳細說明，以利使用者免於誤用。 2. 本模式為公開使用程式，國內如能建立純熟操作技巧，對以後的學術研究與應用將	意見答覆 1. 關於數值模式的限制，於模式介紹中補述 POM 模式的使用條件與限制。 2. 謝謝委員指教，POM 模式為一公開領域中的模式，使用者可以依其研究目標加以修改。本計畫依港研中心未來可能的需求而進行模式建置，其研究結果也

會有很大幫助。	可提供學術研究與台灣附近海域的海潮流模擬等相關應用。
蘇青和 委員 1. 執行成果甚完整。 2. POM 模式未來應用於近海或港灣地區是否納入沿岸流效應？ 3. 整體模式系統移轉本中心是否已包括各項使用權？	意見答覆 1. 謝謝委員指教。 2. 關於沿岸流效應是由波浪受地形影響所產生，在目前 POM 模式中並未包括該物理機制，但仍可透過模式修改逐步加入其中。在本計畫工作範圍並未包括此一部份，希望在後續工作中可進行相關課題的研究。 3. 軟硬體系統已透過行政程序完全轉移至港研中心，本計畫所開發的程式碼，本計畫參與人員除擁有其智慧財產權外，港研中心在使用本計畫所開發的程式上並無任何限制。
簡仲環 委員 1. 報告中有關台灣海域潮流模擬結果，建議以實測資料來驗證模式的準確性及明瞭其適用之條件限制。 2. 本計畫之軟硬體引進及建置與技術移轉之成效，請和本中心計畫主持人作一確認。	意見答覆 1. 本計畫僅對海潮流模擬的結果進行定性的評估，其應具有合理性，表示本計畫所建置的 IHMT-POM 模式應可完成後續的研究，完成主計畫所需的分析模擬工具，但定量的驗證仍需透過後續的工作與研究繼續進行。 2. 軟硬體系統已透過行政程序完全轉移至港研中心，而後續的研究與模式修正方面將會透過雙方持續的討論方式進行。

附錄 3 期末報告書面資料

「臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」 期末簡報

計畫主持人：歐善惠
大仁科技大學校長

協同主持人：廖建明
國家高速網路與計算中心 副研究員

協同主持人：許泰文
成功大學水利及海洋工程學系 教授

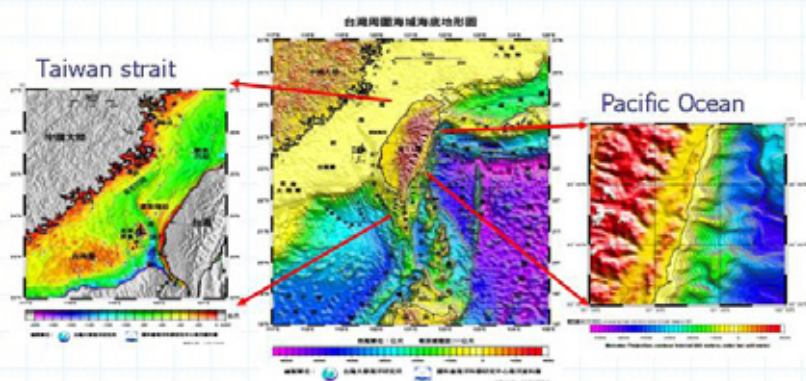
兼任助理：辛志勇
成功大學海洋科技與事務研究所 博士班

計畫摘要

- 本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」為四年期主計畫「潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」之前導研究。
- 透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，完成台灣環島海域的海潮流模擬。
- 計畫目的在建置模式計算所需的相關軟硬體環境，並透過展示系統與分析程式的發展，以期提供達到主計畫目標的分析工具。

計畫背景

- 台灣四面環海，海域地形複雜多變造成潮汐變化特性亦因地而異。
- 近岸海域長期性的沖淤趨勢可能是海流長期移運造成，而潮殘餘流應具有關鍵的主導性。



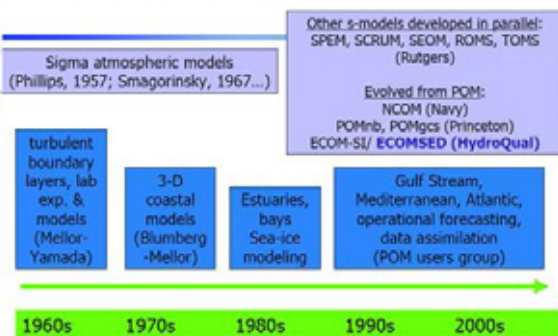
計畫背景

Princeton Ocean Model (POM)的歷史

Where it all started:
Mellor's vision for POM 27 years ago...

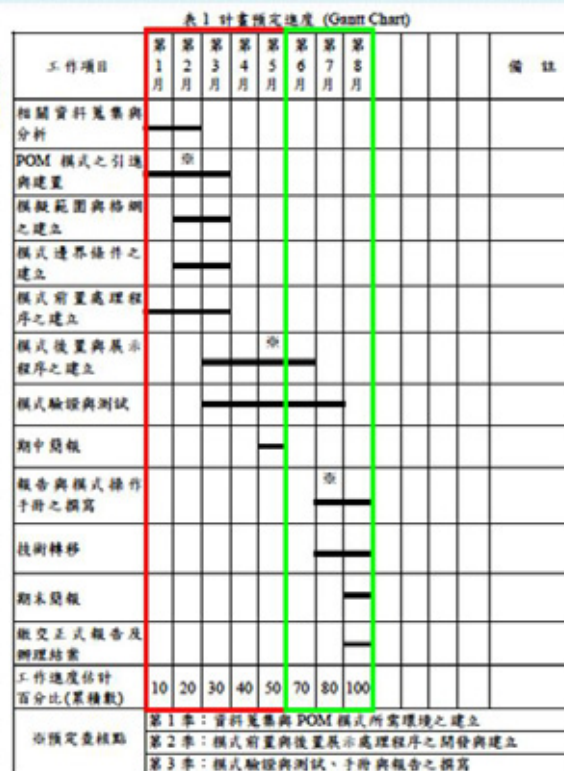
"This model is produced monthly is available on an expanded scale and is generally **FINER** than the real thing..."

G. Mellor, 1977



資料來源:<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>

預定進度甘特圖



POM 模式

POM 模式的特點

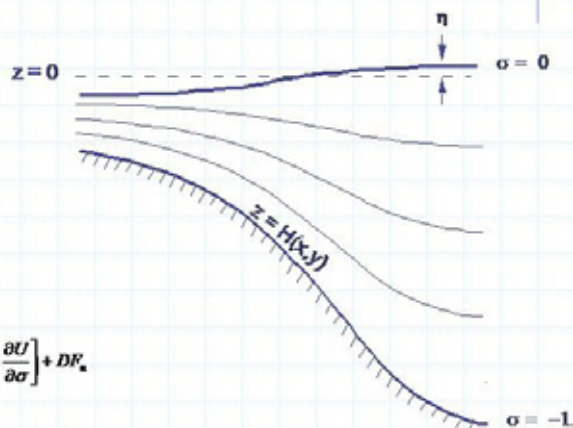
- 垂直方向的座標採用sigma座標，便於處理複雜起伏多變的河口、沿岸海域之海底地形與大陸斜坡等。
- 包含紊流閉合模式
- 模式包含熱動力學理論與鹽度的狀態方程式，可應用於海流的模擬。
- 分為外模式與內模式兩組不同的模式功能，節省電腦運算時間

POM模式

sigma座標系統-Philip(1957)

$$x^* = x \quad y^* = y \quad t^* = t$$

$$\sigma = \frac{(z - \eta)}{(H + \eta)}$$



座標系統示意圖

座標轉換後之控制方程式

$$\frac{\partial U}{\partial x^*} + \frac{\partial V}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0$$

$$\frac{\partial U D}{\partial x^*} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x^*} + \frac{\partial U V D}{\partial y^*} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - f V D + g D \frac{\partial \eta}{\partial x^*} + \frac{g D^2}{\rho_s} \left[\frac{\partial \rho}{\partial x^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + D F_u$$

$$\frac{\partial V D}{\partial x^*} + \frac{\partial U V D}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + f U D + g D \frac{\partial \eta}{\partial y^*} + \frac{g D^2}{\rho_s} \left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + D F_v$$

POM模式

溫度狀態方程式

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t^*} + \frac{\partial U \theta D}{\partial x^*} + \frac{\partial V \theta D}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega \theta}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_T}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + D F_\theta$$

鹽度狀態方程式

$$\frac{\partial S D}{\partial t^*} + \frac{\partial U S D}{\partial x^*} + \frac{\partial V S D}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega S}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_S}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + D F_S$$

紊流方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 U D}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 V D}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_T}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) \\ &+ \frac{2 K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \\ &+ \frac{2 g}{\rho_s} K_M \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2 q^2 D}{B_1 l} + D F_q \end{aligned} \quad \begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 U D}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 V D}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_T}{D} \frac{\partial (q^2 l)}{\partial \sigma} \right] \\ &+ \frac{E_1 l}{D} \left\{ K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \right\} \\ &+ E_2 \frac{g}{\rho_s} K_M \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{q^2 D}{B_1 l} + D F \end{aligned}$$

模式執行環境建置

硬體環境

表2 模式執行硬體配置

處理器	Intel Core 2 Duo E6700 2.6GHz
主機板	高效能Intel處理器相容主機板
記憶體	DDR2 2GB
硬碟	200G SATA硬碟x2
顯示卡	ATI 3D顯示卡
顯示器	22吋寬螢幕液晶顯示器



軟體環境

- 作業系統 Linux openSUSE 10.2
- 編譯器 Intel Fortran for Linux 9.0
- NetCDF 程式庫

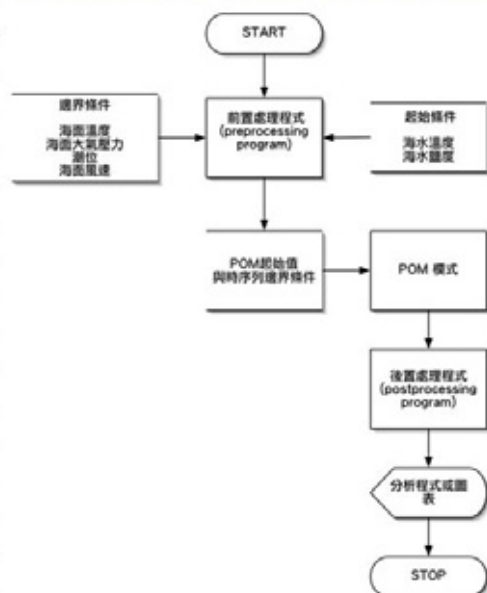


資料蒐集

模擬台灣附近海潮流所需基本資料

- 海表面風場
 - QSCAT/NCEP, NCEP/NCAR
- 海平面大氣壓力
 - NCEP/NCAR
- 海面溫度
 - NOAA-OI
- 海洋鹽度與溫度
 - WOA 01 & 05
- 潮位資料
 - NAO99b

IHMT-POM模式資料處理流程與手冊



附錄B

港灣技術研究中心POM模式操作手冊

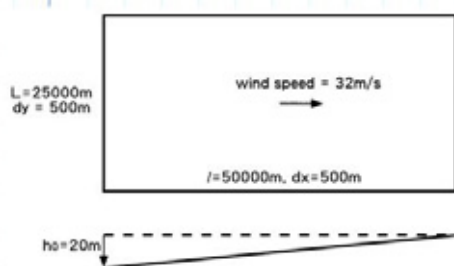
委託單位:港灣技術研究中心

承辦單位:大仁科技大學

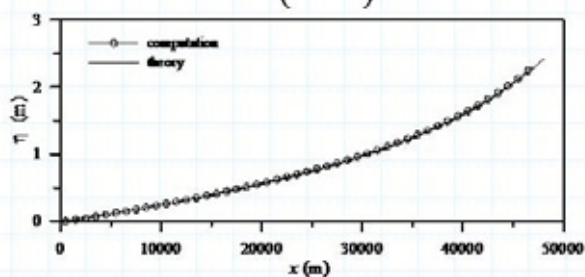
模式驗證(1/2) - 風剪力推升水位

若只考慮底床與表面剪應力，則斜坡底床上風引致之水位高可寫成下式(Dean和Dalrymple, 1991)。

$$\frac{x}{l} = \left(1 - \frac{h + \eta}{h_w}\right) - A \ln \left(\frac{\frac{h + \eta}{h_w} - A}{1 - A} \right)$$



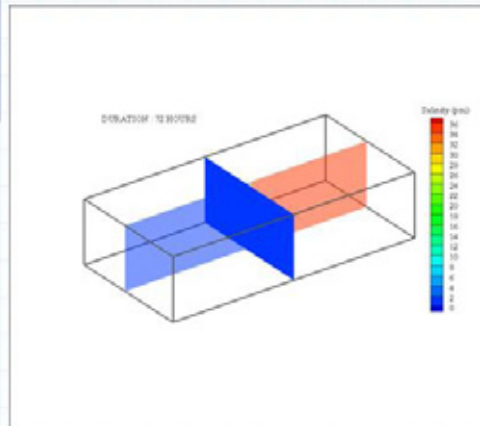
風引致水位測試設定示意圖



水位推升高比較圖

模式驗證(2/2) - 淡鹽水交換

- 模式設定渠道長50公里、寬25公里，格網間距為500公尺，垂直方向為51層，水深為20公尺，四周為封閉邊界。渠道右側設定鹽度為35 psu其與海水鹽度相近，右側設定為 0.5 psu其與淡水鹽度相近。



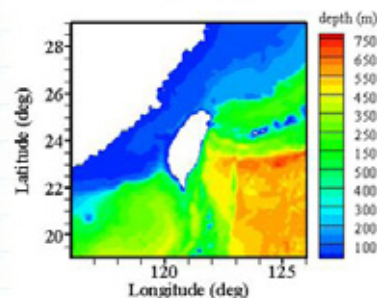
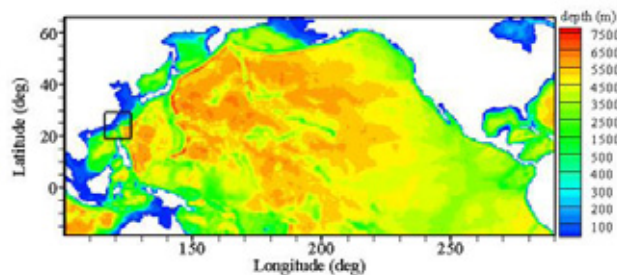
鹽度分佈剖面圖



等15PSU鹽度分佈圖

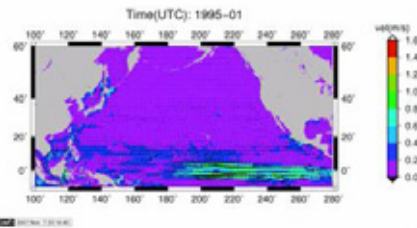
應用實例(1/2) - 台灣近海海流模擬

- 巢狀格網
- 水深資料庫為ETOPO2
- 海面溫度採NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature 資料庫
- 海面風場與氣壓場採NCEP/NCAR Reanalysis
- 鹽溫資料採WOA05
- 北太平洋格網間距 $\Delta x = \Delta y = 0.5^\circ$
- 台灣近海格網間距 $\Delta x = \Delta y = 0.05^\circ$
- 計算時間1968~1998

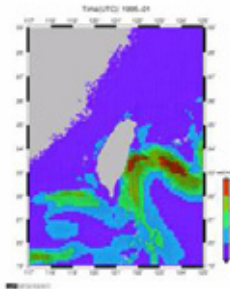


IHMT-POM模式計算範圍與地形水深圖

海流模擬月平均結果



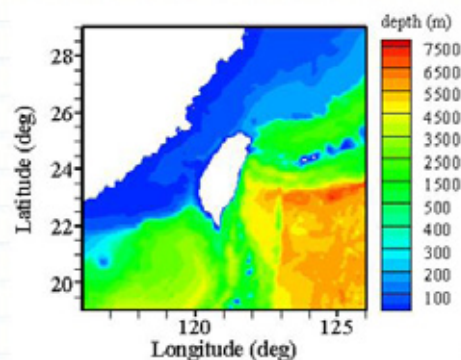
北太平洋模式



台灣附近海域模式

應用實例 (2/2) - 台灣近海潮流模擬

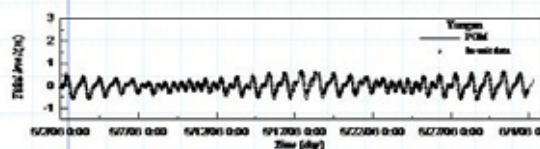
- 水深資料庫為ETOPO2
- 邊界潮位為NAO Tide (Matsumoto, 2000)
- 鹽溫資料採WOA05



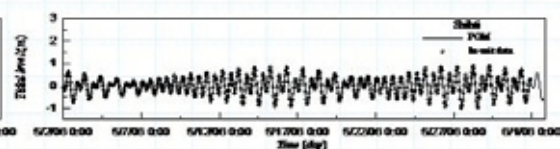
IHMT-POM模式計算範圍與地形水深圖

應用實例 (2/2) - 台灣近海潮流模擬

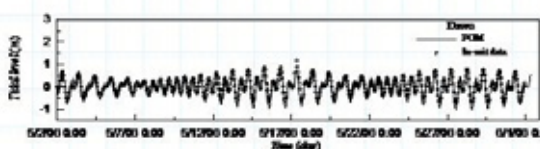
水位驗證



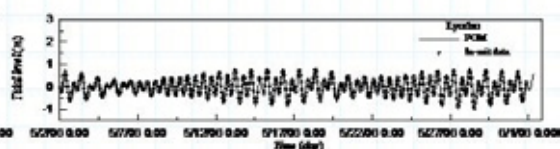
永安海域時序列潮位比較圖



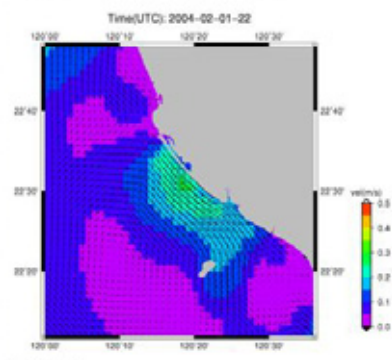
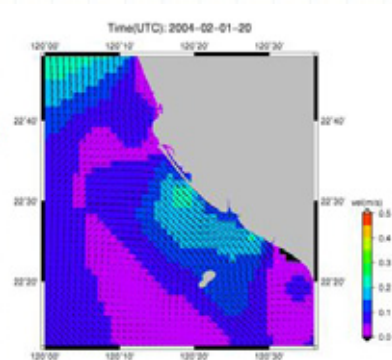
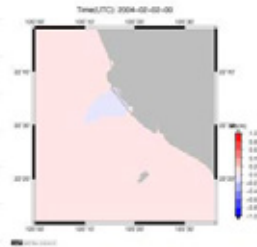
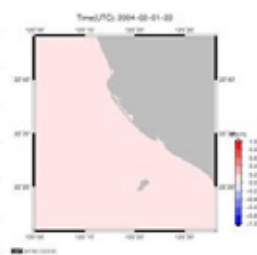
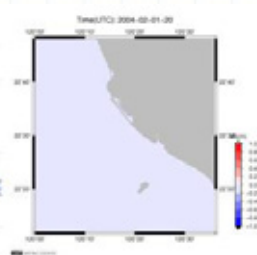
石梯海域時序列潮位比較圖



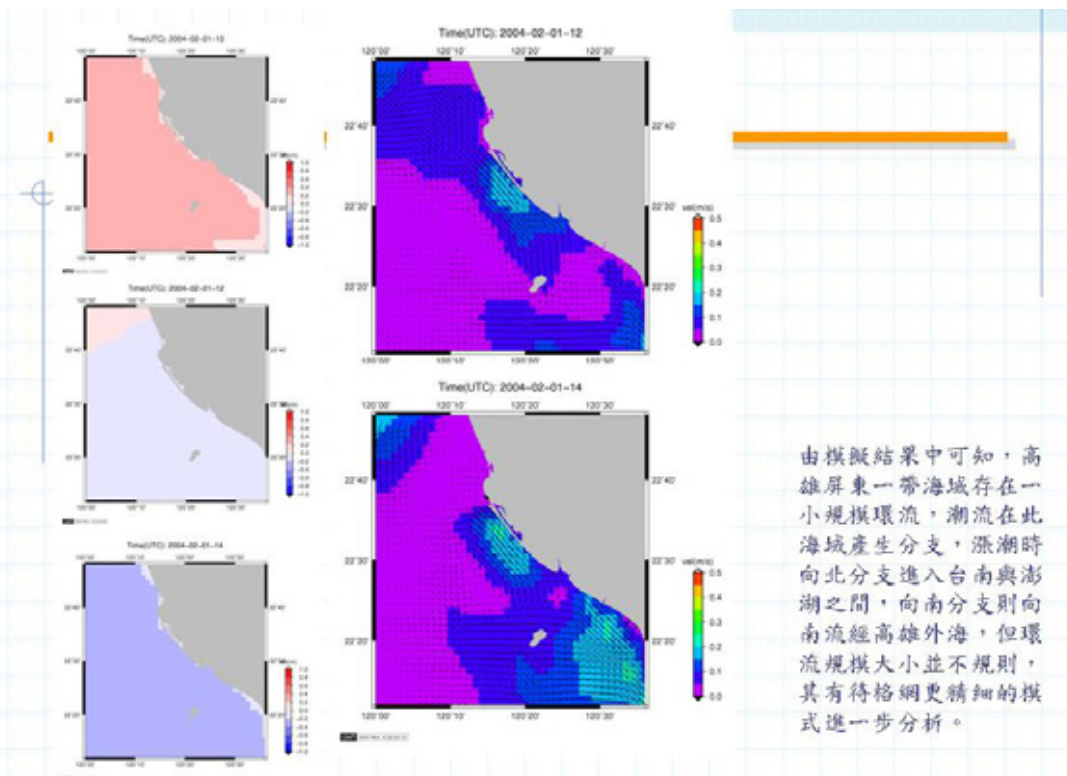
大武海域時序列潮位比較圖



綠島海域時序列潮位比較圖



高雄港附近海域漲潮段流速與水位分佈圖



高雄港附近海域退潮段流速與水位分佈圖

已完成工作項目 (1/2)

- 1) 蒐集研究範圍內數位化水深資料、天文分潮調合常數資料，或以全球潮汐模式提供POM模式所需之邊界潮位資料。
- 2) 蒐集或購買POM模式計算所需之海氣象資料。
- 3) 引進及建置美國普林斯頓大學海洋模式POM，進行模式修改以適用台灣環島海域之海潮流計算，並建置模式計算所需之軟硬體環境。
- 4) 利用自由軟體或商業繪圖軟體，建置POM模式計算之前置與後置處理程式與流程，開發或撰寫所需的相關程序或程式。

已完成工作項目 (2/2)

- 5) 撰寫中文化POM模式操作手冊與作業程序，建立標準模擬流程與展示系統。
- 6) 依後續主計畫「潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究」之需要，建立分析POM模式計算結果之工具。
- 7) 以台灣環島海域海流數值計算模擬為例，完成模式驗證並撰寫實際應用報告，其報告並包括POM模式操作手冊與作業程序。
- 8) 進行模式移轉之技術訓練與必要協助。



附錄B 使用手冊



技術轉移與問題諮詢示意圖

結論

- 本計畫「台灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」，透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，利用其三維模式的特性完成台灣環島海域的海潮流模擬。
- 在軟硬體建置方面，完成計算設備的購置與作業系統環境的設定。在資料蒐集方面，蒐集模擬海潮流所需的海洋水文資料，例如應用於模式邊界條件的海面風場、大氣壓力、溫度與潮位等，與應用於模式起始條件的海洋溫度與鹽度等。
- 在模式建置方面，完成IHMT-POM模式的修改與前後置處理程式的發展。並完成中文化模式操作手冊，供使用者參考。
- 在模式驗證與測試方面，完成理想條件下的風推升水位與淡鹽水混合測試，其模式計算值與理論值符合一致，具有合理性。
- 在模式應用上，也完成台灣附近海域海潮流變化的模擬，其潮位計算值與潮位測站資料的比較下也具有的一致性。在流速模擬上，也可呈現高雄海域特殊的潮流變化現象，但仍須更進一步的驗證其定量特性。
- 依照合約內容，現有計畫執行成果與預定進度相符合，達到本計畫預期目標。