

交通部中央氣象局
委託研究計畫期末成果報告

三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)

計畫類別：氣象 海象 地震

計畫編號：MOTC-CWB-99-0-01

執行期間： 99年 1月 19日至 99年 12月 31日

計畫主持人：于嘉順

執行機構：國立中山大學

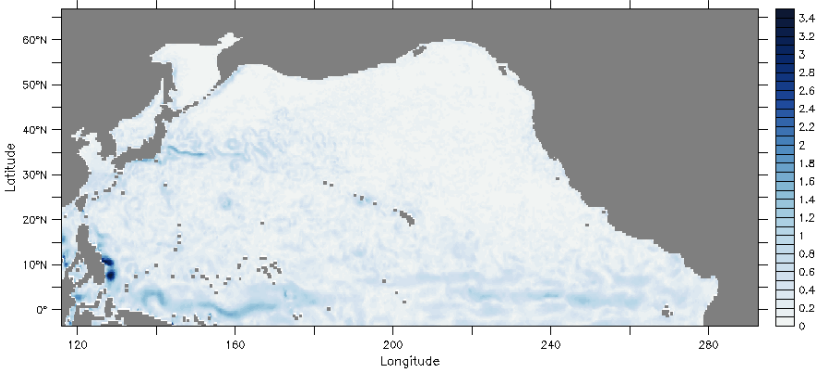
本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

- 赴國外出差或研習心得報告1份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告1份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各1份

中華民國 99 年 12 月 24 日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)		
計畫編號	MOTC-CWB-99-0-01		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立中山大學		
年度	99	執行期間	99.01.19~99.12.31
本期經費 (單位：千元)	4,100		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100	100	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	4,100	4,100	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	于嘉順		陳琬婷、陳沛宏
			江朕榮、余杏儒
			尤皓正、蕭仔芝
報告頁數	162	使用語言	中文
中英文關鍵詞	太平洋環流模式、西北太平洋環流模式、台灣海流模式		
研究目的	<p>海流預報作業一直是海象(洋)預報作業中最為艱鉅的一項工作，亦是近年歐美先進國家中一項積極發展及改進的項目。一方面提供即時預報海流作為航運、遊憩、漁業等公私部門做為規劃管理及作業之參考，另一方面並可隨時提供救難與緊急應變之需。應用現代高速電腦之計算與儲存技術之提高，運用在預報作業的時效與精度，提供有效的即時預警。研發多尺度台灣海域的海洋預報作業模式是急需完成的重點工作。</p>		
研究成果	<p>四年期計畫完成之後，預期可得到以下的成果：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 多尺度台灣海域即時海流預報作業模式將有能力提供高解析度且較準確的海域海流即時資訊予各級政府或民間單位，以規劃各種相關的國防、建設、觀光、資源開發、緊急應變、救援任務與污染防治等政策。 2. 長期海流模擬分析將可提供海洋開發、航運安全、漁業資源及遊憩活動之設計及管理決策之依據。 3. 海流模式在未來可以和大範圍波浪數值預報模式結合做更具有整體性的波浪預報。 <p>目前為第三年進行中，因此完成了太平洋環流模式、西北太平洋環流模式及台灣海域模式，下圖為太平洋環流模式流速示意</p>		

	<p>圖</p> <p>TIME : 03-AUG-2009 12:00</p>  <p>Daily Mean of Velocity(m/s)</p>
<p>具體落實應用情形</p>	<p>太平洋環流模式及西北太平洋環流模式目前以移轉置氣象局 HPC 主機，本年度持續建置台灣海域模式，預計九月份移至氣象局 HPC 主機測試運算，未來整套系統完成之後，可展示台灣海域海流即時預報資訊，提供資訊供政府防救災系統參考，同時也可提供研究計畫相關資料。</p>
<p>計畫變更說明</p>	<p>(若有)</p>
<p>落後原因</p>	<p>(若有)</p>
<p>檢討與建議 (變更或落後之因應對策)</p>	

(以下接全文報告)

計畫摘要

海流預報作業一直是海象(洋)預報作業中最為艱鉅的一項工作，亦是近年歐美先進國家中一項積極發展及改進的項目。一方面提供即時預報海流作為航運、遊憩、漁業等公私部門做為規劃管理及作業之參考，另一方面並可隨時提供救難與緊急應變之需。應用現代高速電腦之計算與儲存技術之提高，運用在預報作業的時效與精度，提供有效的即時預警。研發多尺度台灣海域的海洋預報作業模式是急需完成的重點工作。

本年度為計畫第三年，工作項目如下：

1. 建立及校驗台灣海域細格點模式，模式的範圍需涵蓋 21°N 到 27°N，117°E 到 123°E，其水平網格必須解析台灣沿海複雜之海岸地形，定網格系統不得大於 1/60 度或以非正交網格系統 (FEM 或 FDM)，模式垂直分層以變化地形相對座標 15 層。
2. 校驗太平洋及西北太平洋環流模式
3. 蒐集建置水深地形資料，以提供模式使用。
4. 氣象資料輸入以中央氣象局每日氣象預報資料為主，並取得國際氣象單位提供之氣象資料以資比對。
5. 訂定校正年份與驗證年份，並收集相關資料以資校驗。
6. 預報時效測試與高速計算平行處理測試。
7. 提供初步模式系統的預報案例。
8. 製作模式操作手冊。

本年度完成後可得到以下成果

- (1) 太平洋環流模式
- (2) 西北太平洋環流模式
- (3) 台灣海域海流模式
- (4) 模式操作手冊

Abstract

Ocean current prediction is an important and a challenging task for an operational marine forecasting system. This has been a widely developed subject in recent year internationally. The current prediction model can provide information to various applications, ie coastal structure design, environment management and navigation operation, fishery and recreations. Another potential application of the current prediction is to provide information for rescue and emergency response. Through the aid from high performance computing techniques, ocean current forecasting can efficiently operated by cover a wider domain of operation and with higher resolution of the solutions. Therefore, the development of a multi-scale ocean current forecasting system is necessary.

This is the third year of a four-year project. The major tasks to be achieved are:

1. Developing a current model around Taiwan.
2. Calibration and Validation OCM1(pacific) and OCM2(northwest pacific).
3. Data collection and analysis for model developments.
4. The CWB daily forecast meteorological data must be used as the surface forcing. Met data from other institutions can be used for the calibration.
5. Define the strategies for the model calibrations.
6. Evaluate the efficiencies of the models on parallel computer system at CWB.
7. Provide the example cases for operational runs
8. User manuals for running the ocean circulation models.

Estimated results:

1. The construction of an ocean circulation model for the Pacific Ocean.
2. The construction of an ocean circulation model for the Northwest Pacific Ocean.
3. The construction of a current model around Taiwan.
4. User manuals for these two models

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)」

期末成果報告

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iv
表目錄.....	ix
第一章 計畫背景.....	1
1.1 計畫目的.....	1
1.2 工作項目.....	2
第二章 海洋環流預報作業化模式.....	4
2.1 台灣海洋環流預報作業化模式.....	4
2.2 預報時程規劃.....	8
2.3 模式特性及理論.....	9
第三章 資料收集及分析.....	35
3.1 全球浮標系統(GDP).....	38
3.2 中級解析度成像分光輻射度計衛星影像(MODIS).....	44
3.3 全球溫鹽剖面計畫(GTSPP).....	48
3.4 全球海洋資料同化系統(GODAS).....	51
第四章 太平洋環流模式.....	56

4.1 模式範圍網格及設定	56
4.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力	58
4.3 模式結果.....	59
第五章 西北太平洋環流模式.....	87
5.1 模式範圍網格及設定	87
5.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力	89
5.3 模式結果.....	89
第六章 台灣海域海流模式.....	109
6.1 模式建構.....	109
6.2 模式結果.....	114
6.3 模式模擬範圍調整	138
第七章 台灣海洋環流預報系統效率評估.....	159
第八章 結論與後續工作.....	8-1
參考文獻	
附錄 1 九十九年度驗收標準	
附錄 2 期中審查意見回覆	
附錄 3 成果報告審查意見處理情形表	
附錄 4 績效指標	
附錄 5 佐證資料	

附錄 6 績效報告

圖目錄

圖 2.1.1-1 台灣海流模式預報系統架構圖	5
圖 2.1.2-1 海流模式系統模擬範圍及水深示意圖(淺藍色為水深 200m 內之大陸棚 海域;上圖:太平洋環流模式(OCM1);下圖:西北太平洋環流模式(OCM2); 下圖點線:台灣海域模式(OCM3)).....	7
圖 2.1.3-1 模式系統執行流程	8
圖 2.3.1-1 ROMS 系統架構圖	10
圖 2.3.2-2 ROMS 水平網格變數配置	12
圖 2.3.2-3 ROMS 垂直網格變數配置	13
圖 2.3.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖	16
圖 2.3.2-5 curvilinear 網格示意圖	18
圖 2.3.2-1 ROMS 建置流程圖	20
圖 2.3.3-1 ROMS 執行流程圖	22
圖 2.3.2-1 FVCOM 模式架構圖	24
圖 2.3.2.1-1 FVCOM 之非結構性網格示意圖	29
圖 2.3.2.1-2 σ 座標模式垂直分層示意圖	29
圖 2.3.2.1-3 變數於垂直分層之分布	30
圖 2.3.2.2-1 FVCOM 建置流程圖	32
圖 2.3.2.2-1 FVCOM 執行流程圖	34
圖 3.1-1 Drifter	38
圖 3.1-2 NOAA/AOML 資料庫下載資介面	39
圖 3.1-3 原型和迷你型洞襪式浮標(資料來源: NOAA/AOML 網頁)	40
圖 3.1-4 2009 年 11 月 30 日全球 Drifter 分佈狀況圖	41
圖 3.1-5 1999 至 2008 年裡太平洋區域歷年的有效資料筆數	41
圖 3.1-6 2002 年 1 月施放於台灣附近的 Drifter 軌跡分佈圖	42
圖 3.1-7 歷史浮標(1988~2007 年)四季軌跡圖	42
圖 3.1-8 1999 至 2008 年 1 月太平洋赤道區域月平均溫度分佈圖	43
圖 3.2-1 MODIS 於 2006/8/7 西太平洋區拍攝到三個颱風出現之影像	47
圖 3.2-2 NASA-DAAC 之 MODIS 資料處理分析示意圖	47
圖 3.3-1 GTSP 資料之監控管理流程示意圖(資料來源: NODC/GTSP 網頁)	48
圖 3.3-2 GTSP CMD 測站數量分佈圖(Sun et al., 2009).....	49
圖 3.3-3 GTSP 擬即時之資料處理流程圖(Wilson, 2009).....	50
圖 3.3-4 GTSP 延時資料之處理流程圖(Wilson, 2009).....	51
圖 3.4-1 1980 至 2003 年水位觀測值與 GODAS 水位模擬之相關係數分佈圖(資料 來源: NCEP/GODAS 網頁).....	53
圖 3.4-2 RA6、GODAS 和模擬結果與衛星資料相關係數和均方根誤差分佈圖(資 料來源: NCEP/GODAS 網頁).....	53
圖 3.4-4 GODAS 模擬 2009 年 11 月月平均 SSHA 分佈圖	54
圖 3.4-4 GODAS 模擬 2009 年 11 月深度對經向之月平均 SSHA 分佈圖(資料來源: NCEP/GODAS 網頁).....	54
圖 3.4-3 GODAS 與其它模式預測聖嬰現象之比較圖(資料來源: NCEP/GODAS 網頁).....	55

圖 4.1-1 太平洋環流模式範圍地形圖	57
圖 4.1-2 太平洋環流模式計算點(濕點)配置.....	57
圖 4.3.1-1 現報日日平均海面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	61
圖 4.3.1-2 現報日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	62
圖 4.3.1-3 現報日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	63
圖 4.3.1-4 現報日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	64
圖 4.3.1-5 預報 1 日日平均海平面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	65
圖 4.3.1-6 預報 1 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	66
圖 4.3.1-7 預報 1 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	67
圖 4.3.1-8 預報 1 日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	68
圖 4.3.1-9 預報 2 日日平均海平面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	69
圖 4.3.1-10 預報 2 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM)...	70
圖 4.3.1-11 預報 2 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)...	71
圖 4.3.1-12 預報 2 日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)...	72
圖 4.3.1-13 預報 3 日日平均海平面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	73
圖 4.3.1-14 預報 3 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM)...	74
圖 4.3.1-15 預報 3 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)...	75
圖 4.3.1-16 預報 3 日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)...	76
圖 4.3.1-17 現報日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	77
圖 4.3.1-18 預報 1 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	78
圖 4.3.1-19 預報 2 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	79
圖 4.3.1-20 預報 3 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	80
圖 4.3.1-21 現報日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	81
圖 4.3.1-22 預報 1 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	82
圖 4.3.1-23 預報 2 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	83
圖 4.3.1-24 預報 3 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	84
圖 4.3.2-1 OCM1 於 2009 年 9 月 10 日海表面平均溫度分佈	85
圖 4.3.2-2 OCM1 於 2009 年 9 月 20 日海表面平均溫度分佈	86
圖 4.3.2-3 OCM1 於 2009 年 9 月 30 日海表面平均溫度分佈	86
圖 5.1-1 太平洋環流模式範圍地形圖	88
圖 5.1-2 太平洋環流模式計算點(濕點)配置.....	88
圖 5.3-1 預報 1 日日平均海平面高分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	91
圖 5.3-2 預報 1 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	92
圖 5.3-3 預報 1 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	93
圖 5.3-4 預報 1 日海平面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	94
圖 5.3-5 預報 2 日日平均海平面高分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	95
圖 5.3-6 預報 2 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	96

圖 5.3-7 預報 2 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	97
圖 5.3-8 預報 2 日海平面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	98
圖 5.3-9 預報 3 日日平均海平面高分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	99
圖 5.3-10 預報 3 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	100
圖 5.3-11 預報 3 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	101
圖 5.3-12 預報 3 日海平面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	102
圖 5.3-13 預報 1 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	103
圖 5.3-14 預報 2 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	104
圖 5.3-15 預報 3 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	105
圖 5.3-16 預報 1 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	106
圖 5.3-17 預報 2 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	107
圖 5.3-18 預報 3 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	108
圖 6.1.1-1 模式網格分布	110
圖 6.1.1-2 近岸網格分布	111
圖 6.1.1-3 模式地形分布	112
圖 6.1.2-1 TPXO 分潮 M2 全球資料分布	113
圖 6.2.1-1 水位測站位置	115
圖 6.2.1-2 將軍測站模式水位與實測天文潮之比對	117
圖 6.2.1-3 成功測站模式水位與實測天文潮之比對	117
圖 6.2.1-4 小琉球測站模式水位與實測天文潮之比對	117
圖 6.2.1-5 大武測站模式水位與實測天文潮之比對	117
圖 6.2.1-6 富岡測站模式水位與實測天文潮之比對	118
圖 6.2.1-7 福隆測站模式水位與實測天文潮之比對	118
圖 6.2.1-8 竹圍測站模式水位與實測天文潮之比對	118
圖 6.2.1-9 花蓮測站模式水位與實測天文潮之比對	118
圖 6.2.1-10 後壁湖測站模式水位與實測天文潮之比對	119
圖 6.2.1-11 基隆測站模式水位與實測天文潮之比對	119
圖 6.2.1-12 高雄測站模式水位與實測天文潮之比對	119
圖 6.2.1-13 綠島測站模式水位與實測天文潮之比對	119
圖 6.2.1-14 料羅灣測站模式水位與實測天文潮之比對	120
圖 6.2.1-15 龍洞測站模式水位與實測天文潮之比對	120
圖 6.2.1-16 麟山鼻測站模式水位與實測天文潮之比對	120
圖 6.2.1-17 蘭嶼測站模式水位與實測天文潮之比對	120
圖 6.2.1-18 馬祖測站模式水位與實測天文潮之比對	121
圖 6.2.1-19 麥寮測站模式水位與實測天文潮之比對	121
圖 6.2.1-20 箔子寮測站模式水位與實測天文潮之比對	121
圖 6.2.1-21 澎湖測站模式水位與實測天文潮之比對	121
圖 6.2.1-22 新竹測站模式水位與實測天文潮之比對	122
圖 6.2.1-23 蟬廣嘴測站模式水位與實測天文潮之比對	122

圖 6.2.1-24	石梯測站模式水位與實測天文潮之比對	122
圖 6.2.1-25	蘇澳測站模式水位與實測天文潮之比對	122
圖 6.2.1-26	台中港測站模式水位與實測天文潮之比對	123
圖 6.2.1-27	東港測站模式水位與實測天文潮之比對	123
圖 6.2.1-28	台北港測站模式水位與實測天文潮之比對	123
圖 6.2.1-29	東石測站模式水位與實測天文潮之比對	123
圖 6.2.1-30	淡水測站模式水位與實測天文潮之比對	124
圖 6.2.1-31	永安測站模式水位與實測天文潮之比對	124
圖 6.2.1-32	烏石測站模式水位與實測天文潮之比對	124
圖 6.2.1-33	塭港測站模式水位與實測天文潮之比對	124
圖 6.2.1-34	外埔測站模式水位與實測天文潮之比對	125
圖 6.2.1-35	彭佳嶼測站模式水位與實測天文潮之比對	125
圖 6.2.2-1	模式計算之分潮 M2 振幅分布	126
圖 6.2.2-2	模式計算之分潮 M2 相位分布 (以 GMT 為時間基準)	127
圖 6.2.2-3	模式計算之分潮 K1 振幅分布	128
圖 6.2.2-4	模式計算之分潮 K1 相位分布 (以 GMT 為時間基準)	129
圖 6.2.2-5	模式計算 M2 分潮與實測比對	130
圖 6.2.2-6	模式計算 S2 分潮與實測比對	131
圖 6.2.2-4	模式計算 N2 分潮與實測比對	132
圖 6.2.2-8	模式計算 K2 分潮與實測比對	133
圖 6.2.2-9	模式計算 K1 分潮與實測比對	134
圖 6.2.2-10	模式計算 O1 分潮與實測比對	135
圖 6.2.2-11	模式計算 P1 分潮與實測比對	136
圖 6.2.2-12	模式計算 Q1 分潮與實測比對	137
圖 6.3-1	OCM3 模式範圍調整	138
圖 6.3.1-1	北邊與東邊邊界之半日潮振幅	139
圖 6.3.1-2	北邊與東邊邊界之半日潮相位	139
圖 6.3.1-3	南邊邊界之半日潮振幅	139
圖 6.3.1-4	南邊邊界之半日潮相位	140
圖 6.3.1-5	北邊與東邊邊界之全日潮振幅	140
圖 6.3.1-6	北邊與東邊邊界之全日潮相位	140
圖 6.3.1-7	南邊邊界之全日潮振幅	141
圖 6.3.1-8	南邊邊界之全日潮相位	141
圖 6.3.1-9	調整範圍後，將軍測站模式水位與實測天文潮之比對	142
圖 6.3.1-10	調整範圍後，成功測站模式水位與實測天文潮之比對	142
圖 6.3.1-11	調整範圍後，小琉球測站模式水位與實測天文潮之比對	142
圖 6.3.1-12	調整範圍後，大武測站模式水位與實測天文潮之比對	142
圖 6.3.1-13	調整範圍後，富岡測站模式水位與實測天文潮之比對	143
圖 6.3.1-14	調整範圍後，福隆測站模式水位與實測天文潮之比對	143
圖 6.3.1-15	調整範圍後，竹圍測站模式水位與實測天文潮之比對	143
圖 6.3.1-16	調整範圍後，花蓮測站模式水位與實測天文潮之比對	143
圖 6.3.1-17	調整範圍後，後壁湖測站模式水位與實測天文潮之比對	144
圖 6.3.1-18	調整範圍後，基隆測站模式水位與實測天文潮之比對	144
圖 6.3.1-19	調整範圍後，高雄測站模式水位與實測天文潮之比對	144

圖 6.3.1-20	調整範圍後，綠島測站模式水位與實測天文潮之比對	144
圖 6.3.1-21	調整範圍後，料羅灣測站模式水位與實測天文潮之比對	145
圖 6.3.1-22	調整範圍後，龍洞測站模式水位與實測天文潮之比對	145
圖 6.3.1-23	調整範圍後，麟山鼻測站模式水位與實測天文潮之比對	145
圖 6.3.1-24	調整範圍後，蘭嶼測站模式水位與實測天文潮之比對	145
圖 6.3.1-25	調整範圍後，馬祖測站模式水位與實測天文潮之比對	146
圖 6.3.1-26	調整範圍後，麥寮測站模式水位與實測天文潮之比對	146
圖 6.3.1-27	調整範圍後，箔子寮測站模式水位與實測天文潮之比對	146
圖 6.3.1-28	調整範圍後，澎湖測站模式水位與實測天文潮之比對	146
圖 6.3.1-29	調整範圍後，新竹測站模式水位與實測天文潮之比對	147
圖 6.3.1-30	調整範圍後，蟬廣嘴測站模式水位與實測天文潮之比對	147
圖 6.3.1-31	調整範圍後，石梯測站模式水位與實測天文潮之比對	147
圖 6.3.1-32	調整範圍後，蘇澳測站模式水位與實測天文潮之比對	147
圖 6.3.1-33	調整範圍後，台中測站模式水位與實測天文潮之比對	148
圖 6.3.1-34	調整範圍後，東港測站模式水位與實測天文潮之比對	148
圖 6.3.1-35	調整範圍後，台北測站模式水位與實測天文潮之比對	148
圖 6.3.1-36	調整範圍後，東石測站模式水位與實測天文潮之比對	148
圖 6.3.1-37	調整範圍後，淡水測站模式水位與實測天文潮之比對	149
圖 6.3.1-38	調整範圍後，永安測站模式水位與實測天文潮之比對	149
圖 6.3.1-39	調整範圍後，烏石測站模式水位與實測天文潮之比對	149
圖 6.3.1-40	調整範圍後，塭港測站模式水位與實測天文潮之比對	149
圖 6.3.1-41	調整範圍後，外埔測站模式水位與實測天文潮之比對	150
圖 6.3.1-42	調整範圍後，彭佳嶼測站模式水位與實測天文潮之比對	150
圖 6.3.1-43	2009 年實測資料與不同範圍模式比對之均方根誤差	151
圖 6.3.2-1	海流模式水位與表層流速分布之初始場	152
圖 6.3.2-2	海流模式表層溫度分布之初始場	153
圖 6.3.2-3	海流模式表層鹽度分布之初始場	153
圖 6.3.2-4	海流模式水位與表層流速分布第一天之模擬結果	154
圖 6.3.2-5	海流模式水位與表層流速分布第二天之模擬結果	154
圖 6.3.2-6	海流模式水位與表層流速分布第三天之模擬結果	155
圖 6.3.2-7	海流模式表層溫度分布第一天之模擬結果	155
圖 6.3.2-8	海流模式表層溫度分布第二天之模擬結果	156
圖 6.3.2-9	海流模式表層溫度分布第三天之模擬結果	156
圖 6.3.2-10	海流模式表層鹽度分布第一天之模擬結果	157
圖 6.3.2-11	海流模式表層鹽度分布第二天之模擬結果	157
圖 6.3.2-12	海流模式表層鹽度分布第三天之模擬結果	158
圖 7-1	台灣海洋環流預報系統執行流程	160

表目錄

表 2.3.2-1 FVCOM 模式特點	23
表 2.3.2.1-1 FVCOM 方程式參數說明	28
表 3-1 氣象局提供模式之可用資料(氣象局資訊中心).....	37
表 3.2-1 MODIS 感應器波段(1~19)及其應用表(資料來源：MODIS 網頁)....	45
表 3.2-1 MODIS 感應器波段(20~36)及其應用表(續).....	46
表 6.1.1-1 OCM3 網格垂直分布	109
表 6.2.1-1 測站位置與 2009 年實測與模式水位比對之均方根誤差	116
表 7-1 台灣海洋環流預報系統執行時間及空間使用量	161

第一章 計畫背景

1.1 計畫目的

台灣海域為東亞航運必經之地，近年來的經濟快速開發，台灣對外的航運更趨頻繁，尤其是石化工業的興起，油品及化學品的進出口更增加了海域遭受船難與污染的危機，阿瑪斯號的油污染以及韓籍化學輪三湖兄弟號在新竹外海沈沒所造成的長期影響更是深遠。由於台灣附近海流經過所形成的生態系統豐富，亦是漁產豐盛的海域，近年興起的海面箱網養殖漁業與政府為保護漁業資源在台灣海域投擲大量的人工魚礁，更是易遭受污染的傷害。即時的海流預報作業，不但可以提供航運業者與航管單位即時的海流預報資訊，更可以提供做為早期預警與管理的工具，一旦船難發生時，亦可有立即的海流預報資訊，提供緊急應變單位預測油污染或化學品污染的漂移方向及擴散區域。此外，緊急的海難救助之搜尋工作，亦亟需詳盡的全域三維海流資訊，以提供救難單位即時預測評估搜救對象的可能地點，減低搜尋資源投入的成本，確保搜尋作業時效，因此即時海流預報作業確為緊急應變不可或缺的重要資訊。

近年來世界各地的氣象及海洋學者積極研究全球氣候變遷的問題，尤其是海流及海水溫度對海象及氣象的影響，海流的預報與長期模擬分析更是廣泛的被討論著。台灣附近海域的海流極為複雜，北太平洋環流-「黑潮」流經台灣東部海域，除了強盛的海流亦帶來高溫與高鹽度的海水環境，進入琉球海溝時亦有部分進入台灣北部海域，與來自台灣海峽的海流結合進入東海，每年東北季風期又會阻擾部分的表層洋流而促成黑潮的支流經過台灣南部海域進入南海北部及台灣海峽的南部。除了黑潮洋流的影響，秋冬的東北季風及夏季的西南季風均對台灣附近的海流有相當的影響。在台灣海峽及東海等大陸棚海域，潮汐又是一個主導海流的動力，季節變動所造成的溫度與河水排放的淡水亦會影響海流的分布，颱風所造成的擾動期間雖然不長，但是可以造成非常劇烈的局部影響，因此，為能夠及時提供台灣海域的海流資訊，一套涵蓋大範圍、多尺度、能夠達成預報時效的海流即時預報模式是海象預報作業極為重要的工作。

海流預報作業一直是海象(洋)預報作業中最為艱鉅的一項工作，亦是近年歐美先進國家中一項積極發展及改進的項目。一方面提供即時預報海流作為航運、遊憩、漁業等公私部門做為規劃管理及作業之參考，另一方面並可隨時提供救難與緊急應變之需。應用現代高速電腦之計算與儲存技術之提高，運用在預報作業的時效與精度，提供有效的即時預警。研發多尺度台灣海域的海洋預報作業模式是急需完成的重點工作。

中央氣象局海象測報中心近年來致力於作業化模式的發展，目前已開發使用多尺度作業化潮汐及暴潮水位模式預報範圍，將颱風自形成開始的影響完整的包含在內的大尺度（115E-125E， 20N-30N）水動力數值模式，模式解析度改進為二十分之一度之精度及六十分之一度的台灣沿海模式，並包含深海平均潮、天文

潮、大氣壓力及風場之影響。因此氣象局希望結合國內外三維海流預報模式專家之經驗，建立一套多尺度的臺灣海域海流即時預報作業化模式，模式範圍至少須涵蓋東經 105 度到 150 度，北緯 15 度到 42 度，大部分侵台的颱風影響即可在形成初期納入預報，一方面增加提前預報的時效，另一方面亦可將滯留颱風對臺灣海域海流的影響納入預報，為求較為精確的區域模式計算邊界，建立更大範圍的模式將無可避免。同時在模式發展建置完成後，必須利用氣象局之相關衛星資料、台灣沿岸及浮標等實際量測資料進行校驗。預報模式系統亦必須配合氣象局新進建制之高速計算電腦系統(IBM P5)達成使用至少 256 組 CPU 的平行計算能力，以便達成每日預報時效。

本計畫擬分四年進行：(第一年) 台灣海域即時海流預報作業模式建置可行性評估，訂定未來分年必須達成之工作目標與成果，並收集分析相關文獻與資料，(第二年)建立大範圍(太平洋及西北太平洋尺度，西北太平洋範圍需包含黑潮軌跡)模式，(第三年) 校驗太平洋及西北太平洋環流模式並建立台灣沿海及台灣海峽細格點模式(1/60 度解析度或非正交網格) 與校驗，(第四年)建立模式接合介面，將各種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，提升預報的精度與效率，巢式接合模式平行化作業，中央氣象歷年潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄之分析，長期模擬分析，作業化模式上線參與每日預報作業。

1.2 工作項目

本計畫分四年進行，本年度為第三年：

第一年 97 年(2008)：台灣海域海洋環流及潮流作業預報系統建置可行性評估，模式架構的評估，訂定未來分年必須達成的工作目標及成果。並收集分析相關文獻與資料。

- (1) 蒐集分析目前世界各國作業海洋環流預報模式的發展現況，含數值方法、模式發展、作業策略、資料需求、預報能力及軟硬體相關技術指標等項目。
- (2) 評估及建議中央氣象局台灣海域作業化海洋環流預報模式系統。
- (3) 舉辦與本計畫相關之國際研討會一次，邀請實際負責作業化海流預報之國際專家學者與會，至少需涵蓋歐洲、美國及亞洲太平洋地區等地專家學者各一位，各主持一場演講及討論，所有經費均由本計畫支付。
- (4) 建立國際與國內合作技術與資料交流管道。
- (5) 於中央氣象局高速計算電腦系統測試網路上可公開使用之海流模式，並附完整測試報告。
- (6) 訂定模式發展策略，含各模式範圍、解析度及模式系統的嵌合數量、方式等，提供後續年度目標的詳細資訊。例如：模式動力過程、模式所需資料（氣象及海象）、模式組合或嵌合之解析度及預報的範圍。

第二年 98 年(2009)：參考第一年計畫之評估建議，建立太平洋海域環流模式及北太平洋模式與校驗。

- (1) 建立太平洋模式，模式範圍需涵蓋整個太平洋，水平網格不可大於 1/3 度，模式垂直分層以變化地形相對座標或是等密度分層至少 20 層。
- (2) 建立西北太平洋模式，模式的範圍需涵蓋 20°S 到 67°N，西起 90°E 至 180°E，水平的解析度為 1/8 度，模式垂直分層以變化地形相對座標 20 層。
- (3) 蒐集建置水深地形資料，以提供模式使用。
- (4) 氣象資料輸入以中央氣象局每日氣象預報資料為主，並取得國際氣象單位提供之氣象資料以資比對。
- (5) 訂定校正年份與驗證年份，並收集相關資料以資校驗。
- (6) 預報時效測試與高速計算平行處理測試。
- (7) 提供初步模式系統的預報案例。
- (8) 製作模式操作手冊。

第三年 99 年(2010)：建立西北太平洋區域模式及台灣海域細格點模式與校驗

- (1) 校驗太平洋及西北太平洋區域模式。
- (2) 建立及校驗台灣海域細格點模式，模式的範圍需涵蓋 21°N 到 27°N，117°E 到 123°E，其水平網格必須解析台灣沿海複雜之海岸地形，定網格系統不得大於 1/60 度或以非正交網格系統 (FEM 或 FDM)，模式垂直分層以變化地形相對座標 15 層。
- (3) 蒐集建置水深地形資料，以提供模式使用。
- (4) 氣象資料輸入以中央氣象局每日氣象預報資料為主，並取得國際氣象單位提供之氣象資料以資比對。
- (5) 訂定校正年份與驗證年份，並收集相關資料以資校驗。
- (6) 預報時效測試與高速計算平行處理測試。
- (7) 提供初步模式系統的預報案例。
- (8) 製作模式操作手冊。

第四年 100 年(2011)：建立各層次模式作業化接合介面、模式系統測試與評估、長期模擬測試及分析、作業化模式上線測試，參與每日預報作業與觀測結果比較。

- (1) 測試及校驗各級模式並建立各模式接合介面。
- (2) 測試與評估模式耦合之敏感度至少一年。
- (3) 因應中央氣象局電腦設備之軟硬體，完成模式程式最佳化的設定。
- (4) 模式系統的測試結果與實測或文獻資料比對分析。
- (5) 完成中央氣象局海洋環流作業系統建置及評估報告。

第二章 海洋環流預報作業化模式

本計畫分四年進行：(第一年)台灣海域即時海流預報作業模式建置可行性評估，訂定未來分年必須達成之工作目標與成果，並收集分析相關文獻與資料；(第二年)建立大範圍(太平洋或西北太平洋尺度)模式；(第三年)校驗第二年建立完成的太平洋及西北太平洋環流模式，並繼續建置及校驗台灣沿海及台灣海峽細格點模式(1/60 度解析度或非正交網格)，此為本年度工作重點；(第四年)建立模式接合介面，將各種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，提升預報的精度與效率，評估巢式接合模式平行化作業的成果，分析氣象局歷年潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄資料，進行長期模擬分析，最後完成作業化模式上線參與每日預報作業。

2.1 台灣海流預報作業化模式

2.1.1 台灣海流預報作業化模式架構

參考國際上海流預報系統，規劃了台灣海域海流預報作業化模式系統，整體海洋環流預報作業化模式系統架構如圖 2.1.1-1 所示，主要分為兩個部份，一為模式系統，包括太平洋環流模式、西北太平洋環流模式及台灣海域海流模式，另一部份則為觀測資料系統，包括衛星資料、測站資料、浮標資料及船測資料，用以讓模式進行資料比對，並且可與模式進行資料同化，得到更精確的模式結果。

影響海流的因素相當多，而且各因素的尺度也不同，有全球尺度的大氣因子、洋流及潮流，中尺度的渦流系統，也有受到海岸線及區域地形影響的小尺度因子。為了要將大尺度的影響因素包含進來，模式的模擬範圍需要擴大，而為了解析區域因素，模式網格的精度需要增加，如此條件下，計算的網格數會以數十倍甚至數百倍增加，以目前現有的電腦計算架構，並無法達成此一目標，利用單一網格來模擬海流的狀況是不可能的，因此最好的方式就是利用巢式網格系統，所以在模式系統的部份，本團隊設定了三個階層的網格系統，地形與模式範圍於下一小節描述。

第一層太平洋環流模式(Ocean Circulation Model 1, OCM1)，利用全球大氣模式作為驅動條件，進行太平洋洋流(北太平洋環流及南太平洋環流系統)系統的模擬，結果可作為下一層模式的邊界條件。西北太平洋模式(Ocean Circulation Model 2, OCM2)則將模擬範圍縮小，精度提高，並使用太平洋模式的模擬結果作為邊界條件輸入，模擬此區的流場狀況，如此可將洋流的影響帶入，並且可以模擬中尺度的渦流系統。最後一層則是高解析度但範圍較小的台灣海域模式(Ocean Circulation Model 3, OCM3)，增加台灣海域受潮汐作用下之海流預報，並利用西北太平洋模式(OCM2)的結果，將洋流及渦流的影響帶進此系統，亦可透過此巢狀網格的加密(mesh refinement)機制增加海岸線及海底地形的解析度，得到台灣海域更精確的海流狀況。

模式系統建置完成，需要實測資料進行模式校驗及比對，因此海洋環流預報作業化模式系統架構包含了觀測資料系統。由於模式系統涵蓋的範圍從全球範圍到區域範圍，因此所需要的資料量相當龐大，包括衛星資料 (大範圍)、測站資料 (區域)、浮標資料 (區域)及船測資料 (區域)。取得的資料除了進行模式的比對之外，雖然資料同化部份並非本四年期計畫執行工作，本團隊於計畫期間同時也會嘗試建立資料同化的方法，在下一階段的作業化發展過程可提昇模式作業化預報的精確度。

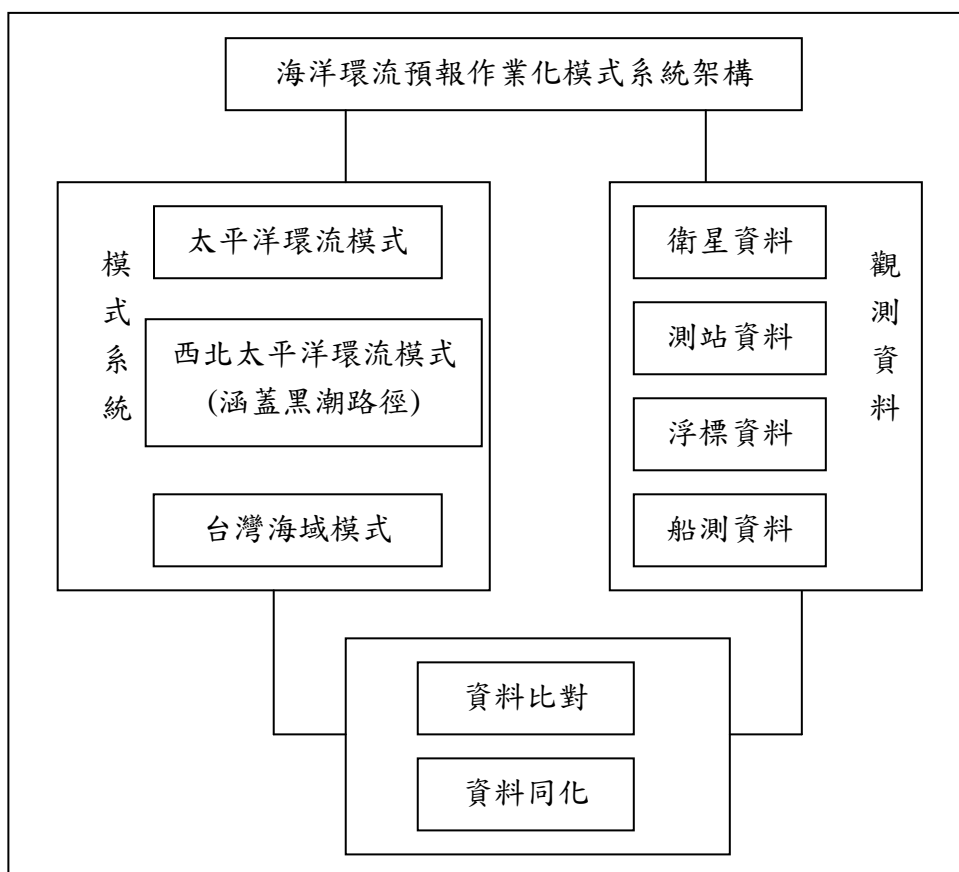


圖 2.1.1-1 台灣海流模式預報系統架構圖

2.1.2 模式地形及網格解析度

圖 2.1.2-1 為海洋環流預報作業化模式系統的地形及範圍示意圖，目前將海洋環流海流模式設定為三個階層，用以解析完整的流場分佈。圖 2.1.2-1 上圖為太平洋環流模式範圍，包含整個太平洋海域，主要用以解析完整的太平洋環流系統，並將影響帶入下一層模式，模式水平網格解析度 $1/3$ 度，垂直分層分層 40 層，邊界條件及初始條件使用全球模式結果引入，氣象條件使用全球氣候模式結果輸入；圖 2.1.2-1 下圖為第二層西北太平洋環流模式，邊界及起始條件輸入利用太平洋環流模式的模擬結果，氣象條件使用全球氣候模式結果輸入，推算更細部的西北太平洋流場，包括黑潮路徑及中尺度的渦流系統，模式水平的解析度 $1/8$ 度，垂直分層 40 層，此兩層將使用 ROMS 海洋環流模式進行模擬；圖 2.1.2-1

下圖中，點線範圍是最後一層台灣海域模式，潮流模式邊界使用全球潮汐模式經衛星測高長期資料同化結果，氣象條件使用氣象局 NFS 模式結果，模式的範圍涵蓋 15°N 到 30°N，105°E 到 130°E，其水平網格必須解析台灣沿海複雜之海岸地形，定網格系統 1/60 度以下或以非正交網格系統 (FEM 或 FDM) 分割，垂直分層 15 層，此層 (OCM3) 將使用 FVCOM 河口海洋模式進行模擬並將 OCM2 計算之環流影響帶入。透過此三層模式的推算，台灣海域模式便可將洋流、潮流及風驅流的影響完整考慮，增加預報的可信度。

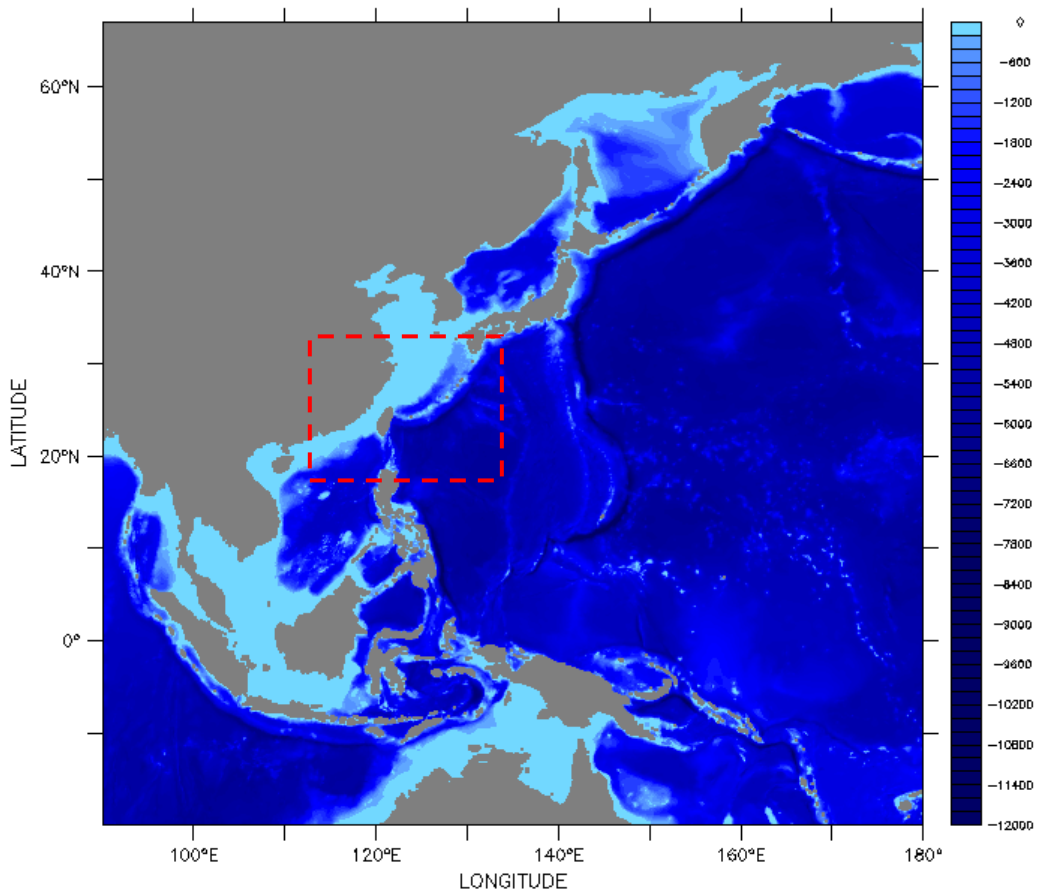
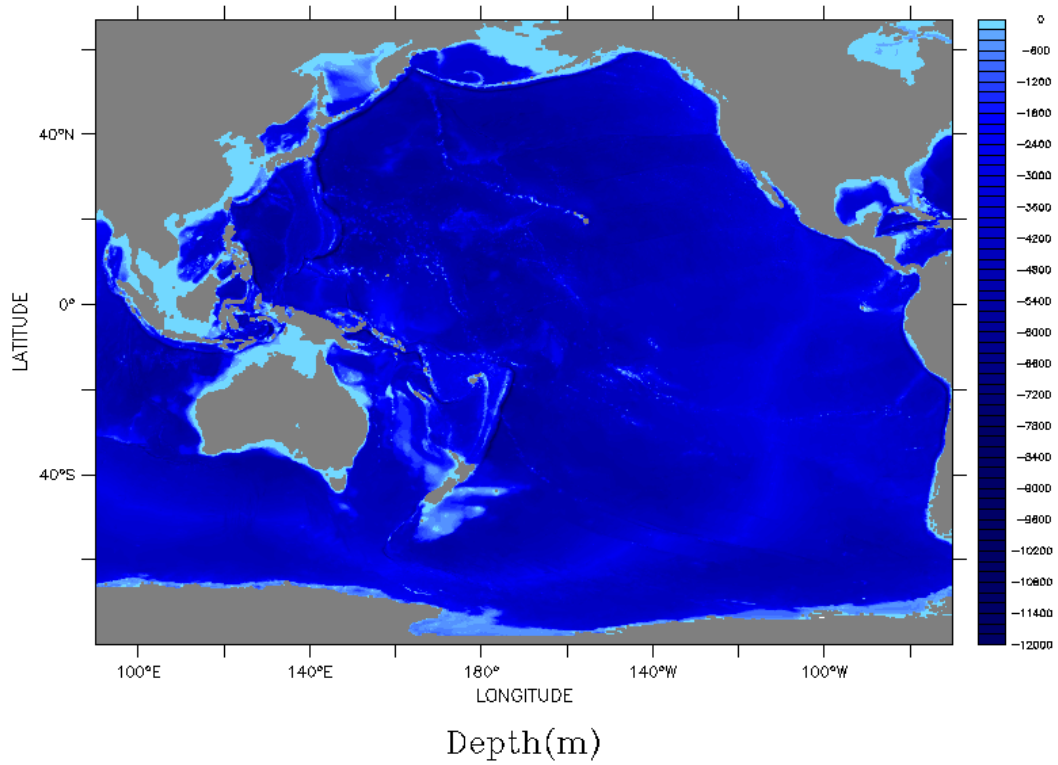


圖 2.1.2-1 海流模式系統模擬範圍及水深示意圖(淺藍色為水深 200m 內之大陸棚海域；上圖：太平洋環流模式 (OCM1)；下圖：西北太平洋環流模式 (OCM2)；下圖點線：台灣海域模式 (OCM3))

2.1.3 模式執行情序

圖 2.1.3-1 為海洋環流模式主要執行情序，模式輸入主要分為兩部份，包含氣象條件(風速、氣壓、氣溫、熱通量...等外部作用力)及水動力條件(河川流量、潮汐、洋流...等作用力，水位、溫度及鹽度等起始條件)。氣象條件必須由大氣模式提供，由於大氣模式考量的變化因子與海洋模式不同，因此在模式的解析度及計算時間間隔也不同，通常網格及時間步長(timestep)會大於海洋模式，所以需要透過前處理程式將時間及空間資料內插至海洋環流模式網格點上才可進行運算，並配合水動力條件輸入，進行 2 維及 3 維場的計算。

模式的輸出，依據本計畫的需求，需輸出水位、三維流場、鹽度及溫度的結果，並利用模式結果配合取得的觀測資料，進行模式的比對及校驗；同時也可以透過模式同化的機制，將觀測資料的結果引入模式同步計算(可修正模式的初始條件)，以修正模式輸出的結果，增加模式的可信度及實用性。

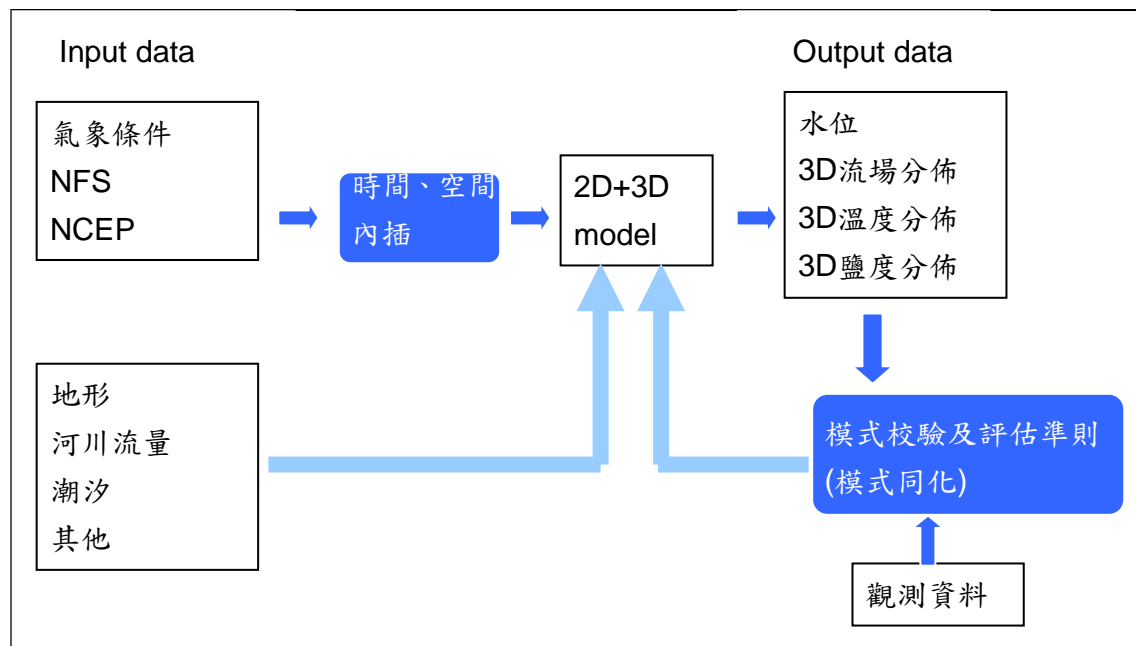


圖 2.1.3-1 模式系統執行流程

2.2 預報時程規劃

台灣海洋環流作業化預報系統建置完成後，最主要的目的便是進行未來的海流預報，不同尺度的模式關注的現象不同，運算的時間也不同，因此配合各模式的特性，原規劃未來模式的作業化時程如下：

- 太平洋環流模式：每月執行一次，現報過去一個月，預報未來一個月。
- 西北太平洋環流模式：每二週執行一次，配合太平洋環流模式現報過去兩星期，預報未來兩個星期

- 台灣海域模式：每天執行一次，現報 24 小時及預報 72 小時

經過去年於氣象局 HPC 進行模式效能測試及磁碟空間評估，由於計算資源及儲存空間不足，因此在與氣象局討論後，決定將預報時程進行更改為短期預報，待未來擴充運算資源後，再將預報時程拉長，更新過後的作業化時程如下：

- 太平洋環流模式(OCM1)：每日執行，現報 24 小時及預報 72 小時，提供初始及邊界資料於下一層。
- 西北太平洋環流模式(OCM2)：每天執行一次，根據 OCM1 提供初始及邊界資料，預報 72 小時，提供環流資料於下一層。
- 台灣海域海流模式(OCM3)：每天執行一次，預報 72 小時

2.3 模式特性及理論

2.3.1 ROMS 模式特性

ROMS (Regional Ocean Modeling System)由 Arango (Rutger Univesity)、Ezer (Princeton University)及 Shchepetkin (UCLA)所領導發展，經費則是由 Office of Naval Research (ONR)及 Ocean Modeling and Prediction Program 所贊助。

ROMS/TOMS 發展的長期目標為可以應用在科學及作業化的領域，而且適用的區域從海岸地區到整個大洋模擬皆可。ROMS/TOMS 兩套系統本質是相同的，唯 ROMS 主要用於科學研究領域，而 TOMS 則應用在模式作業化。為自由表面計算模式系統，垂直座標使用 s 座標系統，且適用範圍相當廣的模式，圖 2.3.1-1 為 ROMS 的系統架構圖，其符合 Earth System Modeling System 架構，可以很容易的與符合此架構的模式進行耦合運算。ROMS 的動態核心包含了四個模式系統，分別是 nonlinear (NLM)、tangent linear(TLM)、representer tangent linear(RPM)及 adjoint (ADM)，此四個模式系統可以藉由不同的驅動方式分開或者同時進行運算。除了上述四個模式系統，ROMS 在資料同化的也提共了兩種狀態的計算方式，分別為 Strong (S4DVAR, IS4DVAR)及 Weak (W4DAVR)，因此 ROMS 在各種狀況的使用是相當靈活的。模式主要有以下特點

- Split-explicit 計算方式
- 水平格點為正交 curvilinear 系統，垂直分層則有 s -coordinate 及 terrain-following (sigma) coordinate 可供設定
- 乾濕點變化計算
- 程式碼使用 F90/F95 撰寫，前處理則使用 C 語言
- 完全的平行化
- 以 Bulk-parameterization (Fairall et al., 1996) 為基礎的海氣交換邊界層，可與大氣模式單向或雙向的整合
- 相當多的前處理及後處理軟體支援
- 有使用者論壇可供使用者交流及討論
- 每年皆會舉辦 workshop 會議，提供世界使用者交流的管道

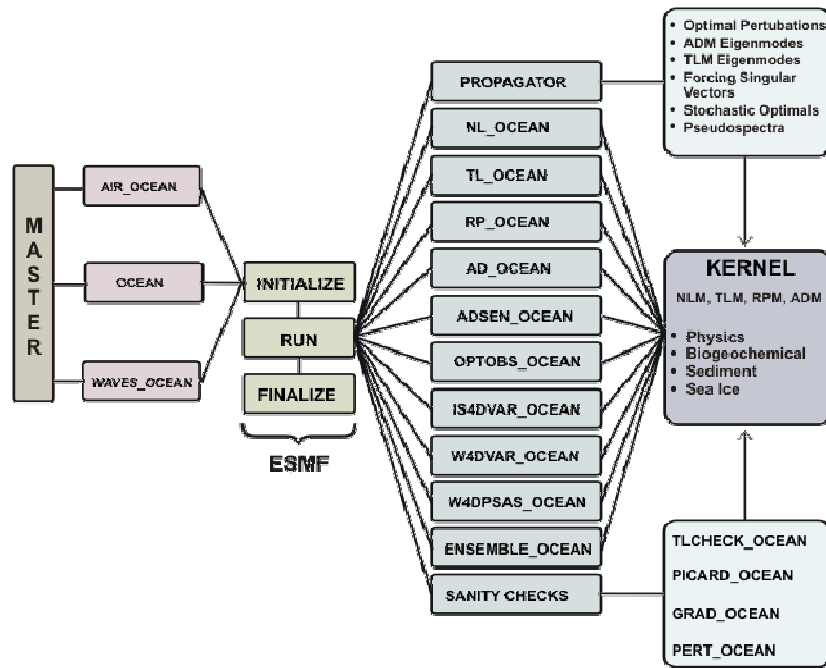


圖 2.3.1-1 ROMS 系統架構圖

2.3.1.1 ROMS 控制方程式

(1) 基本控制方程式

ROMS 原始的控制方程式包含了兩個假設的條件，一為 Boussinesq approximation，即水體內部的密度差異可忽略，及 hydrostatic approximation，垂直壓力梯度力與浮力平衡，以卡氏座標表現方程式如下所述，分別為

連續方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

x 及 y 方向的動量方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \bar{v} \cdot \Delta u - fv &= -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \bar{v} \cdot \Delta v - fu &= -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v \end{aligned}$$

溫度及鹽度擴散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla T &= F_T + D_T \\ \frac{\partial S}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla S &= F_S + D_S \end{aligned}$$

靜水壓平衡方程式

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{-\rho g}{\rho_0}$$

狀態方程式(equation of state)

$$\rho = \rho(T, S, P)$$

上述方程式中 \bar{v} 為流速在水平(u 及 v)及垂直(w)的分量, T 為溫度, S 為鹽度, f 為科氏力係數, ϕ 為動態壓力, P 為總壓力, g 為重力加速度, ρ_0 為水的參考密度, ρ 為水的當地密度, (D_s, D_T, D_v, D_u) 為擴散項, (F_s, F_T, F_v, F_u) 則為外力項。

(2)垂直及水平邊界條件

ROMS 在垂直邊界條件的理論如下,

在表層($z = \zeta(x, y, t)$)

$$\begin{aligned} K_m \frac{\partial u}{\partial z} &= \tau_s^x(x, y, t) \\ K_m \frac{\partial v}{\partial z} &= \tau_s^y(x, y, t) \\ K_T \frac{\partial T}{\partial z} &= \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref}) \\ K_S \frac{\partial S}{\partial z} &= (E - P)S \\ w &= \frac{\partial \zeta}{\partial t} \end{aligned}$$

在底層($z = -h(x, y)$)

$$\begin{aligned} K_m \frac{\partial u}{\partial z} &= \tau_b^x(x, y, t) \\ K_m \frac{\partial v}{\partial z} &= \tau_b^y(x, y, t) \\ \tau_b^x &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})u \\ \tau_b^y &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})v \\ K_T \frac{\partial T}{\partial z} &= 0 \\ K_S \frac{\partial S}{\partial z} &= 0 \\ -w + \bar{v} \cdot \nabla h &= 0 \end{aligned}$$

式中 E 蒸發量, P 為降雨量, Q_T 為表層熱通量, (τ_s^x, τ_s^y) 為表層風剪力, (τ_b^x, τ_b^y) 為底床磨差力, γ_1 為線性底床摩擦係數, γ_2 為二次底床摩擦係數。

模式在進行實際狀況模擬時, 同常在邊界或者是模擬範圍內皆會出現陸地點, 因此水平方向的邊界條件處理便相當重要, 特別是在當邊界不為一直線延伸

時需要進行特別處理，ROMS 在這種條件下增加高階的邊界條件，在東西向以 u 為例表示如下

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h\nu}{mn} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = 0$$

在南北向則表示如下

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h\nu}{mn} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = 0$$

在其他變數 v 、 S 及 T 皆有相似的邊界條件。

(3) 網格變數配置

ROMS 水平網格變數配置採用 Arakawa C 格點位置，如圖 2.3.1.1-2 所示，變數水位(ζ)、密度(ρ)及動態/非動態追蹤點位於網格的中央位置，水平的流速(u 及 v)則位於網格東/西及南/北的邊緣；垂直網格配置如圖 2.3.1.1-3 所示，垂直分層厚度依照不同水深會有不一樣的變化，水平的動量項(流速 u 、 v 、密度 ρ 及動態/非動態追蹤點)分配於往格的中央，垂直接流速(w)及垂直混和變數(A_{kt} 、 A_{kv} ...等)則置於網格上下邊緣。

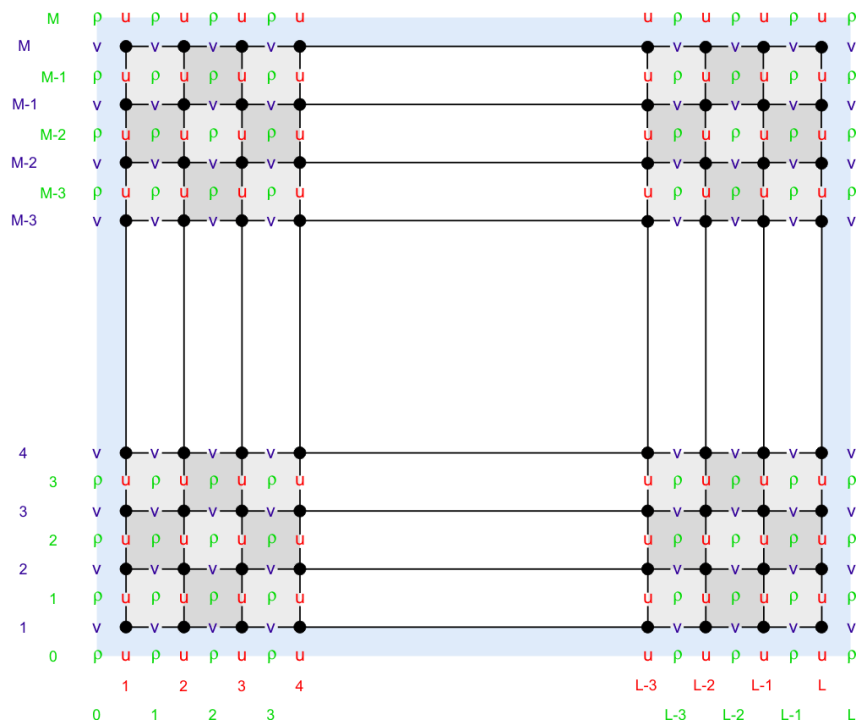


圖 2.3.1.1-2 ROMS 水平網格變數配置

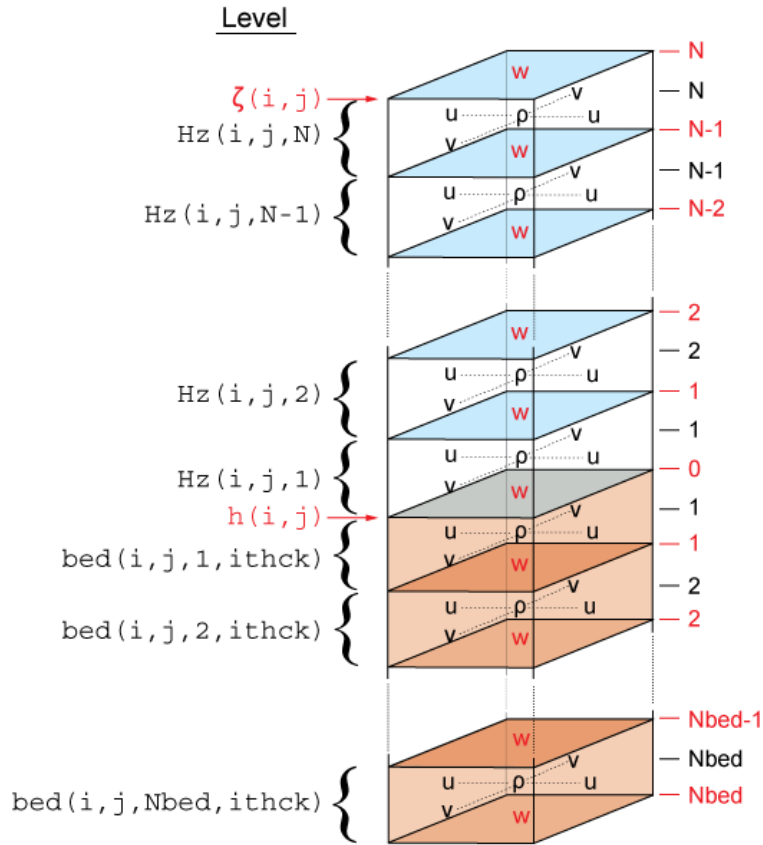


圖 2.3.1.1-3 ROMS 垂直網格變數配置

(4) 垂直 S 座標系統

傳統的 z 座標系統在地形變化很大的地方，會產生網格不連續的現象，因此發展出可依據地形變化等比例分配的地形貼合座標系統(sigma 座標)，此座標系統最早是應用在大氣方面，近年來大型海洋模式亦多使用於地形變化較大的模擬。ROMS 使用的座標系統為 S 座標，此座標系統為 Song 及 Haidvogel (1994) 改進 sigma 座標系統而來，其主要的優點是可使用非等比例進行垂直分層，讓使用者可以針對有興趣的區域進行密度較高的分層，如圖 2.3.1.1-4。以下為 S 座標的定義：

$$\begin{aligned}\hat{x} &= x \\ \hat{y} &= y \\ \hat{t} &= t\end{aligned}$$

$$z = \zeta + \left(1 + \frac{\zeta}{h}\right) [h_c s + (h - h_c) C(s)]$$

$$C(s) = (1-b) \frac{\sinh(\theta s)}{\sinh \theta} + b \frac{\tanh\left[\theta\left(s + \frac{1}{2}\right)\right] - \tanh\left(\frac{1}{2}\theta\right)}{2 \tanh\left(\frac{1}{2}\theta\right)}$$

其中 s 介於 0(表層 ζ)~1(底層 h)之間， (θ, b) 為 S 座標的表層及底層參數， $1 < \theta \leq 20$ ， $0 \leq b \leq 1$ ，當 $\theta = 0$ 則可轉換成傳統的 sigma 座標，藉由調整 b 值則可

增加或減少底層的層數。

兩種不同的座標轉換方式如下

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_z = \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_s \frac{\partial}{\partial s}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_z = \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_s \frac{\partial}{\partial s}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} = \left(\frac{\partial s}{\partial z}\right) \frac{\partial}{\partial s} = \frac{1}{H_z} \frac{\partial}{\partial s}$$

$$\text{其中 } H_z = \frac{\partial z}{\partial s} \text{。}$$

經過上述的座標轉換，ROMS 的動態方程式可以轉換如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} - f v + \vec{v} \cdot \nabla u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} - \left(\frac{g\rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F_u + D_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + f u + \vec{v} \cdot \nabla v = -\frac{\partial \phi}{\partial y} - \left(\frac{g\rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + F_v + D_v$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T = F_T + D_T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla S = F_S + D_S$$

$$\rho = \rho(T, S, P)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = \left(\frac{-g H_z \rho}{\rho_0}\right)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} + \frac{\partial(H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_z v)}{\partial y} + \frac{\partial(H_z \Omega)}{\partial s} = 0$$

其中

$$\vec{v} = (u, v, \Omega)$$

$$\vec{v} \cdot \nabla = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \Omega \frac{\partial}{\partial s}$$

$$\Omega(x, y, s, t) = \frac{1}{H_z} \left[w - (1+s) \frac{\partial \zeta}{\partial t} - u \frac{\partial z}{\partial x} - v \frac{\partial z}{\partial y} \right]$$

$$w = \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \Omega H_z$$

垂直的邊界條件變為，表層(s=0)

$$\left(\frac{K_m}{H_z}\right) \frac{\partial u}{\partial s} = \tau_s^x(x, y, t)$$

$$\left(\frac{K_m}{H_z}\right) \frac{\partial v}{\partial s} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$\left(\frac{K_T}{H_z}\right) \frac{\partial T}{\partial s} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_P} + \frac{1}{\rho_0 c_P} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref})$$

$$\left(\frac{K_S}{H_z}\right) \frac{\partial S}{\partial s} = \frac{(E - P)S}{\rho_0}$$

$$\Omega = 0$$

在底層 ($z = -h(x, y)$)

$$\left(\frac{K_m}{H_z}\right) \frac{\partial u}{\partial s} = \tau_b^x(x, y, t)$$

$$\left(\frac{K_m}{H_z}\right) \frac{\partial v}{\partial s} = \tau_b^y(x, y, t)$$

$$\tau_b^x = (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})u$$

$$\tau_b^y = (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})v$$

$$\left(\frac{K_T}{H_z}\right) \frac{\partial T}{\partial s} = 0$$

$$\left(\frac{K_S}{H_z}\right) \frac{\partial S}{\partial s} = 0$$

$$\Omega = 0$$

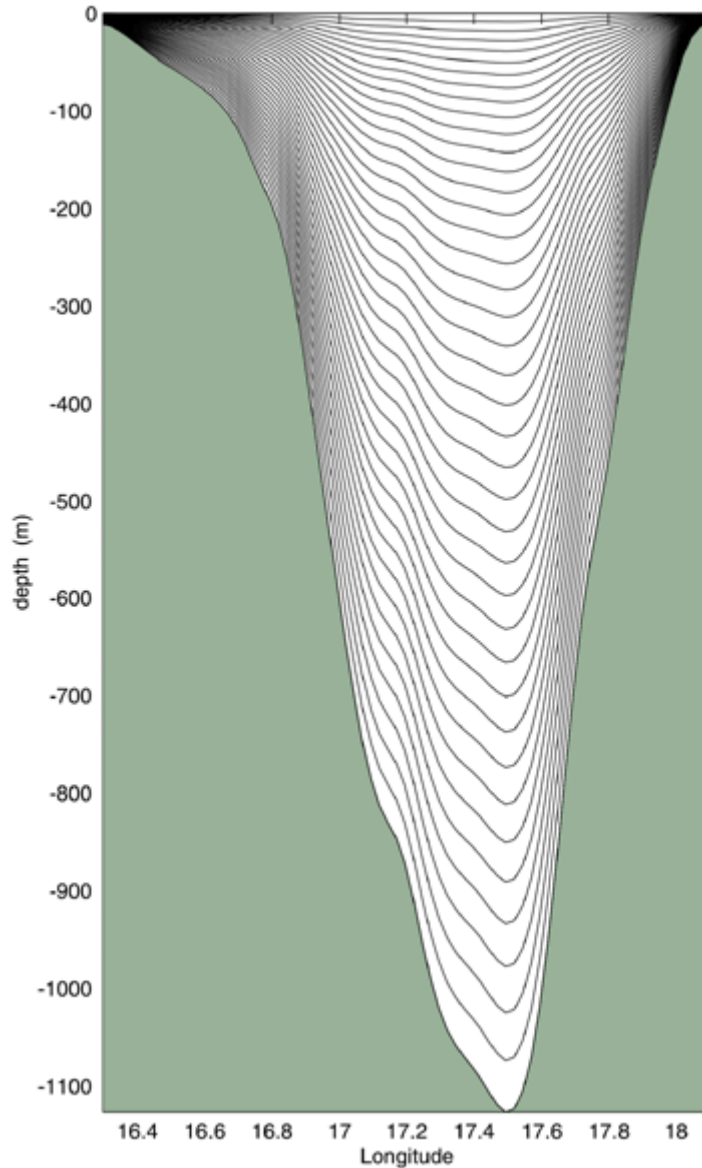


圖 2.3.1.1-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖

(5) 水平 curvilinear 座標

傳統的規則網格，對於計算實際曲折的海岸線，除使用較細微的格點外，無法解析海岸線的變化，尤其是計算海流的運動，因此 ROMS 在水平座標應用可以產生不規則網格的 curvilinear 座標系統解決這個問題，如圖 2.3.1.1-5 所示。

設定新座標軸 $\xi(x, y)$ 及 $\eta(x, y)$ ，則其水平弧長可以定為

$$(ds)_\xi = \left(\frac{1}{m}\right)d\xi$$

$$(ds)_\eta = \left(\frac{1}{n}\right)d\eta$$

其中 $m(\xi, \eta)$ 及 $n(\xi, \eta)$ 比例係數，其與實際的 $\Delta\xi$ 及 $\Delta\eta$ 是有關係的，經果座標轉換，流速項轉入新座標定義如下

$$\bar{v} \cdot \hat{\xi} = u$$

$$\bar{v} \cdot \hat{\eta} = v$$

將上式引入 ROMS 的動力機制，便可得到使用 curvilinear 及 S 座標系統的公式，轉換如下

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z u}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u^2}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z uv}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z u \Omega}{mn} \right) \\ & - \left\{ \left(\frac{f}{mn} \right) + v \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{1}{n} \right) - u \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{m} \right) \right\} H_z v = \\ & - \left(\frac{H_z}{n} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} + \frac{g \rho}{\rho_0} \frac{\partial z}{\partial \xi} + g \frac{\partial \zeta}{\partial \xi} \right) + \frac{H_z}{mn} (F_u + D_u) \\ & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z v}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z uv}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v^2}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z v \Omega}{mn} \right) \\ & + \left\{ \left(\frac{f}{mn} \right) + v \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{1}{n} \right) - u \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{m} \right) \right\} H_z u = \\ & - \left(\frac{H_z}{m} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \eta} + \frac{g \rho}{\rho_0} \frac{\partial z}{\partial \eta} + g \frac{\partial \zeta}{\partial \eta} \right) + \frac{H_z}{mn} (F_v + D_v) \\ & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z T}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u T}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v T}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega T}{mn} \right) = \frac{H_z}{mn} (F_T + D_T) \\ & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z S}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u S}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v S}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega S}{mn} \right) = \frac{H_z}{mn} (F_S + D_S) \\ & \rho = \rho(T, S, P) \\ & \frac{\partial \phi}{\partial s} = - \left(\frac{g H_z \rho}{\rho_0} \right) \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega}{mn} \right) = 0 \end{aligned}$$

其中 z 為 ζ 的線性函數，因此連續方程式可以改寫為

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\zeta}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega}{mn} \right)$$

以上即為使用 curvilinear 及 S 座標 ROMS 的基本水動力方程式。

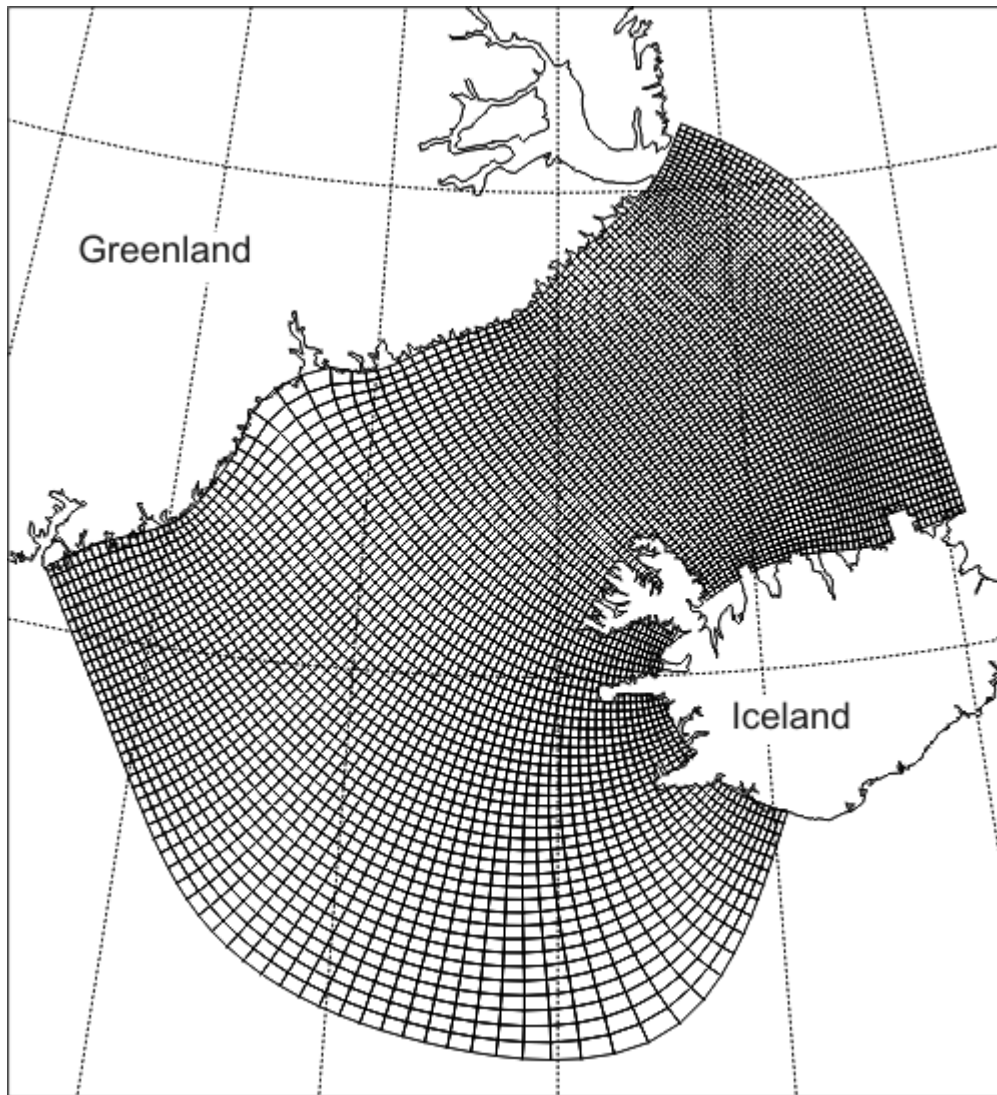


圖 2.3.1.1-5 curvilinear 網格示意圖

2.3.1.2 ROMS 檔案格式說明及建置流程

ROMS 經註冊後由網路下載並解壓縮完成之後，所有檔案皆分門別類放置於專屬的目錄之下，附檔名為.mod 或是.F檔，內容是所有 ROMS 支援的所有變數及模組設定，此部份開發者建議使用者不需更動，使用者只需要在自己的工作目錄下設定完成需要開啟的模組，利用 ROMS 提供的批次檔 (shell script)，便可將使用者所開啟的模組原始檔拷貝到使用者的工作目錄之下，如此便可達到工作目錄與原始檔目錄分開的目的，避免使用者修改最原始的 ROMS 檔案產生後續執行的問題。

執行 ROMS 的主要建置作業流程如圖 2.3.1.2-1，網站下載原始檔解壓縮→使用者建立工作目錄(內含 Build、input、output 資料夾放置模式原始檔及輸出入檔案，此部份命名可由使用者自行定義)→設定*.h 的模組檔，決定開啟的模組 (ROMS 原始檔案資料夾內有提供設定範例，使用者可直接拷貝修改為適合自己的案例)→利用 ncgen 的前處理程式產生模式須要的輸入檔(netcdf 格式)置於 input

資料夾內→設定*.inp 的模式參數輸入檔(與*.h 檔一樣，ROMS 有提供案例檔可供使用者自行修改)→利用 ROMS 提供的 shell script 檔進行編譯，順利完成後便會於使用者工作目錄下產生執行檔→運行執行進行模式運算→完成運算。

<Build>資料夾內為使用者開啟模組的原始程式，使用 ROMS 提供的 shell script 檔案，會利用 C 語言的功能將存放於原始檔內所需要的模組過濾出來，並於<Build>資料夾內重組為*.F90 的檔案，再以 Fortran 90 compiler (需含平行計算介面) 進行編譯，即可於工作目錄下得到執行檔。若使用者因為配合自己設定的案例有修改程式需要，可直接修改<Build>資料夾內檔案並重新編譯即可得到新的執行檔，若發生問題，則在執行 ROMS 的 shell script 檔便可回復原始的 ROMS 設定模組，如此即可達到修改原始程式的目的又不會更改最原始的檔案系統，讓使用者可以隨時回復到最初版本的 ROMS 模組。

<input>資料夾內則放置模式運算所須要的輸入檔案，包括地形網格(*-grid.nc)、驅動力(*-forc.nc)、邊界條件(*-bry.nc)、初始條件(*-init.nc)以及使用者自行定義的變數檔。

<output>資料夾則為模式輸出檔所在的位置，包含重啟動檔案(*_rst)、時序資料檔(*_his.nc)及平均場檔(*_avg.nc)。

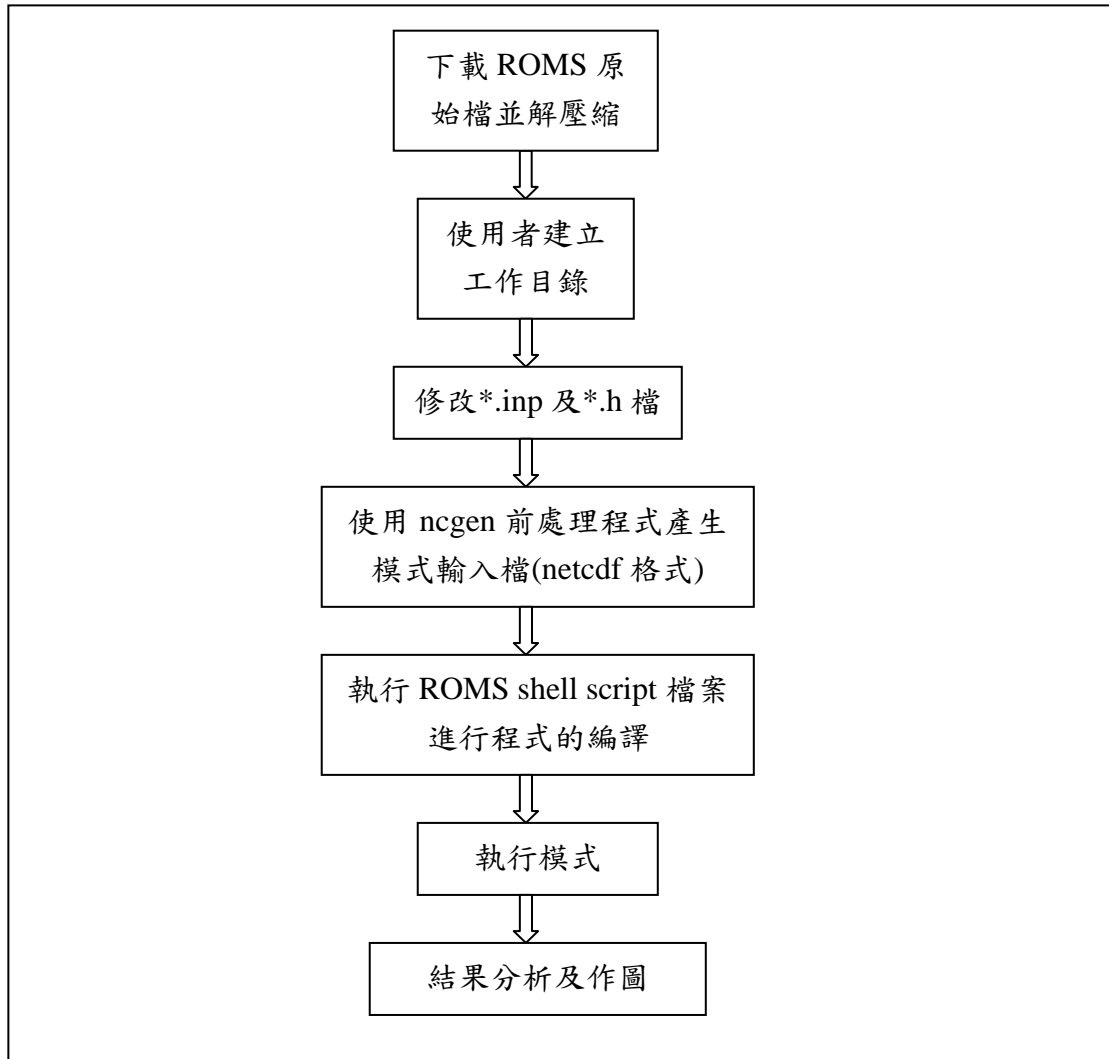


圖 2.3.1.2-1 ROMS 建置流程圖

2.3.1.3 ROMS 執行流程

ROMS 符合 Earth System Modeling System 架構，所以模式執行流程分為三個部份，依序為 INITIALIZE→RUN→FINALIZE，流程圖如圖 2.3.1.3-1 所示。

INITIALIZE 階段，讀入使用者設定的 cpu 數量，接著讀入使用者設定檔(*.inp) 的資訊，包括模式參數、網格數量、輸入檔名稱及輸出檔名稱等相關資訊，利用讀入的水深資料，進行各層厚度計算，最後讀入初始的驅動力資訊(forcing file)。若模式為重啟動狀態，restart 的檔案資訊也在此階段讀入。

RUN 階段為 ROMS 計算的主要階段，包括水位、水流及溫鹽場的計算都在此階段完成。此階段首先計算模式內部計算的時間計數資訊，之後由 netcdf 檔案讀入模式計算所需要的資訊，包括邊界資料、模式初始資料、模式驅動力資料(風剪力、熱通量、降雨蒸發等資訊)，接著再開啟模式結果所要儲存的 netcdf 檔案，以供之後計算結果存入，最後則進入模式計算部份，先進行 2 維動量方程計算，接著 3 維動量方程計算，最後 3 維溫鹽計算，完成 RUN 階段。

FINALIZE 階段，為最後一個部份，寫出模式下一階段啟動所須要的 restart 檔案，並將 RUN 階段開啟的 netcdf 檔案關閉，完成所有步驟結束模式流程。

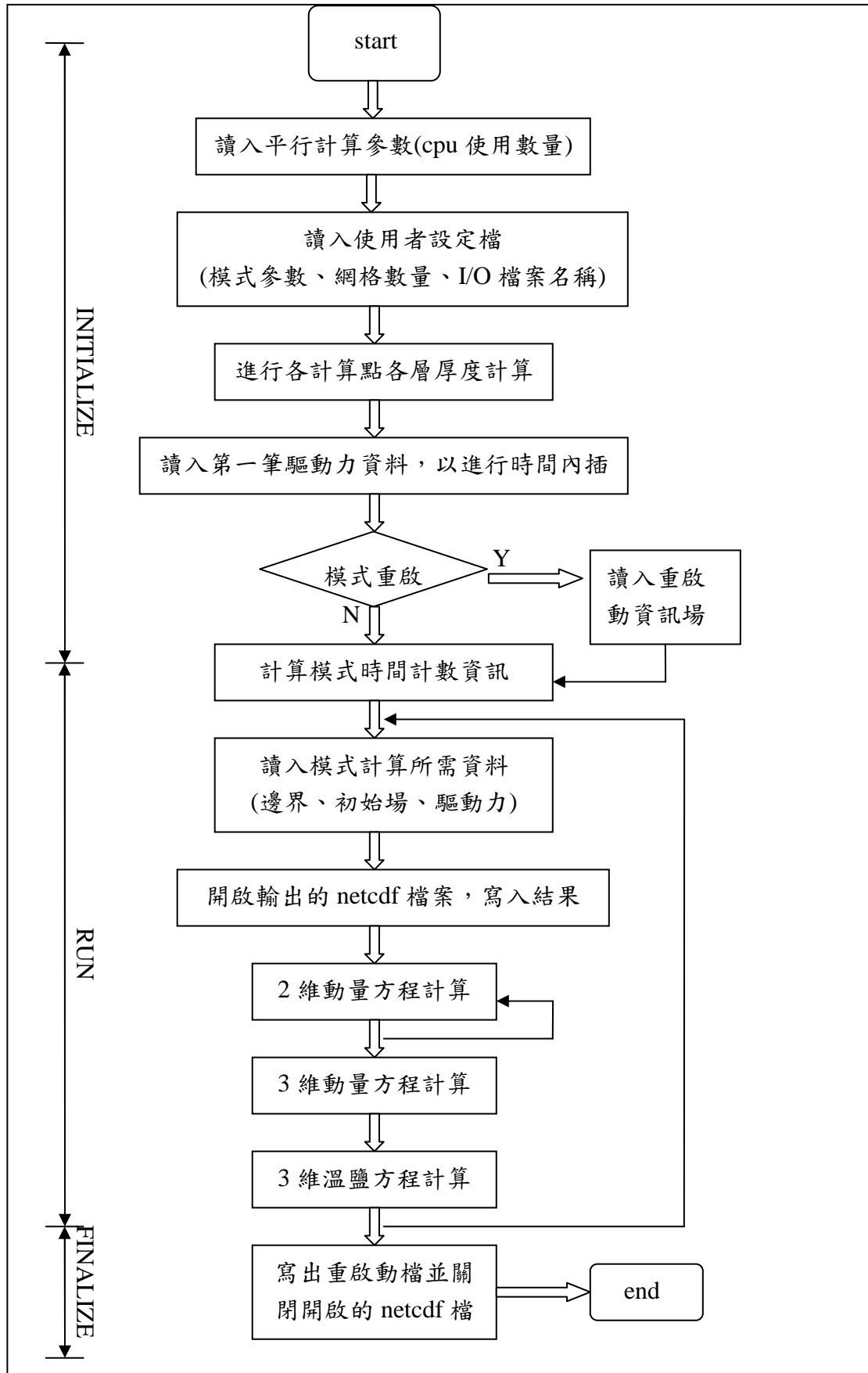


圖 2.3.1.3-1 ROMS 執行流程圖

2.3.2 FVCOM 模式特性

本計劃採用的 FVCOM(Finite Volume Coastal Ocean Model)模式，是為了更容易解析海洋中內陸沙洲及河口、港灣及潟湖等不規則陸地形狀，而發展的三維水理及生態模式。FVCOM 是使用有限元素的非結構性網格設置，且將原有限差分控制方程式離散化，藉有限元素網格計算各元素間通量方程式的變化，以有限體積計算來架構整個模式，並且可同時藉由非結構性網格與自由液面的完整描述，來了解錯綜複雜地形對水理的影響。

FVCOM 模式使用的非結構性網格有限體積法結合有限差分法容易識別及計算效率高的特色，也具備有限元素法幾何靈活性的特徵，提升計算的效率及準確性，同時有效滿足三大守恆定律。模式中流場的劃分使用三角形網格，使用 σ 座標系統(sigma-coordinate system)，在垂直面上呈現相對分層，使全域的垂直座標在[-1,0]之間變化。此方法在垂直面上具有相同的網格數，可隨意分層，且在淺水的部份具有較高的垂向分辨率(如圖 2.3.2.1-3 所示)。因為在河口、近岸海域，水下地形變化劇烈， σ 座標良好的擬合了地形起伏和水面波動，且可以充分反映水體底部地形。本模式目前已在全世界廣泛應用，如 East China Sea、Jiaozhou Bay、Satilla River Estuary、渤海灣京唐港、福建三沙等。

模式架構如圖 2.3.2-1 所示，模式除基本水動力系統外，也包括了生態系統模組、資料同化模組、水質模組、沉積物模組，是一套可應用於多方面的模式系統，其主要特點簡介如表 2.3.2-1。

表2.3.2-1 FVCOM模式特點

	FVCOM 特點
網格系統	1.不規則三角元素網格，可以解析近岸複雜地形之區域 2.垂直方向網格可定義為 Sigma 與 S-coordinate 座標
驅動力	1.包含潮汐、各種氣象資料、河流等
包含模組	1.模組化建構， 包含生物、沉積物、追蹤顆粒與極區冰模組等 2.資料同化模組
其他特點	1.乾濕點的計算(Wet/Dry) 2.GOTM 紊流模式的引入 3.不同邊界演算方法的處理 4.程式以 F90 編寫，並包含平行化處理 5.輸出部份採用 NetCDF 格式，方便後處理之進行

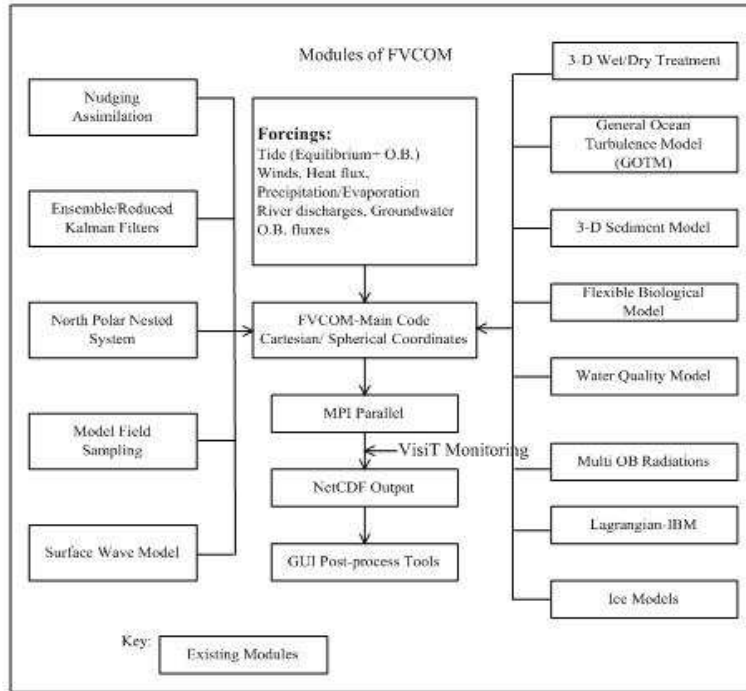


圖2.3.2-1 FVCOM模式架構圖

2.3.2.1 FVCOM 控制方程式

(1) 基本控制方程式

水動力模式的部份包含流場及溫鹽的傳輸，其理論基礎分別為三維的水動力控制方程式及擴散傳輸方程式，原始的運動方程式包含了兩個假設的條件，一為 Boussinesq approximation，及水體內部的密度差異可忽略，另一為 hydrostatic approximation，及垂直壓力梯度力與浮力平衡，以卡氏座標表現方程式如下所述，分別為

連續方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

x 及 y 方向的動量方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_v$$

溫度及鹽度擴散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S$$

靜水壓平衡方程式

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$$

狀態方程式(equation of state)

$$\rho = \rho(T, s)$$

式中 K_m 及 K_h 是利用 Mellor 及 Yamada 2.5D turbulence closer scheme(Mellor and Yamada, 1982)進行參數化。

(2) 邊界層處理

靠近邊界層區域，紊流動能(turbulence kinetic energy)主要由邊界之水平流產生的垂直剪力提供，其主要方程式如下：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q^2}{\partial t} + u \frac{\partial q^2}{\partial x} + v \frac{\partial q^2}{\partial y} + w \frac{\partial q^2}{\partial z} \\ & = 2(P_s + P_b - \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + F_q \\ & \frac{\partial q^2 l}{\partial t} + u \frac{\partial q^2 l}{\partial x} + v \frac{\partial q^2 l}{\partial y} + w \frac{\partial q^2 l}{\partial z} \\ & = l E_l \left(P_s + P_b - \frac{\tilde{W}}{E_l} \varepsilon \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2 l}{\partial z} \right) + F_l \end{aligned}$$

對於 u 、 v 及 w 項，表層及底層的邊界層方程式如下：

$$\begin{aligned} & K_m \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_o} (\tau_{sx}, \tau_{sy}) \\ & w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad \text{在 } z = \zeta(x, y, t) \\ & K_m \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_o} (\tau_{bx}, \tau_{by}) \\ & w = -u \frac{\partial H}{\partial x} - v \frac{\partial H}{\partial y} \quad \text{在 } z = -H(x, y) \end{aligned}$$

對於溫度項，其邊界方程式如下：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{\rho c_p K_h} [Q_n(x, y, t) - SW(x, y, \zeta, t)] \quad \text{在 } z = \zeta(x, y, t) \\ & \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{在 } z = -H(x, y) \end{aligned}$$

對於鹽度項，其邊界方程式如下：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial s}{\partial z} = \frac{s(\hat{p} - \hat{E})}{K_h \rho} \quad \text{在 } z = \zeta(x, y, t) \\ & \frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad \text{在 } z = -H(x, y) \end{aligned}$$

對於紊流動能及紊流尺度，其邊界方程式如下：

$$q^2 l = 0, \quad q^2 = B_l^{2/3} u_{\tau s}^2 \quad \text{在 } z = \zeta(x, y, t)$$

$$q^2 l = 0, \quad q^2 = B_l^{2/3} u_{tb}^2 \quad \text{在 } z = -H(x, y)$$

(3) 垂直 σ 或 s 座標

以卡式座標系統處理底層邊界的差分計算相當繁複且不易，所以為了避免產生這樣的問題，FVCOM使用了 σ 或 s 座標系統，將計算領域中垂直方向的座標，統一化分成固定數目的層數，這樣的處理方式使得差分計算變的容易且易於解析複雜的海底地形。轉換的方式定義如下：

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{H + \zeta} = \frac{z - \zeta}{D}, \quad \text{於表層為 } 0, \text{ 底層則為 } -1$$

將上述方程式中轉換座標為：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Du}{\partial x} + \frac{\partial Dv}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \\ & \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 \zeta}{\partial x} - \frac{gD}{\rho_o} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' \right) + \sigma \rho \frac{\partial D}{\partial x} \right] \\ & + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + DF_x \\ & \frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial vuD}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial v\omega}{\partial \sigma} + fuD \\ & = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gD}{\rho_o} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' \right) + \sigma \rho \frac{\partial D}{\partial y} \right] \\ & + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + DF_y \\ & \frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TuD}{\partial x} + \frac{\partial TvD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) + D\hat{H} + DF_T \\ & \frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SuD}{\partial x} + \frac{\partial SvD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) + DF_S \\ & \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial q^2 uD}{\partial x} + \frac{\partial q^2 vD}{\partial y} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} \\ & = 2D(P_s + P_b - \varepsilon) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) + DF_q \\ & \frac{\partial q^2 lD}{\partial t} + \frac{\partial q^2 luD}{\partial x} + \frac{\partial q^2 lvD}{\partial y} + \frac{\partial q^2 l\omega}{\partial \sigma} \\ & = lE_l D \left(P_s + P_b - \frac{\tilde{W}}{E_l} \varepsilon \right) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_q \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right) + DF_l \\ & \rho = \rho(T, S) \end{aligned}$$

邊界條件方程式的轉換，在 $\sigma=0$ 及 $\sigma=-1$ 時分別為

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{D}{\rho_o K_m} (\tau_{sx}, \tau_{sy}), \quad \omega = 0$$

$$\frac{\partial T}{\partial \sigma} = \frac{D}{\rho c_p K_h} [Q_n(x, y, t) - SW(x, y, 0, t)]$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma} = -\frac{S(\hat{P}-\hat{E})D}{K_h}, \quad q^2 l = 0, \quad q^2 = B_l^{2/3} u_{\tau s}^2$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{D}{\rho_o K_m} (\tau_{bx}, \tau_{by}), \quad \omega = 0$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \sigma} = \frac{\partial s}{\partial \sigma} = 0, \quad q^2 l = 0, \quad q^2 = B_l^{2/3} u_{\tau b}^2$$

水體中擴散控制方程式如下：

$$DF_x \approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$DF_y \approx \frac{\partial}{\partial x} \left[A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2A_m H \frac{\partial v}{\partial y} \right]$$

$$D(F_T, F_S, F_{q^2}, F_{q^{2l}})$$

$$\approx \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(A_h H \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h H \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, S, q^2, q^{2l})$$

表2.3.2.1-1 FVCOM方程式參數說明

$x、y、z$	卡式座標東向、北向及垂直方向
$u、v、w$	為 $x、y、z$ 方向速度分量
T	位溫(potential temperature)
S	鹽度
ρ	密度
P	壓力
f	柯氏力參數
g	重力加速度
K_m	垂直渦旋黏滯係數
K_h	熱垂直渦旋擴散係數
$F_u、F_v、F_\theta、F_s$	動量、溫度及鹽度擴散項
q^2	紊流動能(turbulent kinetic energy)
l	紊流尺度(turbulent macroscale)
K_q	紊流動能的垂直渦旋黏滯係數
$F_q、F_l$	紊流動能及紊流尺度的水平擴散項
$P_s、P_b$	紊流動能的剪力及浮力項
ε	紊流動能的消散率
\tilde{W}	近壁面函數(wall proximity function)
ζ	表面水位變化
H	平均水深
D	總水深($H + \zeta$)
$\tau_{sx}、\tau_{sy}、\tau_{bx}、\tau_{by}$	分別為 x 及 y 方向的表面風剪力及底床剪力
$Q_n(x, y, t)$	表層熱通量，包括向下的短波及長波幅射以及有感(sensible)及潛熱(latent)通量
SW	海表面的短波通量變化
c_p	海水比熱
$\hat{P}、\hat{E}$	降雨及蒸發率
$u_{\tau s}、u_{\tau b}$	與表、底層剪力相關的摩擦力速度

(4) 網格變數配置

圖2.3.2.1-1為FVCOM之非結構性網格示意圖，主要利用三角型網格(三個節點、中央點及三個邊)進行配置，流速點位於中央點，其他變數位於節點之上。垂直方面除垂直流速 w 定義於 σ 層外，其餘變數皆位於每層之中間，如圖2.3.2.1-3所示。

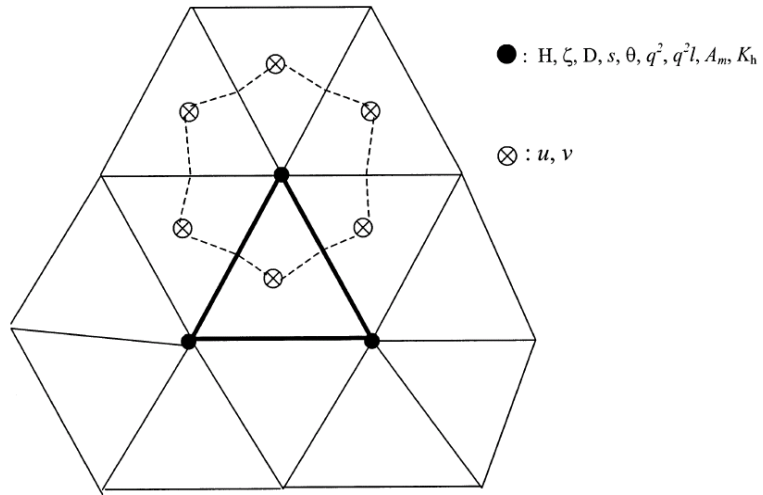


圖2.3.2.1-1 FVCOM之非結構性網格示意圖

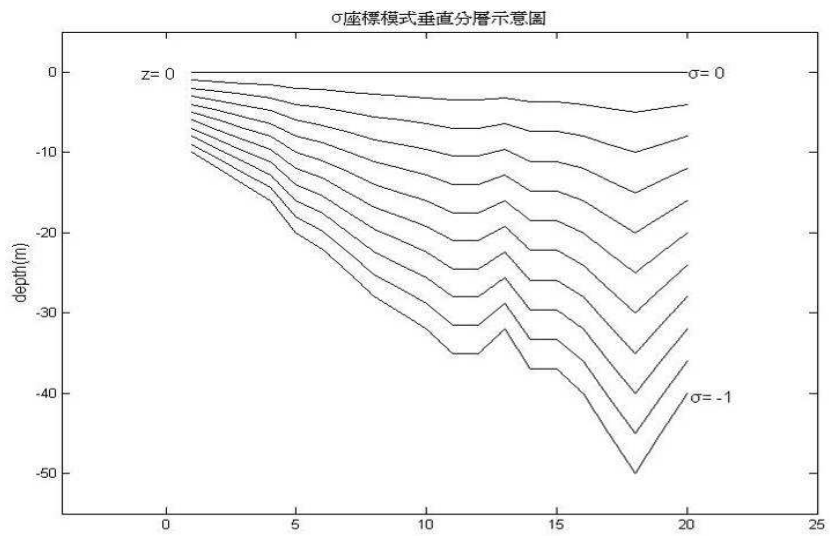


圖2.3.2.1-2 σ 座標模式垂直分層示意圖

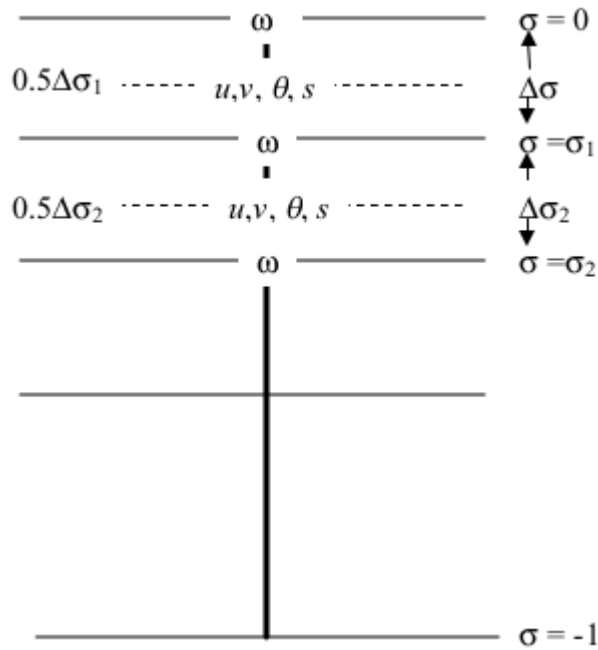


圖2.3.2.1-3 變數於垂直分層之分布

(5) 數值方法及收斂條件

為完整解析海域整體複雜的地形變化，模式採用非結構性三角形網格，可在地形較為複雜或有較高解析度需求的區域任意加密或縮小網格。模式需先以格點產生器，依使用者對網格不同的需求，製作一套三角形網格的系統，以完整探討地形對水體的影響。為能充分表現水體表底層差異，垂直方面是以 σ 座標系統，並依使用者的需求來分層數，以探討是否有溫度、鹽度分層現象產生，此外在時間步階上必須滿足以下的條件：

$$\Delta t_E \leq \frac{\Delta L}{U + \sqrt{gD}}$$

Δt_E 為時間步階， ΔL 為三角形網格最短邊的長度， U 為水平速度， D 為水深。

2.3.2.2 FVCOM檔案格式說明及建置流程

FVCOM 由網路下載完成並解完壓縮後，所有檔案分門別類放置於專屬的目錄之下，除主程式目錄外，說明文件、GOTM 紊流模組、matlab 後處理繪圖程式等皆放置於個別目錄，但 FVCOM 本身並不需設定特定環境變數執行，僅需於編譯時對所需函式庫位置設置，編譯成功後將執行檔複製至工作目錄即可，對應的輸入檔案位置與名稱由參數檔與執行參數控制。

台灣海域海流模式的建置作業流程如圖 2.3.2.2-1，網站下載原始檔解壓縮→使用者建立工作目錄(內含 input、post 資料夾放置模式輸出入檔案，此部份命名可由使用者自行定義)→編譯 METIS 函式庫，該函式庫為 FVCOM 處理非結構性網格時，分配各處理器之網格與節點數目並達到負載平衡之前處理計算函式，需先行編譯完成方可編譯 FVCOM 主程式執行檔 →設定 makefile，藉由程式內預

先定義好的模組，決定開啟的模組，並由 CPP 前處理程式產生程式碼進行編譯，同時設定對應機器的 fortran 編譯器 → 修改參數檔 casename_run.dat，casename 為使用者定義之案例名稱，此參數檔內同時定義輸入檔與輸出檔之資料夾名稱，在此定義為 input 與 post → 透過 mpi script 進行模式運算 → 完成運算。

input 資料夾內則放置模式運算所須要的輸入檔案，包括地形網格、驅動力、邊界條件、初始條件等。

post 資料夾則為模式輸出檔所在位置，內部包含 5 個資料夾，結果之時序資料檔存於 netcdf 資料夾中(casename_0001.nc)。

重啟檔則存於工作目錄下，其檔名為隨模擬步長而改變，如 re_043200.dat。

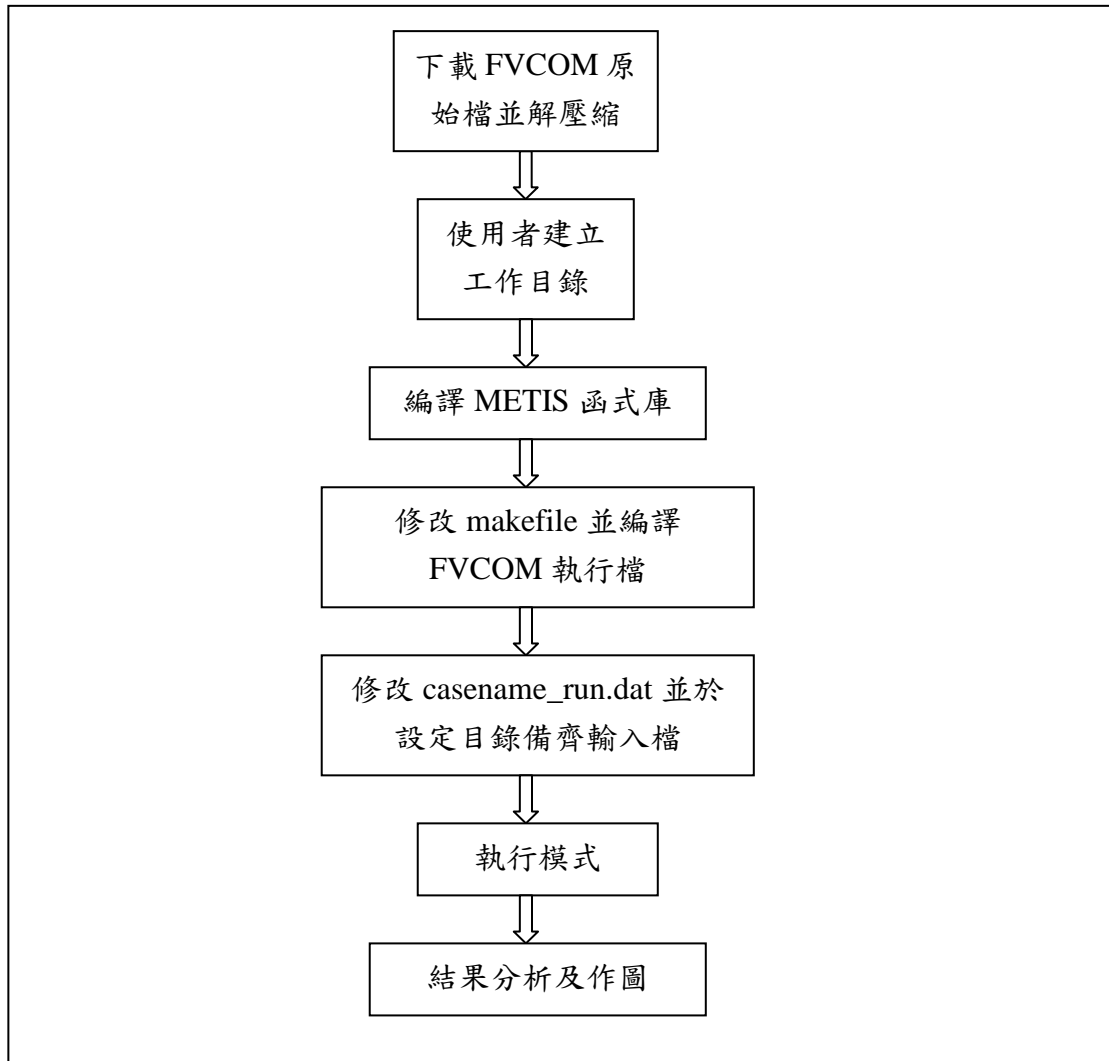


圖 2.3.2.2-1 FVCOM 建置流程圖

2.3.2.3 FVCOM 執行流程

FVCOM 模式執行流程與大部分的模式類似，可分為三個部份，依序為 INITIALIZE→RUN→FINALIZE，流程圖如圖 2.3.2.3-1 所示。

INITIALIZE 階段，讀入使用者設定的 cpu 數量，接著讀入使用者設定檔(參數檔 casename_run.dat)的資訊，包括模式參數、網格數量、輸入資料夾與輸出資料夾名稱等相關資訊，利用讀入的網格資料，分配各處理器之計算點，以達成各處理器之計算負載平衡，再讀入所有驅動力資訊(forcing file)。若模式為重啟動狀態，restart 的檔案資訊也在此階段讀入。

RUN 階段為 FVCOM 計算的主要階段，包括水位、水流及溫鹽場的計算都在此階段完成。此階段首先計算模式內部計算的時間計數資訊，之後由輸入資料夾中之檔案讀入模式計算所需要的資訊，包括邊界資料、模式初始資料、模式驅動力資料(風剪力、熱通量、降雨蒸發等資訊)，接著再開啟模式結果所要儲存的 netcdf 檔案，以供之後計算結果存入，最後則進入模式計算部份，先進行 2 維動

量方程計算，接著 3 維動量方程計算，最後 3 維溫鹽計算，完成 RUN 階段。

FINALIZE 階段，為最後一個部份，寫出模式下一階段啟動所須要的 restart 檔案，並將 RUN 階段開啟的 netcdf 檔案關閉，完成所有步驟結束模式流程。

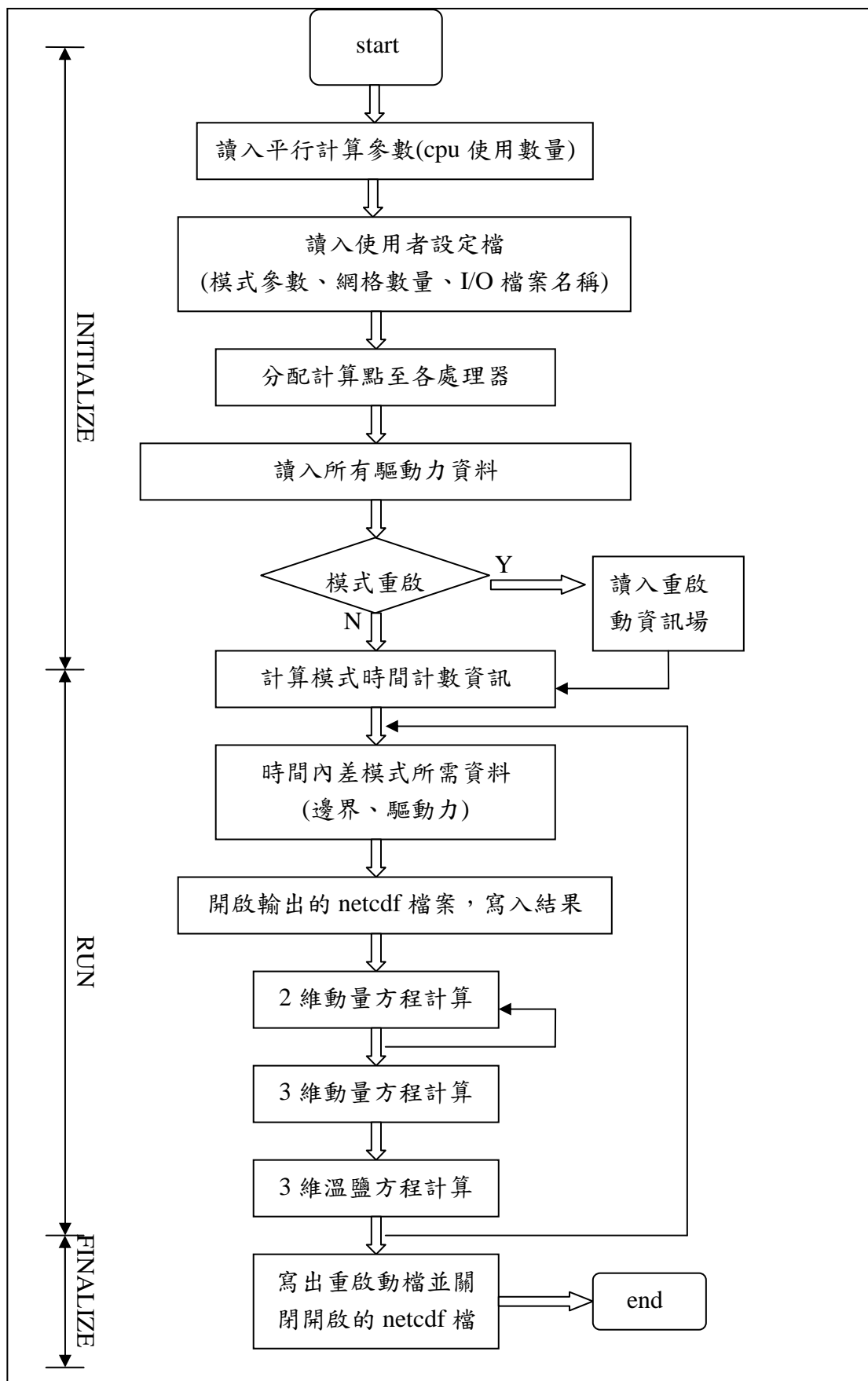


圖 2.3.2.2-1 FVCOM 執行流程圖

第三章 資料收集

模式建置完成後，需要利用實測資料進行比對及校驗，由於本系統包含三層模式，模擬範圍由全球至台灣海域，因此需要的資料相當多，以下列出本團隊已取得及氣象局可取得資料，包括模式需求資料及可供比對的觀測資料。

資料統計

- 地形資料：ETOPO5、ETOPO2、ETOPO1。
- 模式外部驅動力 (External forcings)
 - 氣象資料 (即時氣象預報資料)：輻射熱能(長短波)及雲遮量、表面風場 (10 米風速及風向)、氣壓場、氣溫、濕度、降雨量、蒸發量
 - ◆ NCE Reanalysis 重分析場
 - ◆ NCEP GFS 預報場(NA05)
- 初始及邊界條件：
 - HYCOM
 - 河川流量(Global River Discharge Database、水文年報)
 - 潮汐(TOPEX)
- 校驗資料：
 - 水位：氣象局潮位站、TOPEX altimeter、GODAS、HYCOM
 - 水溫：MODIS、GDP、GTSP、GODAS、HYCOM
 - 鹽度：GTSP、GODAS、HYCOM
 - 海流：GDP、HYCOM

地形資料使用，太平洋環流模式解析度為 1/3 度，使用 ETOPO5 的地形資料建置；西北太平洋解析度為 1/8 度，使用 ETOPO2 的地形資料建置；最內層的舞台海域流場模式於今年建置，地形資料目前規劃使用 ETOPO1 地形資料。

表 3-1 為氣象局資訊中心所能的提供的大氣模式，就資料空間解析度以及時間密度統計，以 NCEP 大氣模式最為足夠，因此做為太平洋環流模式及西北太平洋環流模式的驅動力，由於氣象局本身接收 NCEP GFS 資料並未同步接收熱通量資料，因此本團隊從今年起由 NOAA NOMAD data server 下載熱通量資料，作為模式驅動力的主要來源，同時其可提供最少 180 小時的預報資料，因此可以滿足目前規劃之短期預報架構。

目前規劃的海流模式預報系統屬於大範圍為太平洋區域及西北太平洋海域，若模式初始值從零開始驅動，需要相當長的時間即計算資源才有可能達到穩定，因此利用更大範圍的全球模式計算結果作為初始條件，減少初始穩定時間，增加預報效率。目前較常使用的模式起始條件為 LEVITUS 資料，然此資料的網格點過大，解析度不足，資料筆數不夠密，需要長時間的反覆運算及校驗方可使用；近幾年來美國海軍研究中心 (NRL) 發展 HYCOM 模式應用增加，已進行全球海洋的現報模擬，公開提供每日平均資料，由 2003 年持續至現在，網格解

析度為 1/12 度，在資料時空的解析度更為豐富，因此本研究以 NRL 提供之每日現報資料經內差後做為太平洋環流模式 (OCM1) 短期預報之啟始資料，邊界條件也同步使用 HYCOM 資料進行建置；西北太平洋模式 (OCM2) 則使用太平洋環流模式的結果；最內層的台灣海域海流模式 (OCM3) 計算也包含潮汐邊界及河川流量(大陸地區由 Global River Discharge Database 取得，台灣地區河流則由水文年報統計取得)並納入西北太平洋模式計算結果修正洋流的影響。

觀測資料的部份同時有面的資料及單點測站資料。面的資料主要來源為衛星資料(MODIS 海表面溫度)及模式搭配資料同化的結果(HYCOM 及 GODAS)。單點資料最缺乏的為鹽度資料及海流資料，目前海流資料僅有 GDP(Global Drifter Program)，鹽度資料目前持續努力收集中，水溫資料則可透過氣象局測站、GDP 及 GTSP(Global Temperature and Salinity Profile Program)取得，各實測資料的特性之後章節介紹。

模式比對部份，分面及點的結果比對，太平洋環流模式及西北太平洋環流模式範圍過大且網格點較粗，與近岸測站進行點對點的比對意義較小，因此會採用面的資料，選定特定區域，如赤道範圍及黑潮路徑，進行趨勢性的比對，包括海表面水位、溫鹽分佈及海流狀況；台灣海域海流模式範圍小，且解析度高，因此可利用氣象局的測站資料進行點對點的比對，包括水位及流速。

表 3-1 氣象局提供模式之可用資料(氣象局資訊中心)

模式名稱	解析度	區域	可用資料
ECMWF (EC01)	2.5x2.5	全球	1. 海平面氣壓 2. 850hPa 之溫度、風速及相對濕度
JMA GPV_GSM (JG06)	0.5x0.5	全球	1. 海平面氣壓及氣溫 2. 表面降雨及雲遮量 3. 2 米高之氣溫及相對濕度 4. 10 米高之風速
NCEP(NA01)	5x5	全球	1. 海平面氣壓及氣溫 2. 1000 及 850hPa 之溫度、風速及相對濕度
NCEP(NA03)	1.25x1.25	全球	1. 海平面氣壓 2. 1000 及 850hPa 之溫度、風速及相對濕度
NCEP AVN (NA05&NA09)	0.5x0.5	全球	1. 海平面氣壓及氣溫 2. 1000 及 850hPa 之溫度、風速及相對濕度 3. 2 米高之相對濕度 4. 10 米高之風速 5. 總降雨量 6. 反射率 7. Latent 及 Sensible 熱通量
NCEP(NA07)	1x1	全球	海平面氣溫
NOGAPS	1x1	全球	1. 海平面氣壓 2. 總降雨量,Latent 及 Sensible 熱通量 3. 2 米高之相對濕度 4. 10 米高之風速
UK(UK01)	1.25x1.25	全球	1. 海平面氣壓 2. 地表氣溫、風速及總降雨量 3. 1000hPa 之相對濕度
JMA GPV_RSM (JRNA)	0.25x0.2	20N~50N 120E~150E	1. 海平面氣壓 2. 表面降雨及雲遮量 3. 2 米高之氣溫及相對濕度 4. 10 米高之風速
JMA 海溫模式	0.25x0.25	0.125N~59.875N 100.125E~179.875E	海表面溫度
JMA MSM (二)	0.0625x 0.05	22.4~47.6 120E~150E	1. 海平面氣壓 2. 表面降雨及雲遮量 3. 1.5 米高之氣溫及相對濕度 4. 10 米高之風速

3.1 全球浮標系統(GDP)

GDP(Global Drifter Program)中所使用的浮標稱為 Drifter(圖 3.1-1),即是利用衛星定位之技術紀錄移動軌跡的表面漂流浮標(Lumpkin and Pazos, 2006)。GDP 隸屬於 NOAA/GOOS(Global Ocean Observing System)和 DBCP(Data Buoy Cooperation Panel),主要是為了增加混合層中關於海流、海水表面溫鹽、大氣壓力等的觀測資料密度以提供相關研究學者進行短期(季至年際之間)天氣預測、研究與監測之用。



圖 3.1-1 Drifter

NOAA/AOML(Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory) 提供浮標資料下載,其介面如圖 3.1-2,其中除了 Drifter,另有可棄式溫深儀(XBT, Expendable Bathythermograph)、溫深鹽測定儀(CTD)與 Hurricane Bouy 等可供使用,其資料數據方面有 ASCII 格式,圖形有 PDF 檔與 GIF 檔可供選擇;下載資料區域與時間亦可由使用者自行限制。

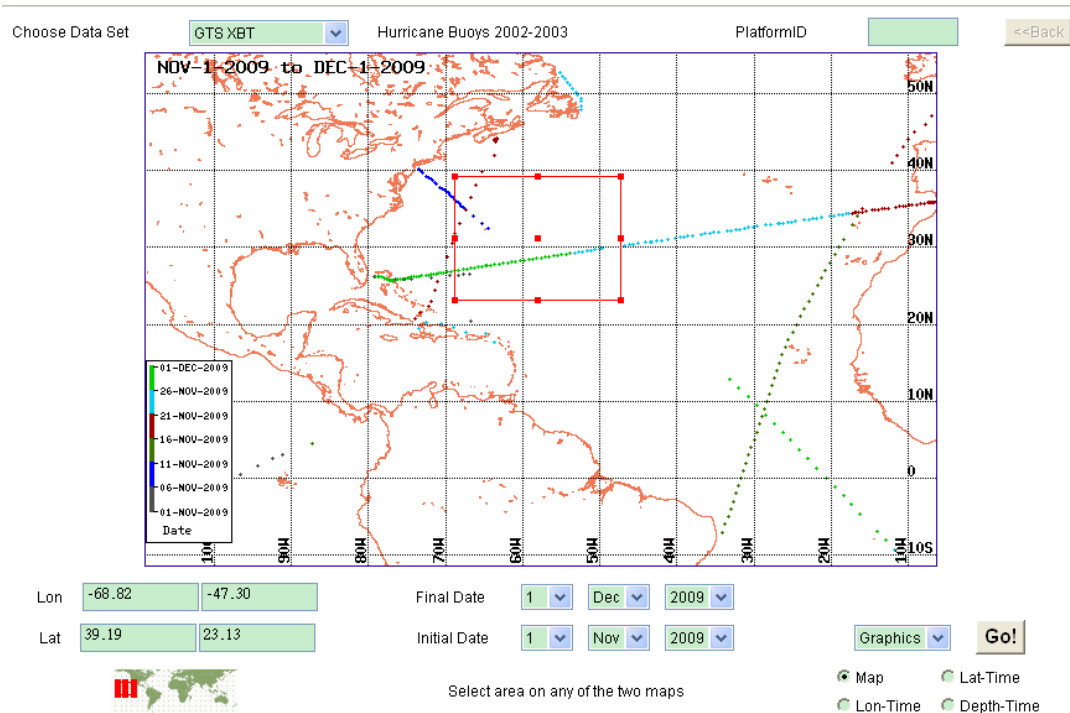


圖 3.1-2 NOAA/AOML 資料庫下載資介面

由全球海洋環流實驗(The World Ocean Circulation Experiment, WOCE)所發展出來的 Drifter，又稱洞襪式浮標(Holey Sock Drifter)，其定位方法是採用 Argos 衛星傳輸系統。Argos 是一種資料收集、處理和提供的衛星定位系統，相似於 GPS(Global Positioning System)定位系統，但不同之處是其採用都卜勒頻率偏移效應來定出發報器的位置，其精確度約為 350 公尺，定位時間間隔從 15 分鐘到幾小時不等，此系統的優點是平均每天的用電量較 GPS 系統省電，只要消耗數毫安培，微型化的發報器模組僅 17g。Drifter 的特性如下：

- 拖傘(Drogue)受海流的拖曳力遠大於風和浪對浮球的作用力。
- 表面浮球(Surface Float)為玻璃纖維圓球，內有電池組、發報器、天線、溫度感應器等裝置。
- 以纜繩連接球體與托傘。
- 拖傘由尼龍布製成，其中心深度為 15 公尺，以測量在海洋表層混合層中的海流。
- 資料間隔為 6 小時一筆。
- 以纜繩拉力感測與海水導電感應器來偵測浮球與拖傘是否分離。
- 可記錄海水表層溫度(SST)。

洞襪式浮標有原型和迷你型兩種(圖 3.1-3)，主要為大小上的差異，原型有表面浮球和次浮球，原型浮球直徑為 30.5 到 40cm，托傘由上至下以圓環形塑膠管分為七層，總長度為 6.44m，每層 92cm 長，直徑 92cm，重 45kg。迷你型浮球直徑為 38cm，托傘分為 4 層，總長度為 4.88m(6.1m)，重 20kg，每層 1.22m 長，直徑 61cm。托傘每層有兩個圓洞相對，相鄰兩層的圓洞為 90 度交錯。

托傘在浮標佈放前是以溶於水的紙膠帶捆綁起來以縮小體積方便施放，連接

球體與托傘的纜繩也會捲在溶於水的厚紙板圓弧上，避免其下水前後扭結在一塊，浮標施放前得先將浮球上的磁鐵移除，使其磁力開關打開並開始發送信號，下水經一小時以上後，托傘和纜繩便會完全施展開來，承受其設計深度中心水深 15 公尺左右的海流拖曳力。浮標可在船速最大 25 節，距海平面 10 公尺以下的甲板上進行佈放。

Drifter 資料由 AOML/DDAC (Drifter Data Assembly Center) 收集，並做資料品質管(Quality Control, QC)，刪除浮標擱淺、托傘脫落、被漁夫撈走和在船上未佈放前的位置，採用「Kriging」的內插方法消除極端錯誤的資料後內插成為 6 小時間隔的資料(Hansen and Poulain, 1996)，再經由 0.5 天的位移量取中心點有限差分(centered finite differences)的東西向與南北向速度分量。此資料庫所蒐集浮標流速的精確度在 10m/s 的風作用下，誤差在 0.01m/s 左右(Niiler et al.,1995)。

圖 3.1-4 為 2009 年 11 月 30 日全球 Drifter 分佈狀況圖，其顯示每天都有大量的 Drifter 被施放至各大洋中，根據 NOAA/AOML 浮標資料庫的紀錄顯示，自 1979 年便開始有 Drifter 的資料，由於以往對於海洋的研究大多依靠船舶量測及資料浮標等現場觀測的方式，常受限於人力與經費的限制，但相較使用 Drifter 測量海洋相關資訊，成本較低，空間密度亦較高，故施放 Drifter 的數量愈來愈多，見圖 3.1-5，其顯示 1999 至 2008 年裡太平洋區域(100°E~120°W, 80°N~80°S) 每年的有效資料筆數愈來愈多的情況。

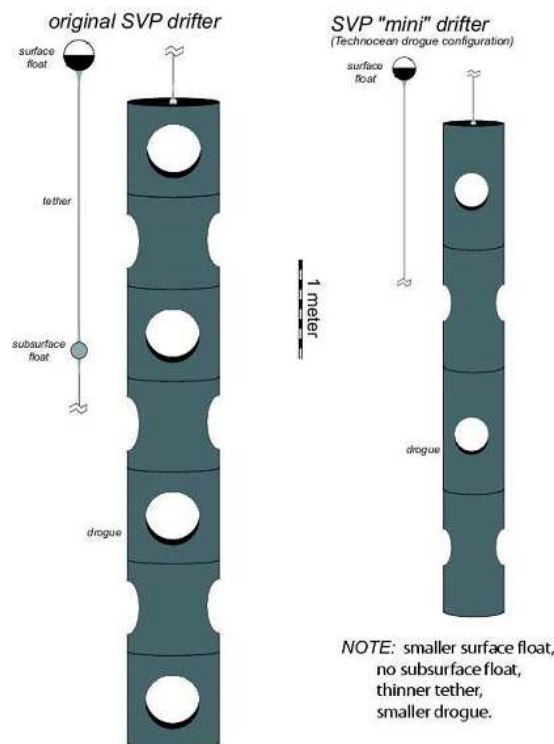


圖 3.1-3 原型和迷你型洞襪式浮標(資料來源：NOAA/AOML 網頁)

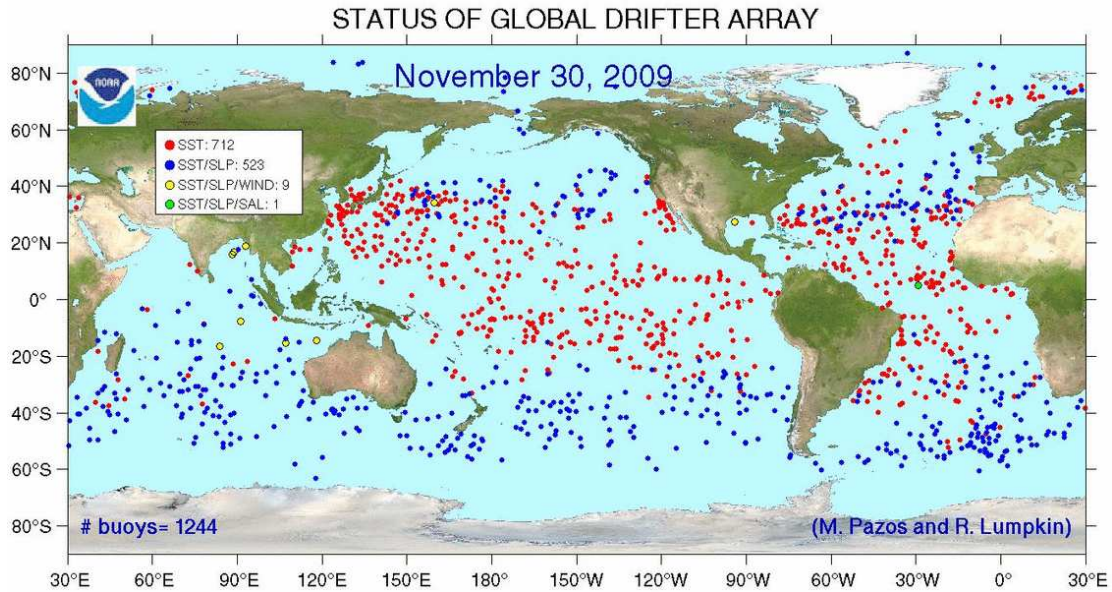


圖 3.1-4 2009 年 11 月 30 日全球 Drifter 分佈狀況圖

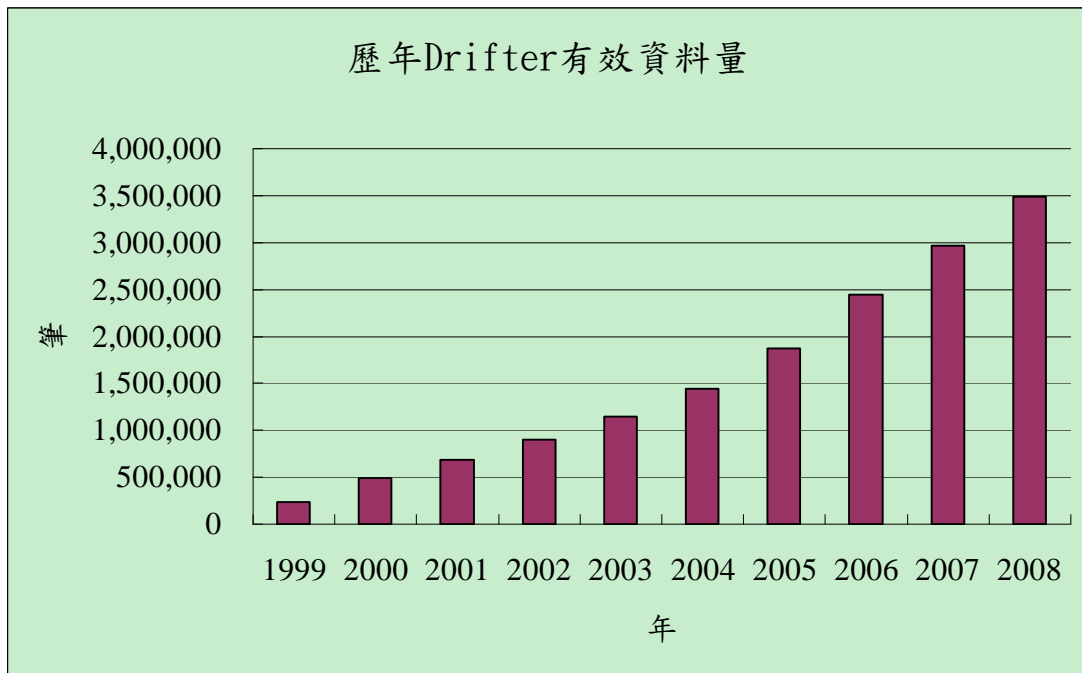


圖 3.1-5 1999 至 2008 年裡太平洋區域歷年的有效資料筆數

Drifter 由各國作業或研究單位根據其目的施放，所以地區並無別分布限制，如圖 3.1-4，雖然空間密度上貌似稀疏(如圖 3.1-6)，但若將多年資料相疊，便可探討相關海域之潮流特性。如圖 3.1-7 為 1988~2007 年四季軌跡圖，從圖中可看出台灣東部表面海流主要受到黑潮通過影響，但在夏季進入秋季之時，黑潮從呂宋海峽入侵南海的情況愈來愈明顯，各年冬天單月的浮標軌跡圖更可清晰看到浮標隨著黑潮的流動而進入南海(Centurioni, 2004)。由二十年的歷史資料顯示台灣西部在春季及冬季只有極少的浮標由南海進入台灣海峽，反觀夏季可清楚看見浮標由南海進入台灣海峽的次數大大提升，推測是因為西南季風的吹拂，造就南海

北方的浮標進入台灣海峽的軌跡(Wang and Chern, 1992)。

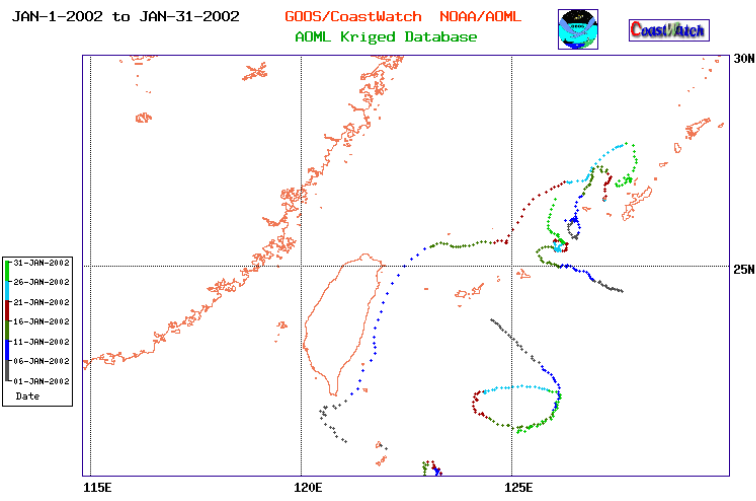


圖 3.1-6 2002 年 1 月施放於台灣附近的 Drifter 軌跡分佈圖

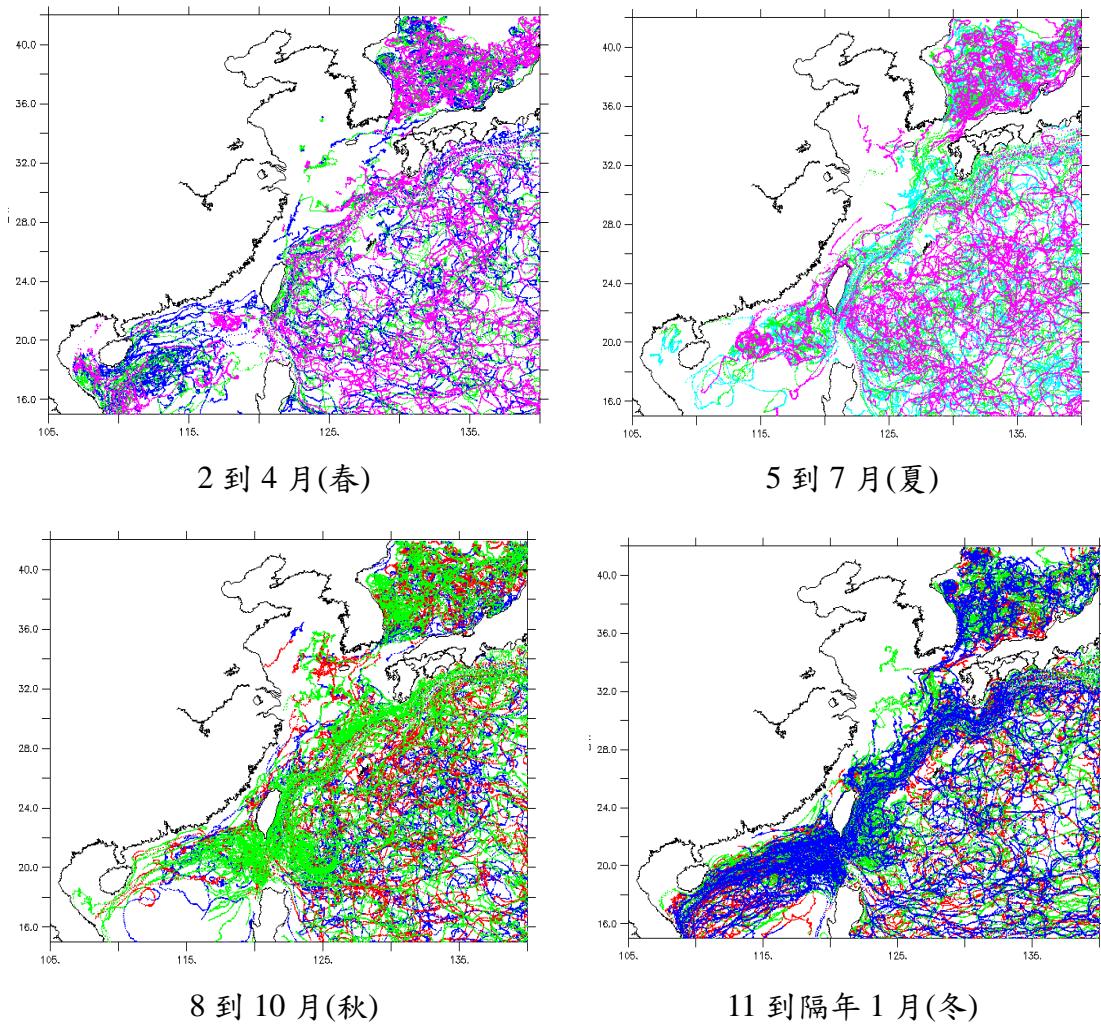


圖 3.1-7 歷史浮標(1988~2007 年)四季軌跡圖

除了可從 Drifter 的軌跡，亦可從 Drifter 監測到的溫度與流速資料探討相關現象，如圖 3.1-8 為 1999 至 2008 年，太平洋赤道區域(100°E~120°W, 20°N~20°S) 每 2°×2°區塊的 1 月月平均溫度分佈圖，從圖中可看出十年內赤道區域 1 月的月平均溫度約為 25~31°C 左右。

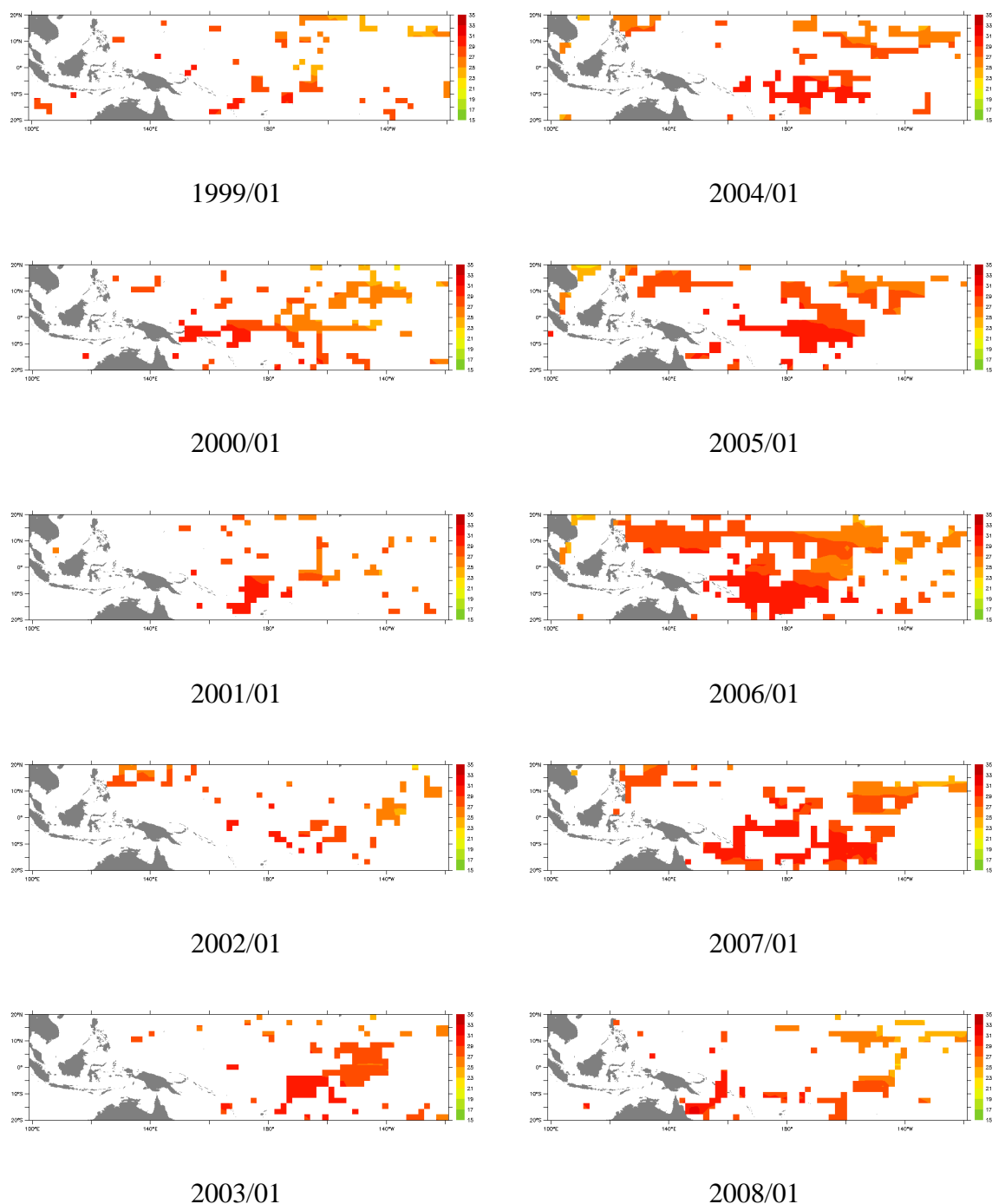


圖 3.1-8 1999 至 2008 年 1 月太平洋赤道區域月平均溫度分佈圖

3.2 中級解析度成像分光輻射度計衛星影像(MODIS)

中級解析度成像分光輻射度計(MODIS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)是美國太空總署(NASA)之 Terra 與 Aqua 衛星之重要酬載設備。1999 年 12 月 18 日, Terra 衛星成功發射並搭載 MODIS, 2000 年 2 月 24 日開始收集資料; 又同樣載有 MODIS 探測器的 Aqua 衛星亦於 2002 年 5 月 4 日成功地發射。

由於衛星遙測與電腦技術的進步, 為了促進資源整合, MODIS 遙測資料朝向結合大氣、海洋與陸地遙測各方向的資料研發, 期望利用所得之資料有助於研究機構了解全球的陸海和較低層大氣動力發展之機制與過程, 或將 MODIS 資料使用在發展之應用模式上, 可準確地計算並預測出全球變遷的相關狀況。

為達到上述之目標, MODIS 感應器設有 36 個波段(表 3.2-1), 且隨著波段特性對海洋與大氣吸收與反射特性的差異, 其應用之方向也不盡相同, 如波段 1~2 應用於區分雲層; 波段 3~7 之採用方向則為陸地及雲層特性之探討, 波長約為 459 nm~2155 nm; 波段 8~16 之應用為葉綠素濃度分布特性, 又波段 31~32 主要使用於海洋表面水溫資料的監測。此外, 波段解析度亦有 250、500 及 1000 公尺之別, 比 NOAA-AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)及 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)相較之下, MODIS 的資料量十分龐大, 故資料處理過程也相對複雜。

MODIS 的資料可應用在海洋學、生物學和大氣科學與全球變遷等, 又由於 Terra MODIS 的觀測時間為當地時間之上午 10:30 左右, 而 Aqua MODIS 為下午 13:30 左右, 除在觀測資料具有較佳之互補性外, 更可提供大氣、海陸中極短現象之研究與監測等應用之參考, 如雷雨、颱風等現象, 例如圖 3.2-1 便是 2006 年 8 月 7 日 MODIS 拍攝到同時有三個颱風在西太平洋海面上出現的影像, 而 MODIS 的觀測資料, 使用者可透過資料訂閱系統訂閱 MODIS 資料, 亦可用適當的 X-band 接收 MODIS 訊號。

NASA DAAC(Distributed Active Archive Center)為了對 MODIS 資料進行解析與應用, 於是針對已發展之 SeaDAS 軟體加以修正, 海洋資料庫遙測實驗室在 SeaSPACE 公司之協助下, 已建置一 MODIS 分析技術軟體流程圖(圖 3.2-2)。由圖可知, 用戶端可使用接收站或網路擷取出 raw level 中之 L1a、L1b(依其不同波段的特性而有 1 km、0.5 km 和 0.25 km 不同的取樣特性與解析度)及衛星資料等影像資料, 透過適當的演算法, 截取使用者所需要之資料。取得資料有兩種方法, 一是使用者透過網路資料傳輸的方式, 向 NASA-DAAC 取得資料授權, 便可取得 MOD01 至 MOD03 等資料, 不過使用者需等 NASA-DAAC 協助後才可下載, 故此法雖較經濟, 但需要時間(約 3 天左右)處理, 另需自行建立接收及處理系統, 故有經費高, 維護方面亦需人力與資源等缺點; 另一方法是透過 NASA 資料申請, 取得 MOD01~03 的三種不同解析度的資料, 再依 SeaSPACE 整合資料處理與影像產品流程, 將不同遙測波段之修正參數導入系統中, 透過不同的演算法,

建立表面水溫資料及影像與進行海洋產品的解析等資訊。

表 3.2-1 MODIS 感應器波段(1~19)及其應用表(資料來源：MODIS 網頁)

主要運用	波段	波長 ¹	光譜輻射率 ²	所需訊號雜訊比 ³
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
Atmospheric Water Vapor	16	862 - 877	6.2	516
	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250

表 3.2-1 MODIS 感應器波段(20~36)及其應用表(續)(資料來源：MODIS 網頁)

主要運用	波段	波長 ¹	光譜輻射率 ²	所需雜訊等效溫差 (K) ⁴
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

¹ Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 are in μm
² Spectral Radiance values are ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}\cdot\text{sr}$)
³ 訊號雜訊比(SNR, Signal-to-noise ratio) , 即訊號強度和雜訊強度的比值
⁴ 雜訊等效溫差(Noise-equivalent temperature difference)

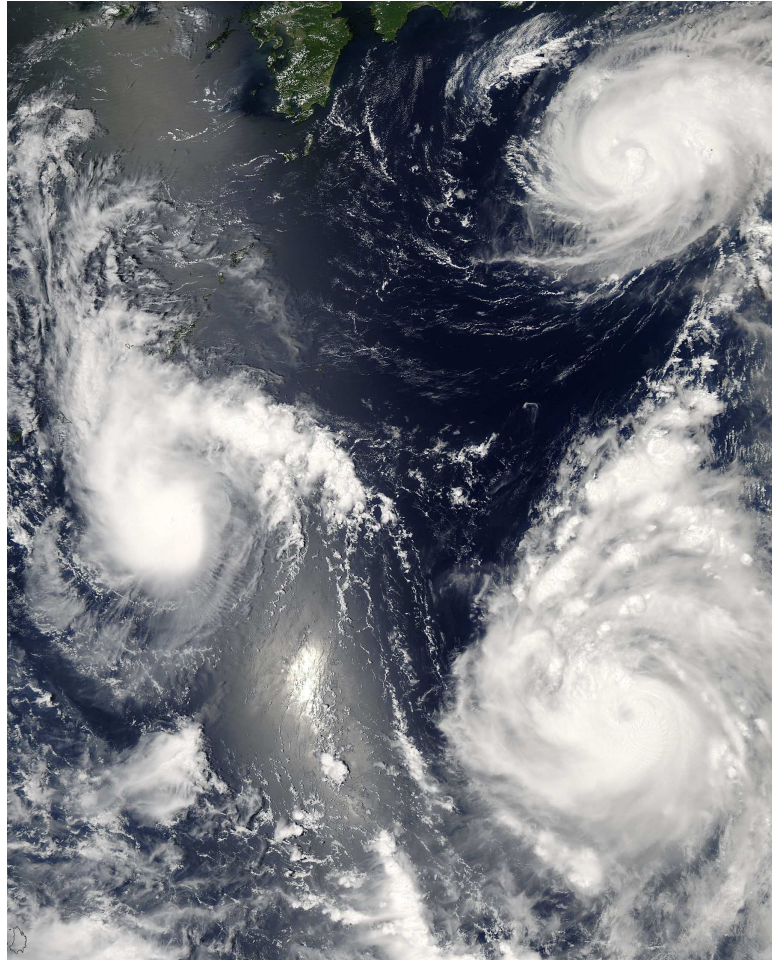


圖 3.2-1 MODIS 於 2006/8/7 西太平洋區拍攝到三個颱風出現之影像
(資料來源：MODIS 網頁)

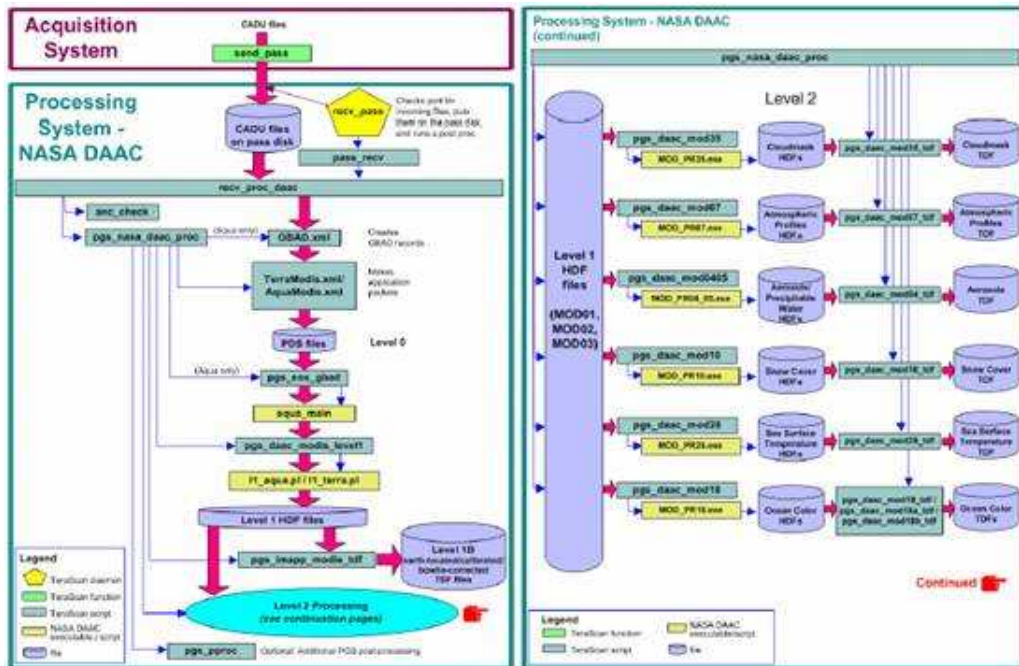


圖 3.2-2 NASA-DAAC 之 MODIS 資料處理分析示意圖

3.3 全球溫鹽剖面計畫(GTSPP)

全球溫鹽剖面計畫(GTSPP, Global Temperature-Salinity Profile Program)為一由 IODE(International Oceanographic Data and Information Exchange committee)和 JCOMM(Joint Commission on Oceanography and Marine Meteorology)聯合發展之計畫。

GTSP 參與的國家分別有阿根廷、澳洲、加拿大、中國大陸、法國、德國、印度、義大利、日本、英國和美國，其中由加拿大的海洋環境資料服務(MEDS, Marine Environmental Data Service)主導此計畫，並通過 GTS(Global Telecommunication System)收集即時資料(real-time records)，由美國國家海洋學數據中心(NODC, National Oceanographic Data Center)進行資料品保與品管。GTSP 成立之主要目的為及時地提供各國完整之海洋溫度與鹽度的剖面資料，同時為保存資料而建立即時監控資料流量之系統，期望藉由此系統進行資料品質控管與備份之動作。圖 3.3-1 為 GTSP 資料監控與資料管理之系統流程示意圖。

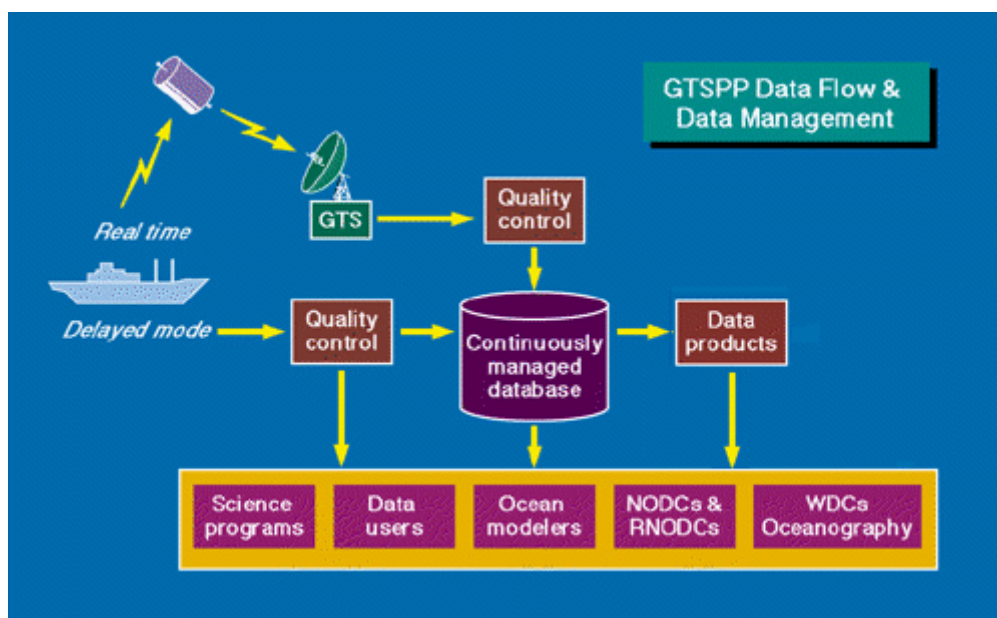


圖 3.3-1 GTSP 資料之監控管理流程示意圖(資料來源：NODC/GTSP 網頁)

GTSP 為一自發性組織所發展之計畫，因此參與的國家也經常改變，目前的數量約為 10 至 12 個。現今 GTSP 處理資料的基本架構可分為以下三個部分(Sun et al., 2009)：

- a. GTS：由世界氣象組織(WMO, World Meteorological Organization)提供之 GTS 收集資料，並由 ISDM(Integrated Science Data Management)負責處理即時資料。
- b. IODE 資料中心：歷史資料來源為 IODE/NODC 和其它合作計畫，如 CLIVAR(Climatic Variability and Predictability)、WOD(World Ocean Database)(Levitus et al., 2009) 和 SOOP(Ship Of Opportunity Programme)(Goni et al., 2009)。

- c. 持續管理之資料庫(CMD, Continuously Managed Database)：由 NODC 負責保存並維護資料庫，主要之資料來源為 GTS、可棄式溫鹽儀(XBT, Expendable Bathythermograph)、溫深鹽測定儀(CTD)、浮標等。由圖 3.3-1 亦可看出資料之處理程序。

GTSP 取得資料的儀器多為 XBT、CTD 等設備，故僅測得海水較表層的溫鹽剖面資料，圖 3.3-2 為依儀器分類的 CMD 測站數量分佈圖，由圖中可見由於 Argo 計畫的加入，自 1999 年開始 XBT 成為資料的主要來源儀器(Pouliqueneq et al., 2009)。

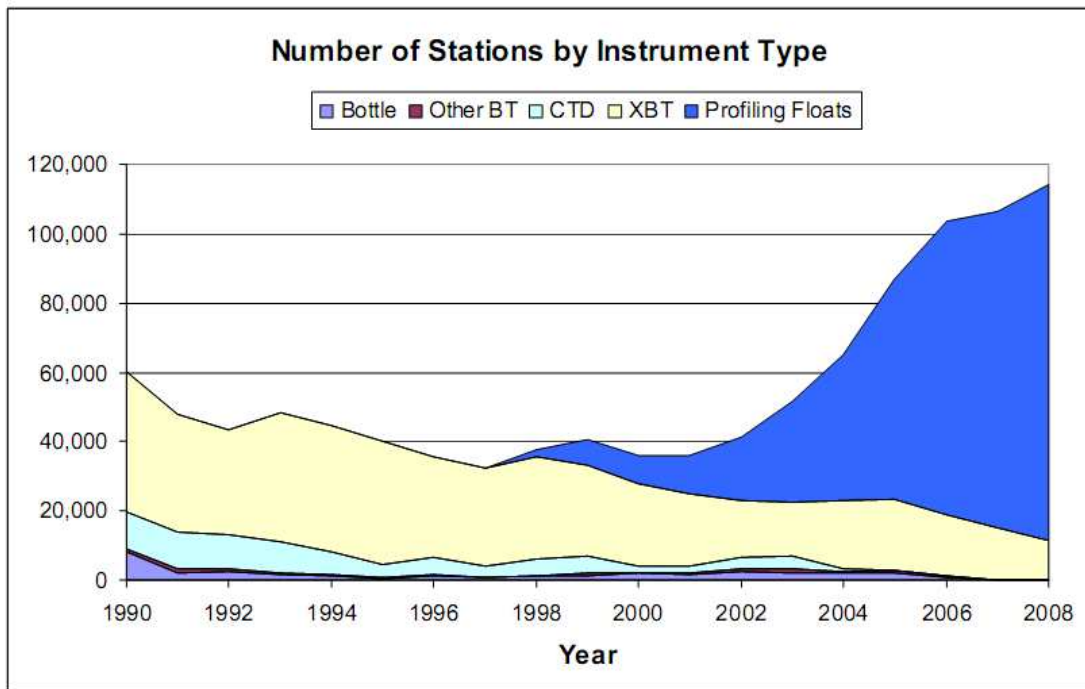


圖 3.3-2 GTSP CMD 測站數量分佈圖(Sun et al., 2009)

GTSP 主要提供兩種數據，分別為擬即時資料數據(near real-time data)和延時資料數據(delayed mode data)，延時資料數據的解析度高於擬即時資料(Keeley and Villeon, 2003)。

擬即時資料數據(near real-time data)主要是由 WMO 世界天氣觀測網(WWW, World Weather Watch)計畫的 GTS 和 IGOSS(Integrated Global Ocean Services System)建立的 BATHY 和 TESAC 無線電信設備中所測得(Wilson, 2009)，其資料收集有兩種方法，一是 GTS 中心在取得資料的數分至數小時內，將資料傳送至 GTS 通訊中心，客戶端如 MEDS、IGOSS 或其它研究機構便可直接下載到原始數據；另一為其它國家研究單位或組織測得資料的數天至一個月內，將資料轉移至設置在 MEDS 裡的 GTSP 擬即時資料中心，MEDS 將會編入全球資料庫，並進行資料品保與品管，故可從此客戶端下載到已整理過的資料。圖 3.3-3 為 GTSP 擬即時之資料處理流程圖。

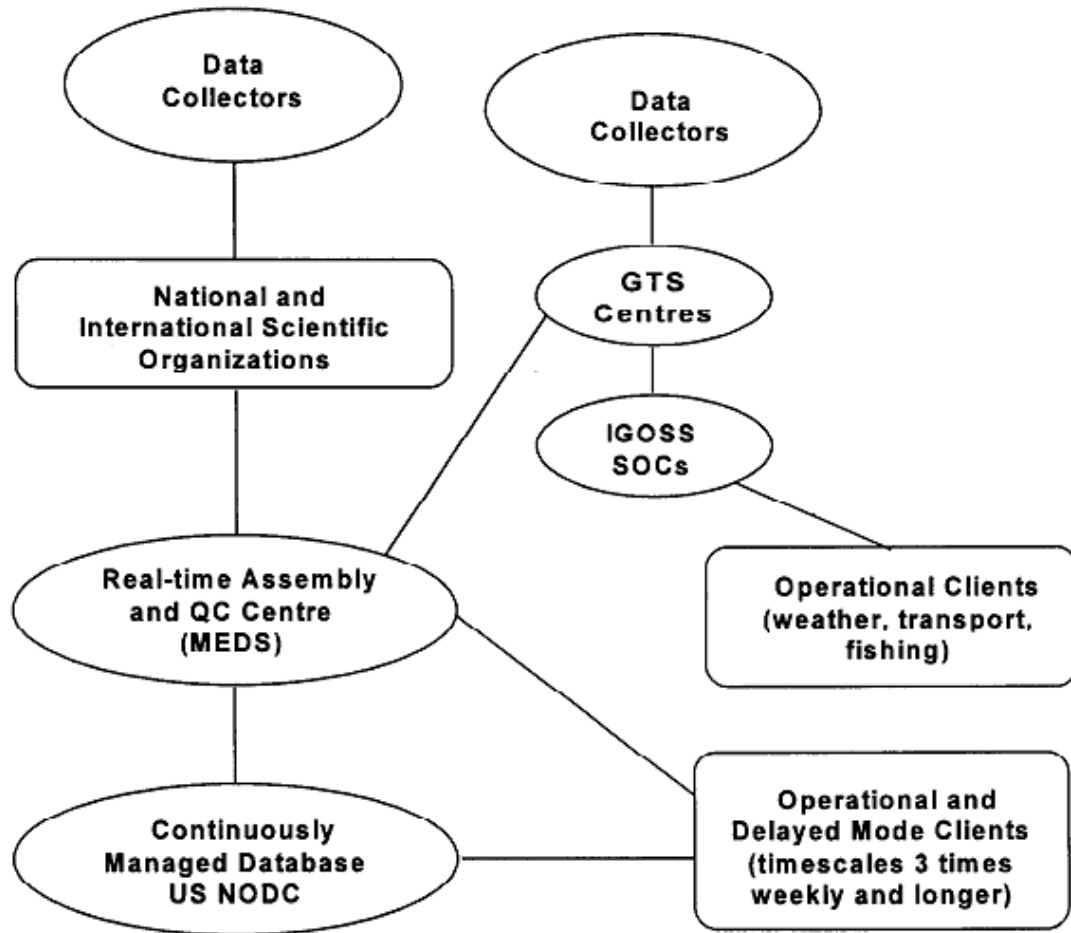


圖 3.3-3 GTSPP 擬即時之資料處理流程圖(Wilson, 2009)

GTSPP 延時資料數據(delayed mode data)是盡可能利用現有的 IODE 資料網路和處理系統來收集與整理(Wilson, 2009),圖 3.3-4 為 GTSPP 延時資料之處理流程圖,與擬即時資料之處理相比,其延時資料的處理步驟相似於擬即時,皆遵從 GTSPP 系統規定之資料品管程序,唯一不同之處即為延時資料之頻率較長,約為三周以上的時間。目前以可由光碟片或是高速網路的方式獲取 GTSPP 延時資料。

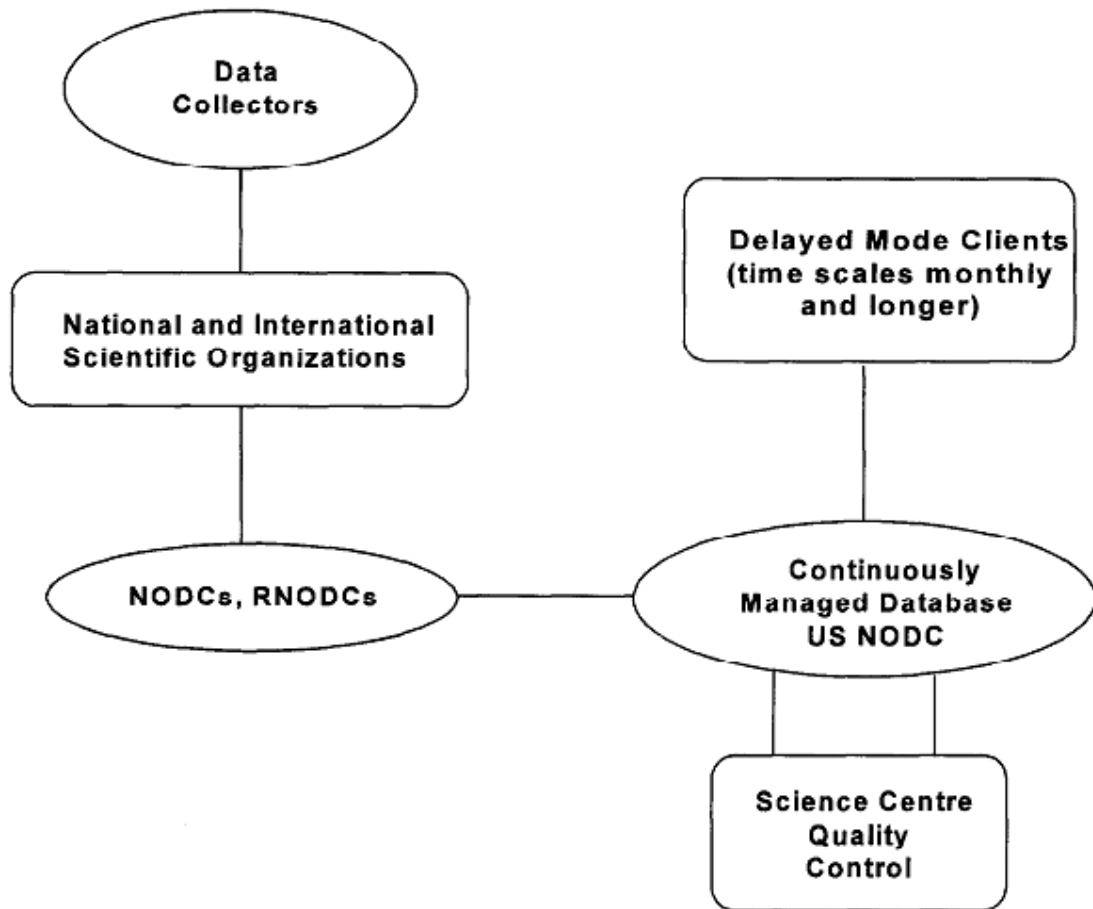


圖 3.3-4 GTSPP 延時資料之處理流程圖(Wilson, 2009)

GTSPP 所有活動，包括收集資料、通訊、資料處理流程、數據品管及分析，都是為了建立全球性的溫鹽資料庫，又為了管理此一資料庫而建置 CMD。擬即時和延時資料都會被集中至資料庫之中，以延時資料具有較高的解析度，又經過 GTSPP 之資料校正與品管，故被視為較優質的資料，且被拿來替代擬即時資料。因此 CMD 擁有以下功能，可使用戶端在一定時間內得到出最新、最佳的資料，

- a. 全面管理並儲存 GTPSS 的溫鹽剖面資料。
- b. 發展與公告數據統計的結果和相關訊息。
- c. 定期更新。
- d. 根據用戶端的要求，截取部分區域的資料庫。
- e. 定期檢測資料庫，並進行備分。

3.4 全球海洋資料同化系統(GODAS)

美國國家環境預報中心(NCEP, National Center for Environmental Prediction)自 1995 年就開始利用 ODAS(Ocean Data Assimilation System)推算海洋相關的即時資料與再分析(reanalysis)資料(Ji et al., 1995)。ODAS 是由 Derber 和 Rosati(1989)設計，並由地球物理流體動力實驗室(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)發展出第一版的 ODAS。

初版 ODAS 可利用三維變分(3DVAR)資料同化的方式模擬太平洋的變化，經過多次更新研發後，最後一版的 RA6 已被廣泛使用(Behringer et al., 1998)，但自從 NCEP 提出 GODAS(Global Ocean Data Assimilation System)，並代替 RA6 後，GODAS 便成為 NCEP 最新發展出來的全球海洋資料同化系統，且其模式可為氣候預報系統(CFS, Climate Forecast System)提供海洋的初始條件以利模擬相關情況(Sha et al., 2006)。

GODAS 涵蓋時間自 1979 年至今，空間範圍從 65°N 至 75°S，緯向解析度為 1°，經向解析度在南北緯 10°之間增加到 1/3°，其它則還是維持在 1°；垂直方向有 40 層，解析度為 10 公尺。而 RA6 的經緯向解析度為 1.5°，垂直分層只有 28 層，與 RA6 相比，此為 GODAS 改良項目之一，其它改良的項目還有海表面採用 free surface，垂直混和層使用 K-Profile Parameterization 等。GODAS 是以 NCEP 再分析資料 2(Reanalysis 2)的熱通量、動量通量和淡水通量趨動，同化的方法與 RA6 同樣是採用 3DVAR，可模擬鹽度變化，但 GODAS 與 RA6 相比，GODAS 可再模擬溫度的變化，此外，為了防止變化過大的情況發生，在模擬的海洋最上層溫度以周平均的海水表面溫度(SST)分析值代替，同樣鹽度是以年平均值代替。

GODAS 所使用之觀測資料來源有人造衛星所測得的海水水平面溫度(SST, sea surface temperature)和海水水平面高度(SSH, sea surface height)，與自 1990 年至 2003 年潮位站所測得的水位資料，如 XBT、ARGO(Array for Real-Time Geotropic Oceanography)、TAO(Tropical Atmosphere Ocean)等，以方便進行驗證模式結果與其它相關訊息，如圖 3.4-1 為 1980 至 2003 年潮位站潮位儀所得之水位資料與 GODAS 水位模擬結果的相關係數分布圖，由圖中可見太平洋赤道區域其相關係數介於 0.7-0.9(此部分之結果優於 RA6 版本)，印度洋與大西洋的赤道區域則介於 0.4-0.7；圖 3.4.4-2 為 1993 至 2003 年 RA6、GODAS 和模擬結果與衛星資料相關係數(CC, correlation coefficient)和均方根誤差(RMSD, root mean square deviation)分佈圖，可看出 GODAS 太平洋赤道的 RMSD 分佈狀況較 RA6 佳，整體來說 GODAS 的 CC 亦偏高。

GODAS 相關模式的資料與結果已公佈到網際網路上，使用者可自行至 <http://cfs.ncep.noaa.gov/cfs/godas> 下載資訊，主要有 1979 年至今的月平均資料與過去三個月的 pentad 資料，內含溫度、鹽度、熱通量、淡水通量、風應力等相關資訊，如圖 3.4-3 為 GODAS 模擬 2009 年 11 月月平均海水水平面溫度距平(SSHA, sea surface temperature anomaly)分佈圖，其它亦有經向或緯向對深度的資料分佈狀況，如圖 3.4-4 GODAS 為模擬 2009 年 11 月月平均深度對經向之 SSHA 分佈圖。研究成果方面，GODAS 在許多方面都有不錯的研究成果，如聖嬰現象的變化，圖 3.4-5 為 GODAS 与其它模式預測聖嬰現象之比較圖。

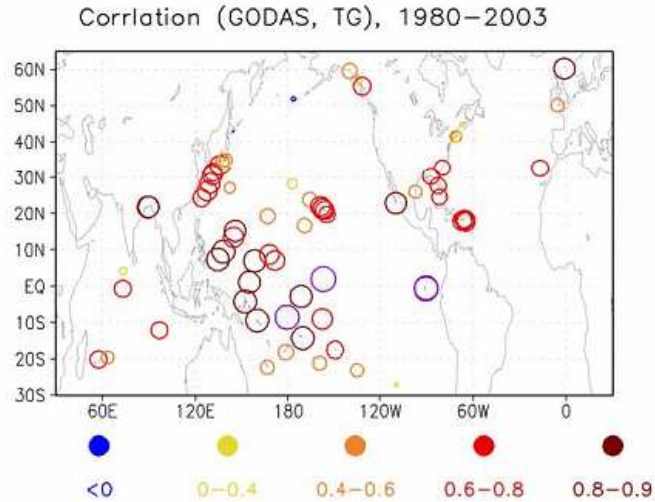


圖 3.4-1 1980 至 2003 年水位觀測值與 GODAS 水位模擬之相關係數分佈圖
(資料來源：NCEP/GODAS 網頁)

Comparison with Altimetry Sea Level Anom. (1993–2003)

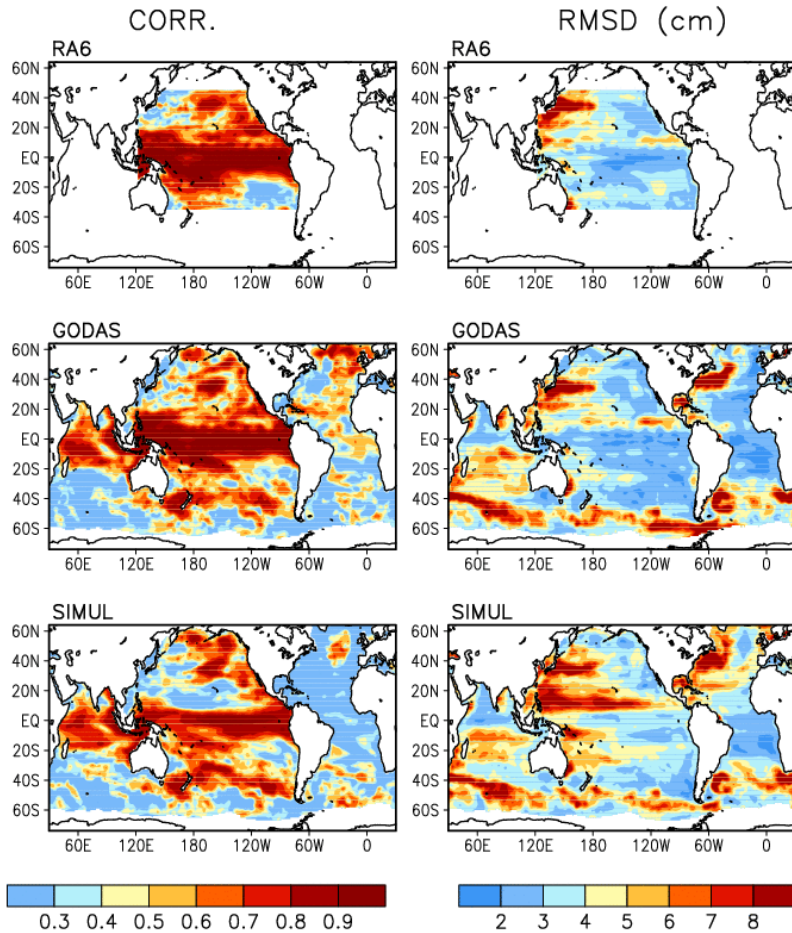


圖 3.4-2 RA6、GODAS 和模擬結果與衛星資料相關係數和均方根誤差分佈圖
(資料來源：NCEP/GODAS 網頁)

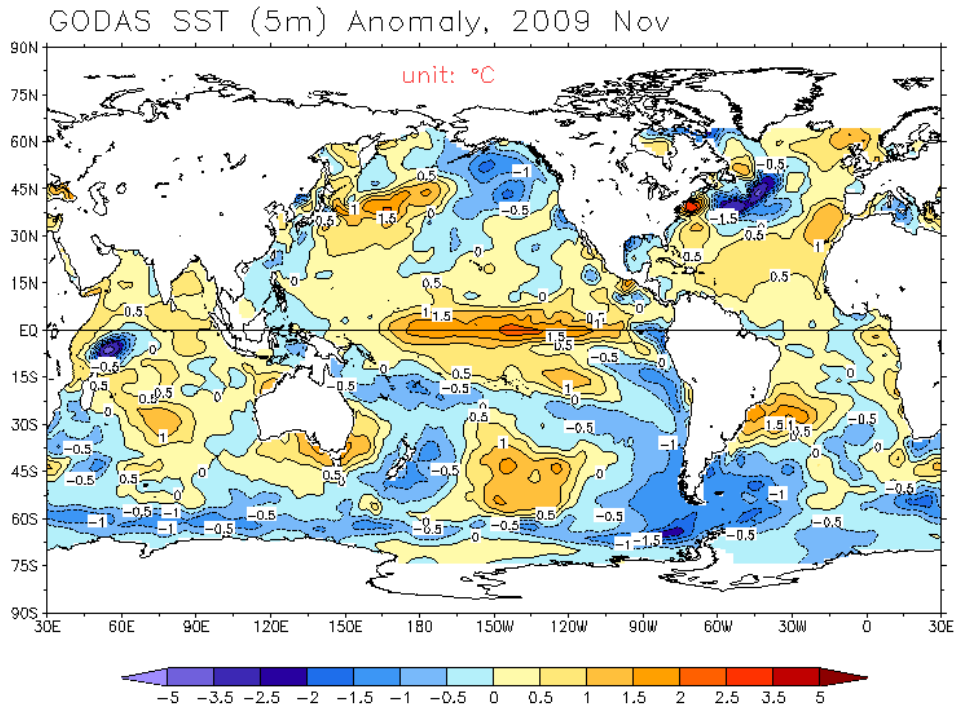


圖 3.4-4 GODAS 模擬 2009 年 11 月月平均 SSHA 分佈圖

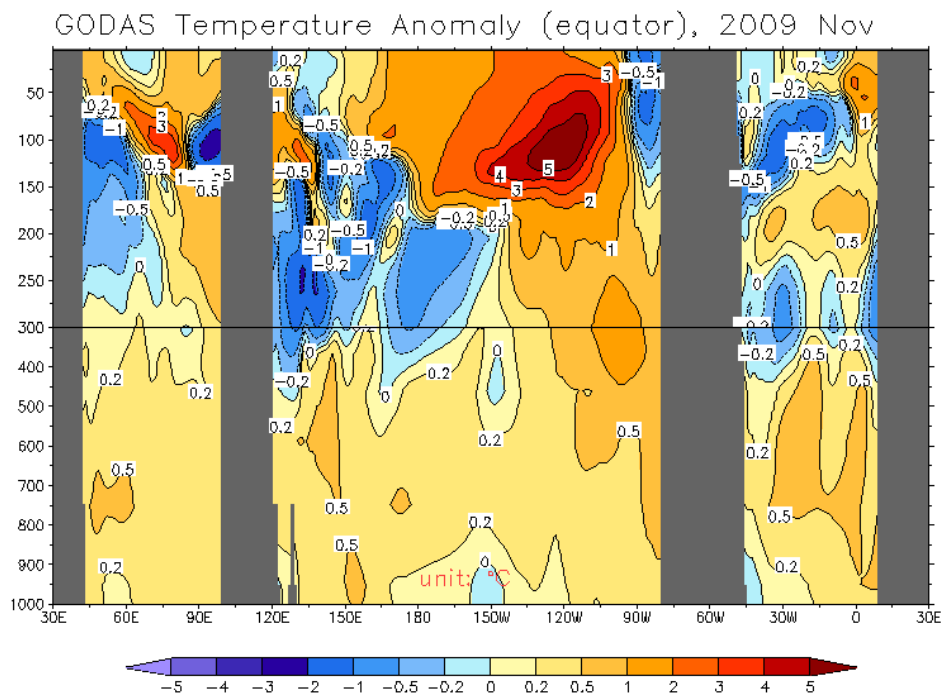


圖 3.4-4 GODAS 模擬 2009 年 11 月深度對經向之月平均 SSHA 分佈圖
(資料來源：NCEP/GODAS 網頁)

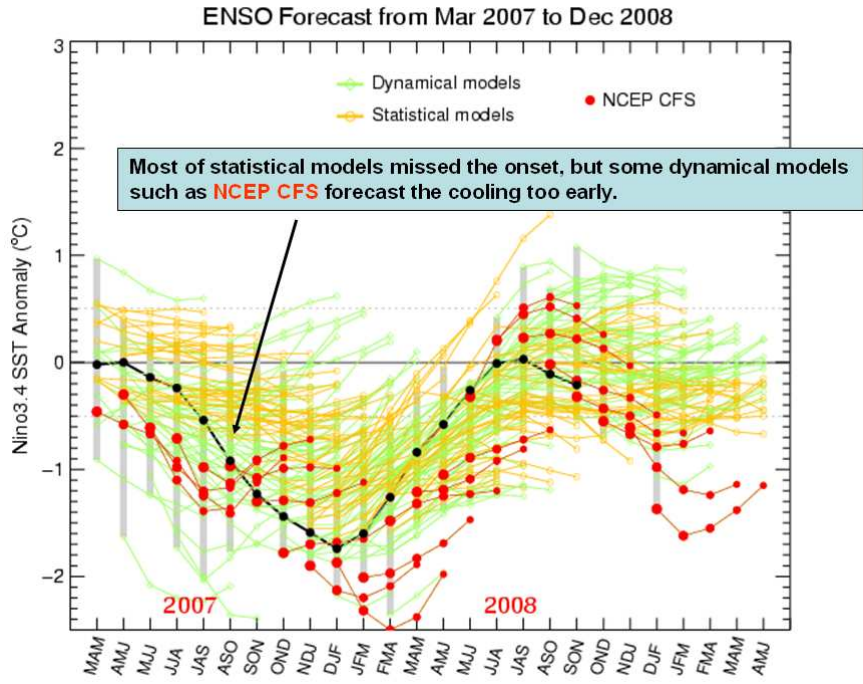


圖 3.4-3 GODAS 與其它模式預測聖嬰現象之比較圖
(資料來源：NCEP/GODAS 網頁)

第四章 太平洋環流模式(OCM1)

依照海洋環流模式架構，首先建置太平洋環流模式，以便提供下一層西北太平洋環流模式未來運算的邊界條件及初始條件。今年度著重於模式的比對及校驗。

4.1 模式範圍網格及設定

模式範圍需涵蓋整個太平洋海域，因此選定範圍由南緯 80 度至北緯 67 度，東經 90 度至西經 67 度，如圖 4.1-1 所示，可將南北太平洋環流及南極環流包含進來，西邊邊界延伸至東經 90 度，可將西邊透過印尼群島間隙的進入太平洋海域的流場影響包含進來。模式地形資料透過 etopo5 全球地形資料擷取出來，由於近岸地區在此模擬範圍對太平洋環流的影響不大，因此最小地形深度設定為 40 公尺。

模式網格解析度為 1/3 度，水平網格數為 626(經度方向) x 450(緯度方向)點，經度方向最小網格距離為 6.3 公里，最大網格距離為 36 公里，垂直分層為 40 層，採用 s 座標分層，如此在最淺海域每層厚度可達到 1 公尺，最大深度區厚度為 46 公尺。

ROMS 在實際計算點的選擇是透過乾濕點的設置決定，如此可將沒影響(內陸湖泊)或影響較小(半封閉海域、海灣)的計算區域排除，節省模式計算時間。圖 4.1-2 為太平洋環流模式計算點(濕點)配置，由於美洲地區五大湖區及墨西哥灣與太平洋海域並無連接點，並不會影響太平洋環流，因此透過乾濕點配置將此區海域設定為非計算點(乾點)；北邊白令海峽連接北極海的北邊界，因為並未有可配合的北極海模式運算，加上此區海流交換影響較小，也將此區設定為非計算點(乾點)。

目前太平洋環流模式使用的 3 維時間步長(time step)為 100 秒，2 維時間步長則為 5 秒。

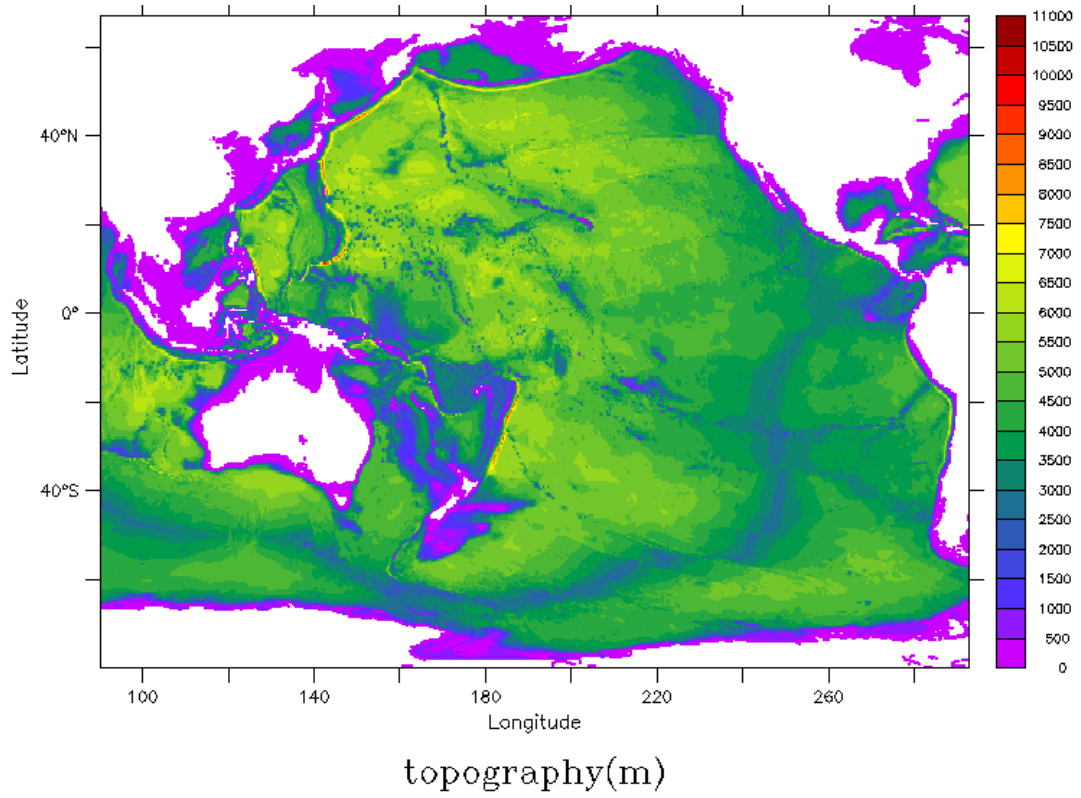


圖 4.1-1 太平洋環流模式範圍地形圖

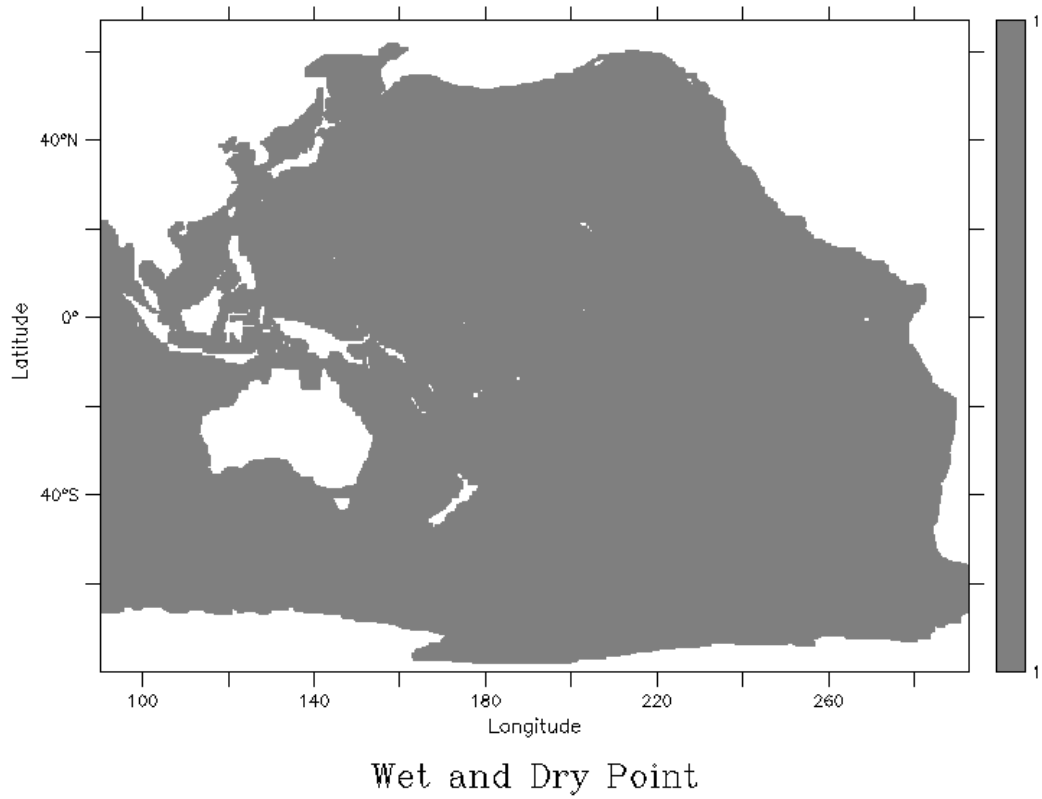


圖 4.1-2 太平洋環流模式計算點(濕點)配置

4.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力

由於太平洋模式範圍相當大，初始條件若從零開始運算，需要相當長的時間才有辦法達到模式穩定，為了加快模式穩定的時間，因此目前使用 HYCOM 全球模式(解析度為 1/12 度)計算結果(日平均值)作為太平洋環流模式的初始條件，使用資料為水表面高度、三維流速、溫度及鹽度資料。模式邊界條件同樣也使用 HYCOM 模式結果輸入，輸入的項目與初始條件相同，日期為 2009 年 8 月 31 日。

ROMS 驅動力輸入可分為兩種形式，第一種為輸入風速、氣壓、雲遮量、相對濕度、降雨量、蒸發量、短波輻射、長波輻射、海表面反射率及海表面氣溫等氣象因子，於模式內自行計算所需使用的變數；第二種則為輸入風剪力、淨熱通量、短波輻射、淨降雨量及海表面溫度等變數資料，直接供模式計算使用。透過氣象資料的收集，取得 2009 年 NCEP 重分析氣象資料(目前使用的資料為月平均值)可直接提供相關變數的數值資料，因此本次太平洋環流模式的驅動力設定採用第二種方式，直接將變數值輸入模式計算。過去使用月平均的驅動力，在短期預報狀況下，對於氣象條件的反應立即性較差，現階段增加時間上的密度(使用日平均資料，未來持續改進為每六小時一筆資料)以及改用第一種輸入形式，將更多氣象資料引入模式計算。

由於目前較常使用的驅動力資料多為重分析的過去資料，對於現在進行追報(hindcast)的模擬並沒有問題，但是對於未來模式開始預報後，會產生無法取得預報時所須得資料，所以為配合未來預報時程，且經本團隊與氣象局專家學者討論後，目前預計使用 NCEP GFS 氣候預報資料，作為未來模式預報時期的驅動力，此資料為每六小時進行預報，預報未來至少 180 小時的時間，符合目前規劃之預報架構，缺點為若要進行更長時間的預報，則會有資料不足的狀況產生。

4.3 模式結果

本年度因為受限於氣象局 HPC 計算資源的限制(cpu 使用數量及磁碟空間)，將原本的預報時程規劃更改為短期預報，OCM1 模式原來預計每個月執行一次，現報過去一個月及預報未來一個月，目前更改為每日執行，現報 24 小時及預報 72 小時。另一方面進行長期的模擬，瞭解模式整體偏移的程度。

4.3.1 短期預報模擬

受限於氣象局 HPC 使用限制，本年度將原本規劃預報時效縮短為現報 24 小時並預報 72 小時，利用 2009 年 8 月 31 日的 HYCOM 結果作為模擬的初始值，進行四日的模擬，並且將模擬結果與 HYCOM 的現報結果進行比對，包括海表面高、表面溫度、表面鹽度、表面流速以及黑潮路徑剖面流速(北緯 23 度及東經 121 度黑潮路徑垂直剖面)。

圖 4.3.1-1 至圖 4.3.1-16 為 OCM1 使用 2009 年 8 月 31 日的 HYCOM 初始值(海水表面高度、三維流速、溫度及鹽度資料)進行四天的運算得到每日平均值與 HYCOM 現報資料進行比對。圖 4.3.1-17 至圖 4.3.1-20 為北緯 23 度(台灣東北部)黑潮路徑垂直剖面比對圖，圖 4.3.1-21 至圖 4.3.1-24 為東經 121 度(呂宋海峽)黑潮路徑垂直剖面比對圖。

圖 4.3.1-1 至圖 4.3.1-4 為現報日的表面場結果。海水表面高度除了在日本海及鄂霍次克海域模式高估以及智利附近海域低估外，其餘地區與 HYCOM 的結果接近；海表面溫度則在東經 150 度，北緯 20 度至 40 度地區有較低溫區域產生，其餘地區與 HYCOM 結果接近；海表面鹽度則沒有與 HYCOM 結果有明顯的差異地區；流速部份，OCM1 的黑潮強度較 HYCOM 結果稍弱，特別是台灣東部及東海內的黑潮，另外 OCM1 在南海海域出現流速較大的區域，在 HYCOM 結果則無此現象。

圖 4.3.1-5 至圖 4.3.1-8 為預報 1 日的結果。海水表面高的部份與現報日的結果接近，原本低估的智利海域轉為正常，而低估的區域則出現在澳洲與紐西蘭中間的海域；海水溫度則發現原本產生低溫的南海及菲律賓地區溫度增加，與 HYCOM 結果更為接近，而在北緯 20 度至 40 度地區海面則有小塊低溫區域產生；鹽度部份與現報日比對結果類似；流速分佈在菲律賓東部的流速極大區變大且黑潮路徑較現報日更不明顯。

圖 4.3.1-9 至圖 4.3.1-12 為預報 2 日的結果。此日比對結果在海水表面高、溫度及鹽度與預報 1 日的結果類似，僅在流速部份，原本菲律賓東部流速極大區流速有減小的變化趨勢。

圖 4.3.1-13 至圖 4.3.1-16 為預報 3 日的結果。此天的比對結果與預報 2 日結果差異不大，有變化的是流速分佈，菲律賓東邊海域的流速極大區持續縮小。

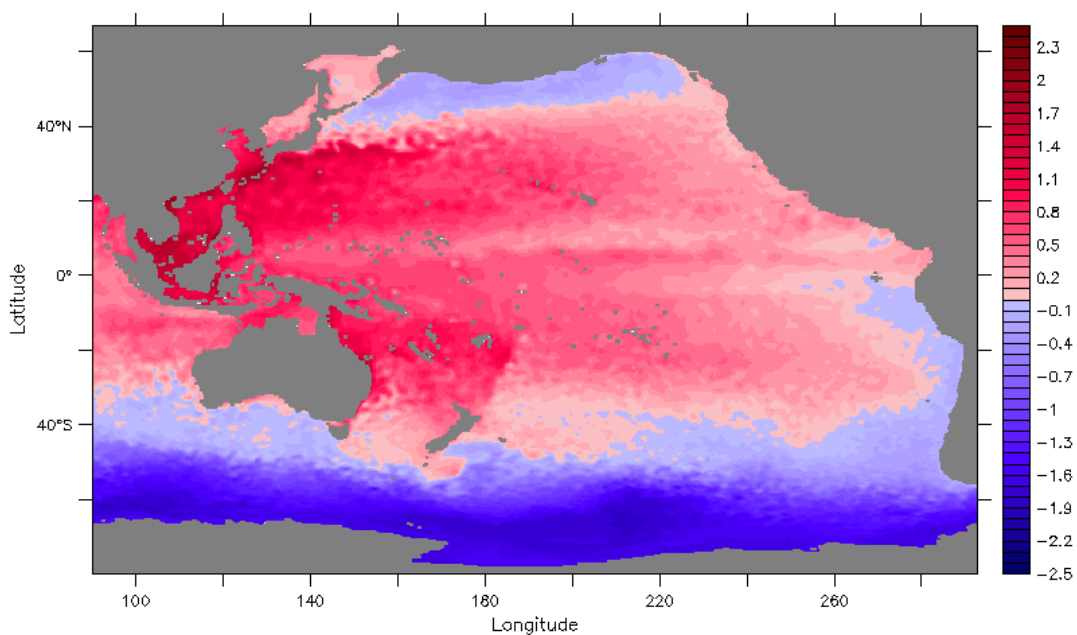
圖 4.3.1-17 至圖 4.3.1-20 為北緯 23 度 0 至 600 公尺日平均垂直剖面流速分佈圖比對，左邊陸地為台灣東北海岸。於現報日顯示北南北南的流速分佈，唯

OCM1 在南向的寬度較寬，導致中間北向的流寬度變小，在速度大小則與 HYCOM 接近；在預報 1 日的分佈狀況，靠近台灣海岸較深區域產生更多南向的流場，此部份未於 HYCOM 的結果中發現，而中間南向的流場則變小，與 HYCOM 呈現的分佈更為接近，此時 OCM1 北向的流速大小則較 HYCOM 為小；於預報 2 日的分佈狀況與預報 1 日的結果類似，僅在最右側的南向海流，HYCOM 呈現削減變窄的狀況，而 OCM1 的結果則維持預報 1 日像似的寬度；預報 3 日持續預報 2 日的發展，使得 OCM1 在中間分佈的南向的海流更強，且深度往下增加，在 HYCOM 的結果上並未發現此現象產生，在最右側則有北向海流產生，此部份結果在 OCM1 及 HYCOM 結果皆可發現，唯 OCM1 的寬度較 HYCOM 窄。

圖 4.3.1-21 至圖 4.3.1-24 為東經 121 度 0 至 600 公尺日平均垂直剖面流速分佈圖比對，左邊為菲律賓海岸，右邊為台灣海岸。於現報日結果，OCM1 大部分區域海流皆為流出呂宋海峽，而在 HYCOM 的結果則為均分，台灣海岸區域為流出，菲律賓海岸區域則為流入；於預報 1 日 OCM1 的流速分佈有開始有較大的流入產生，流出的流速寬度有縮小的趨勢，此部份在預報 2 日及 3 日皆可發現，在預報 3 日的結果，流入的流速最大值以較 HYCOM 結果大，僅在寬度上不足 HYCOM 的結果。

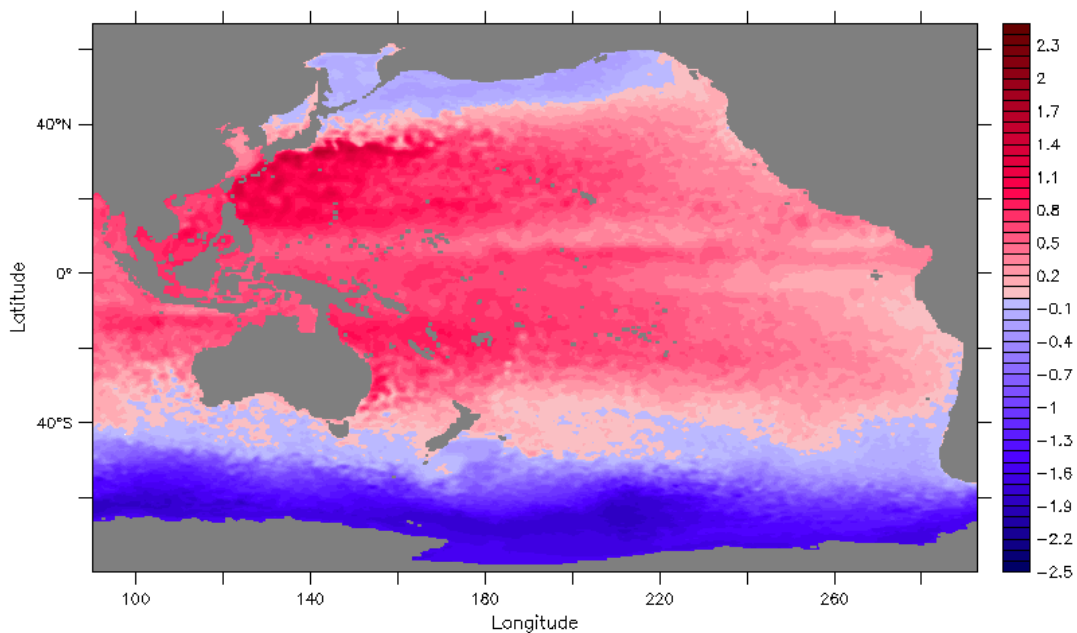
在黑潮平面路徑的比對中，OCM1 由於解析度較大，因此路徑不若 HYCOM 明顯(流速不夠大)，而在垂直分佈上，速度大小有接近 HYCOM，但是在寬度分佈還是有差異存在，此部份在未來仍需要透過模式更細部的調整或是進行資料同化增加模式的精確度。

TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)

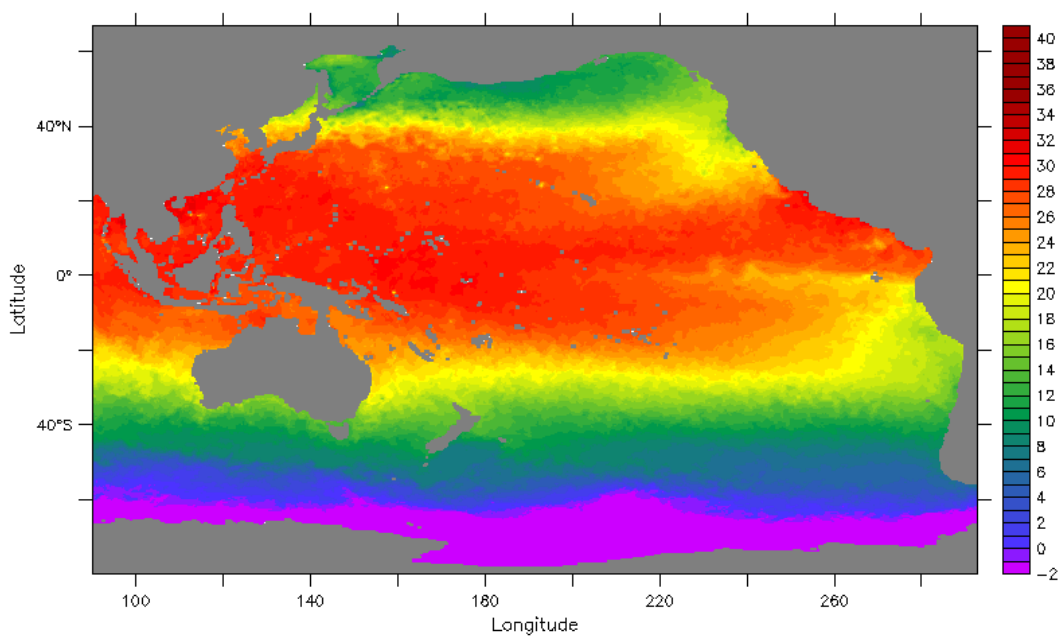
TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

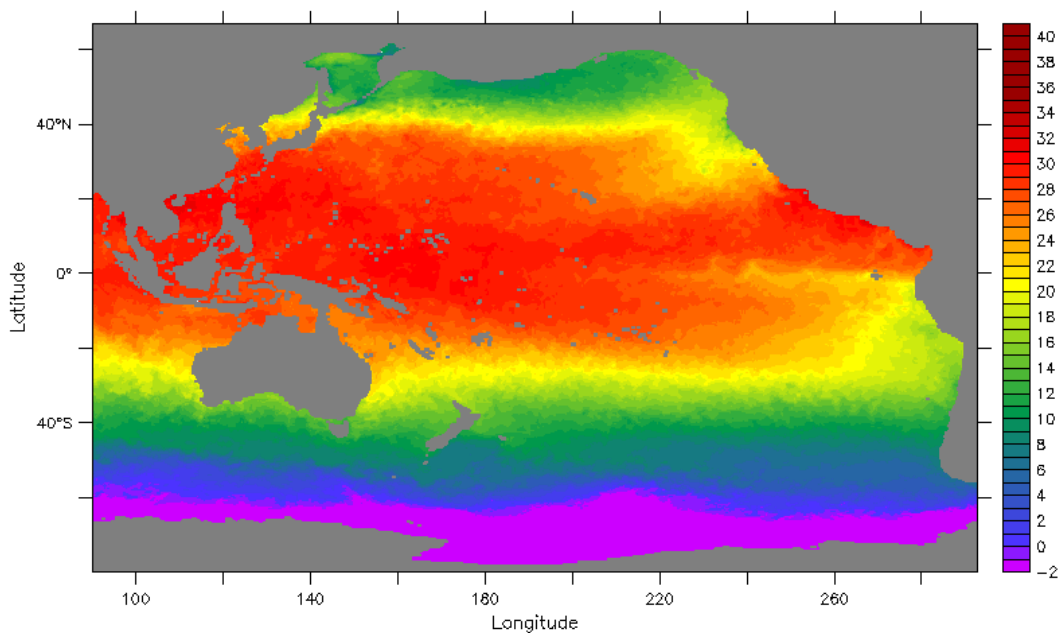
圖 4.3.1-1 現報日日平均海面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

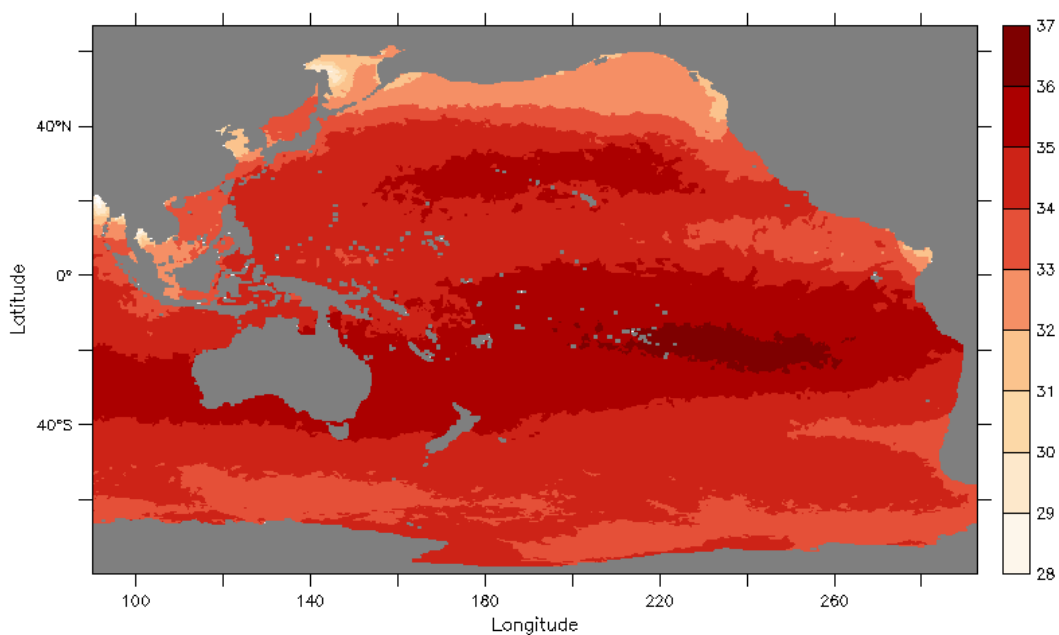
TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

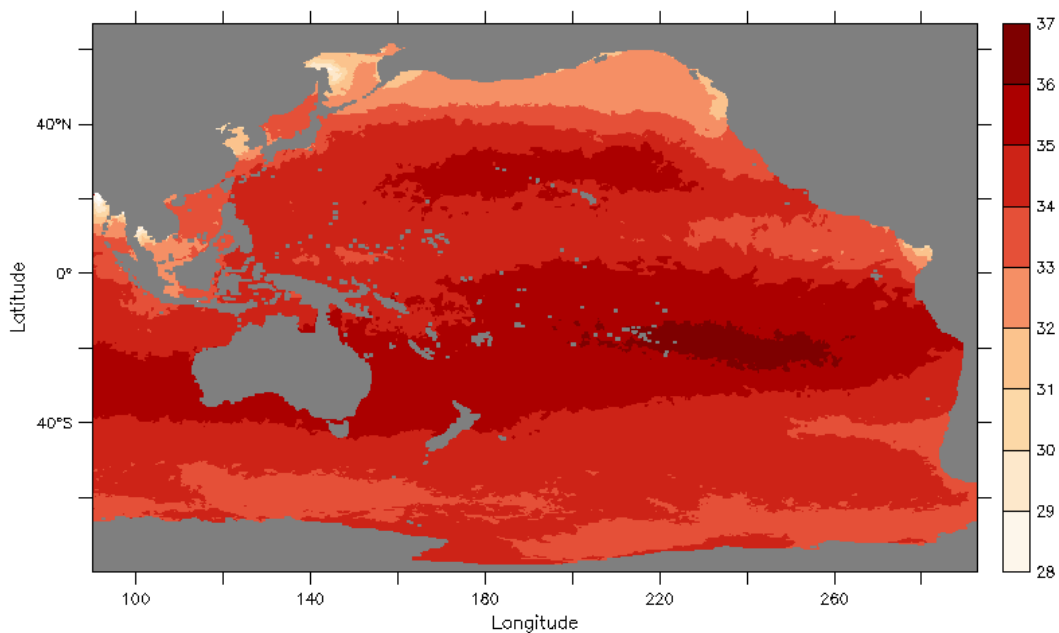
圖 4.3.1-2 現報日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

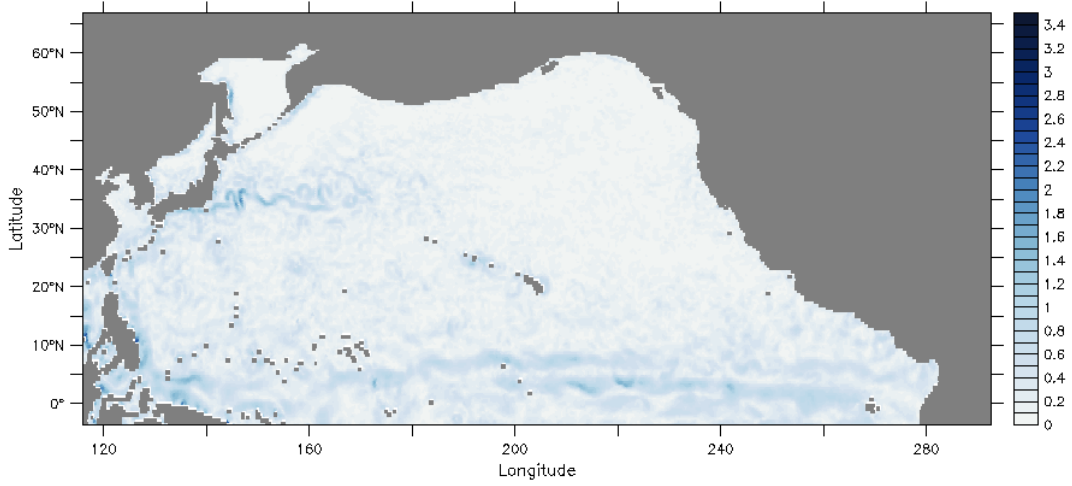
TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

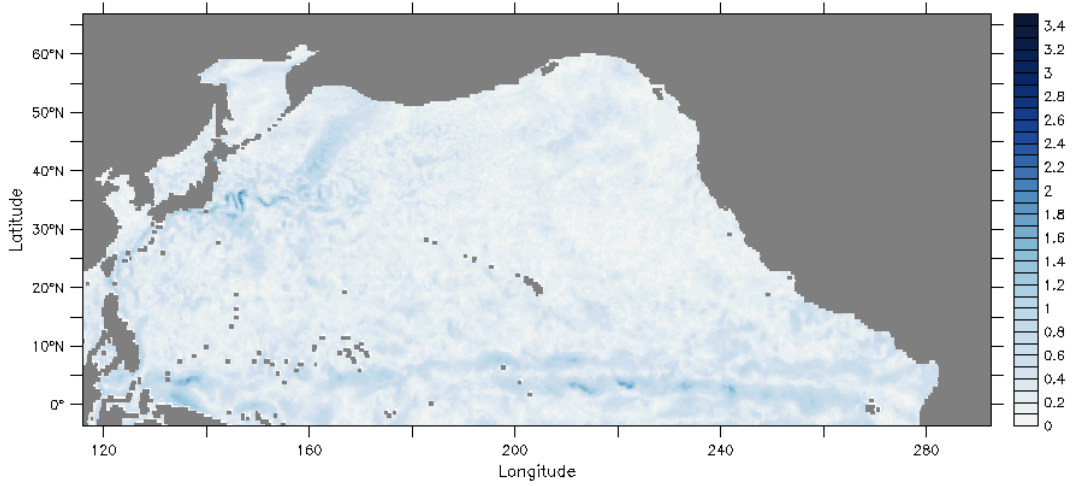
圖 4.3.1-3 現報日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

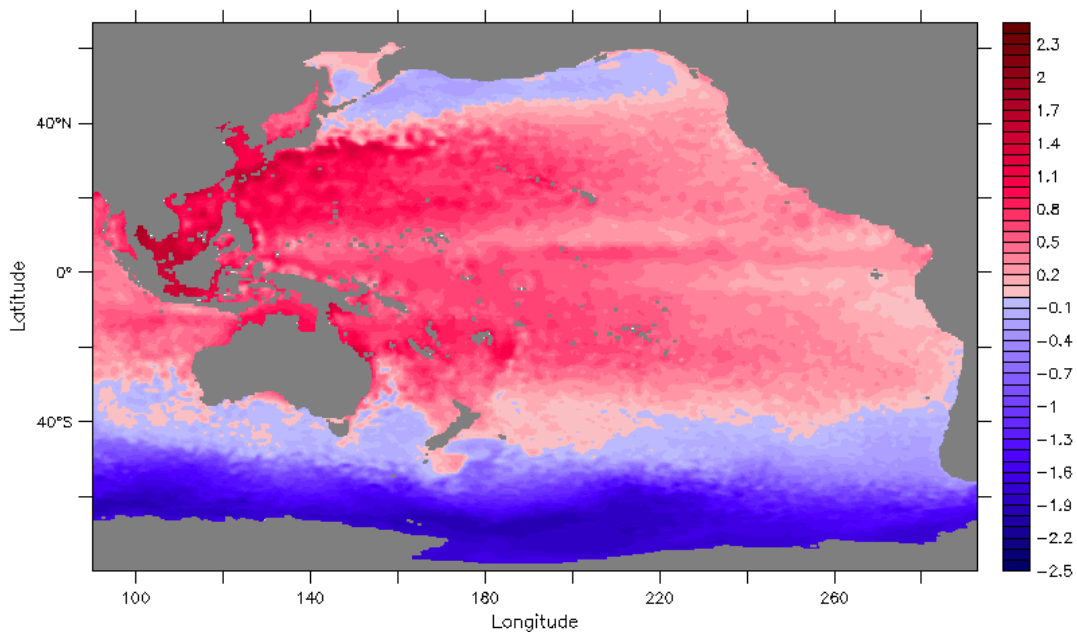
TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

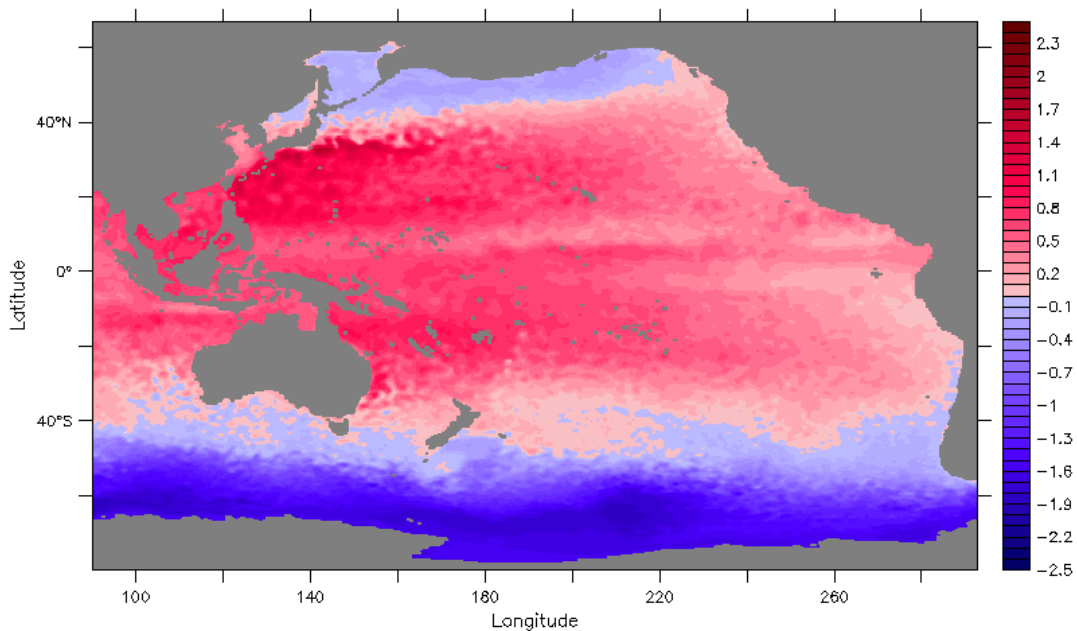
圖 4.3.1-4 現報日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)

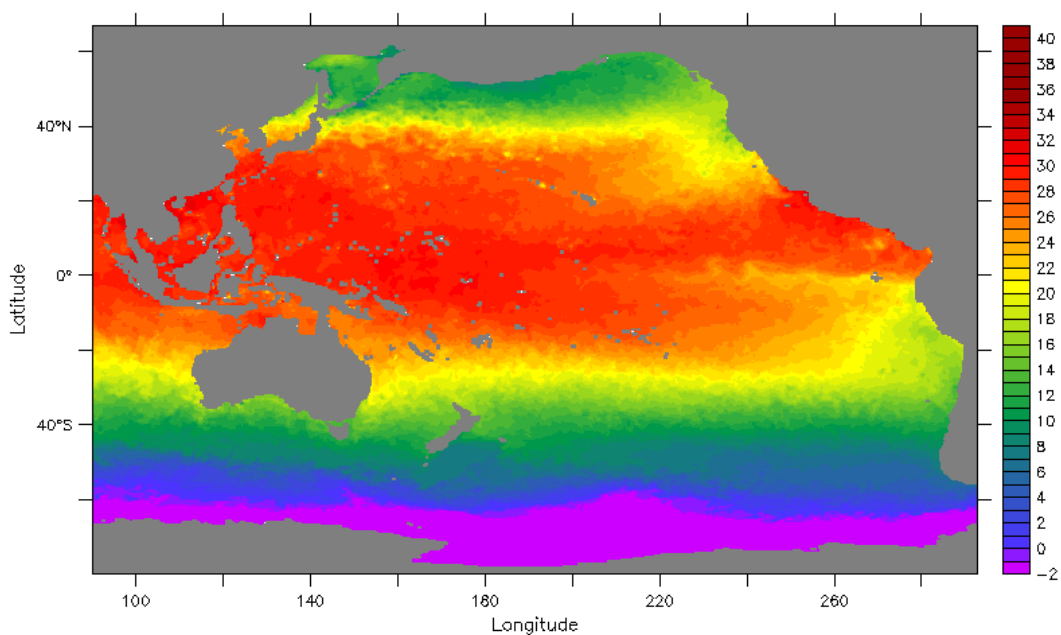
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

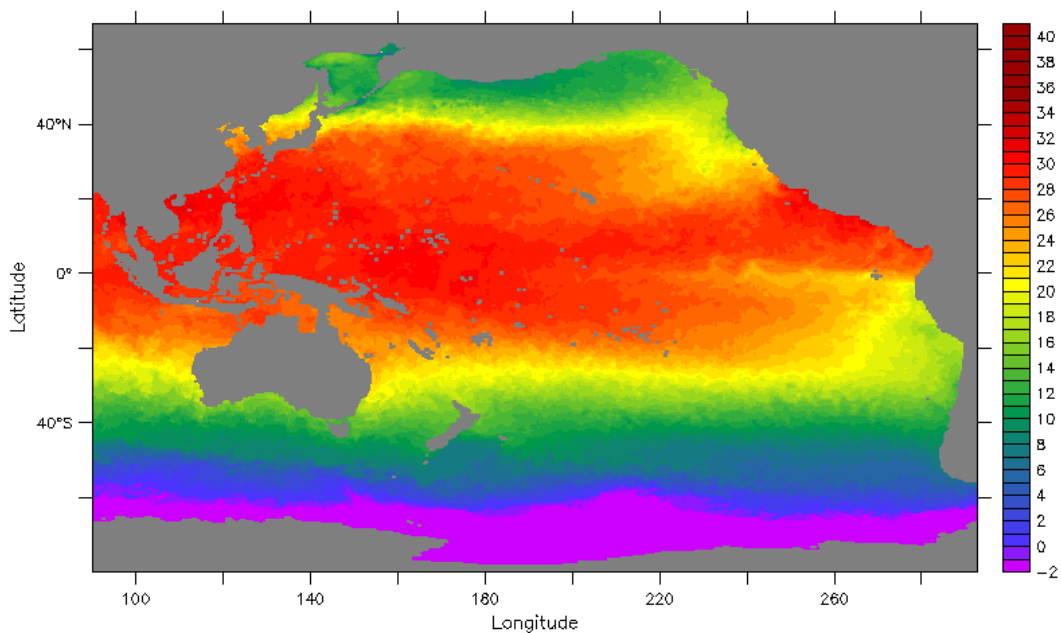
圖 4.3.1-5 預報 1 日日平均海平面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

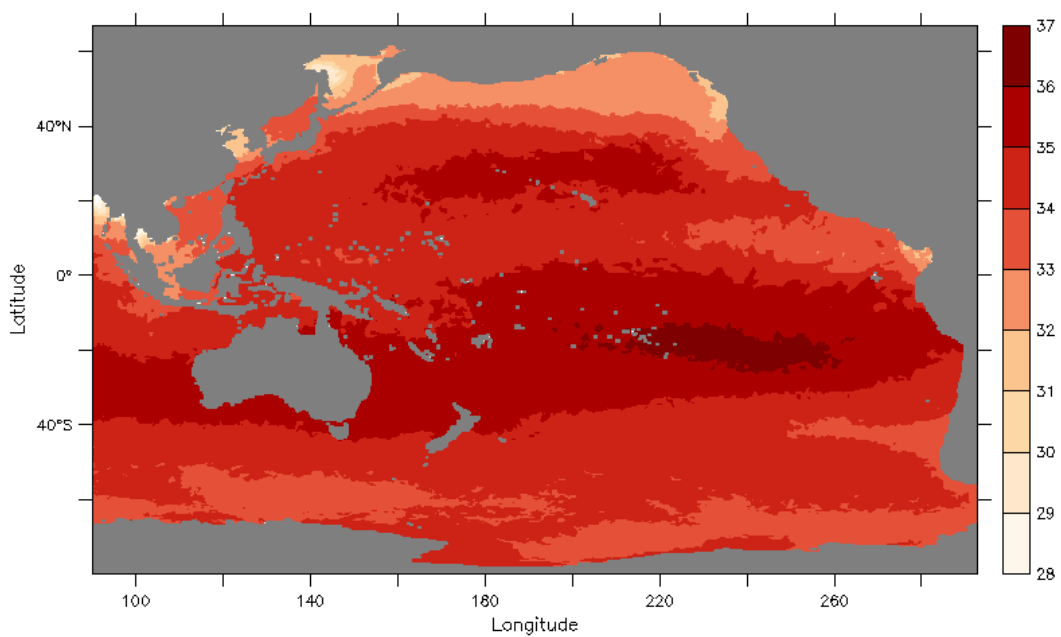
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

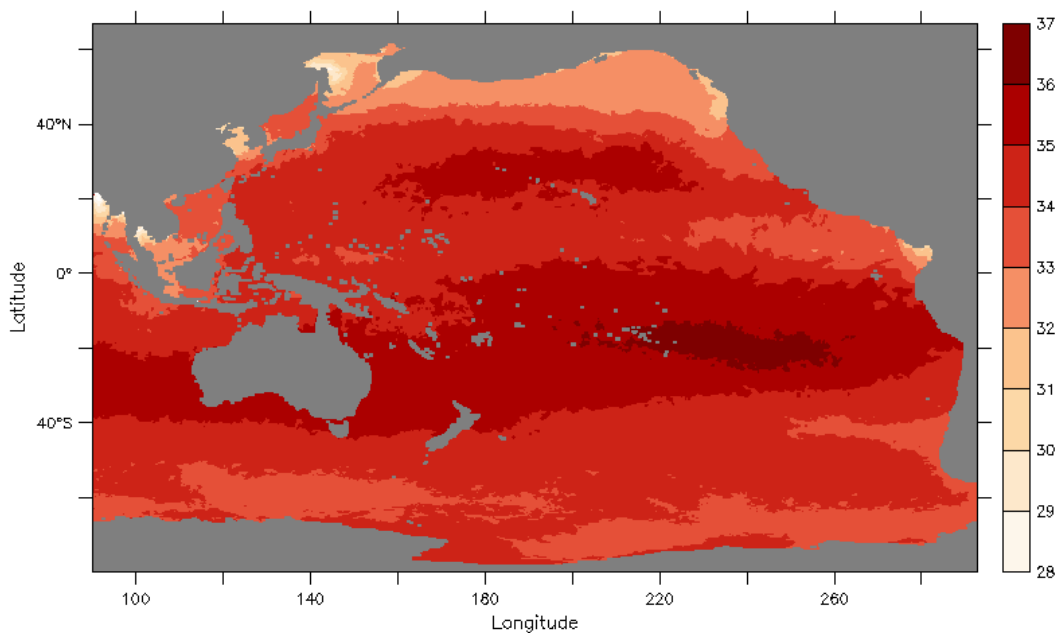
圖 4.3.1-6 預報 1 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

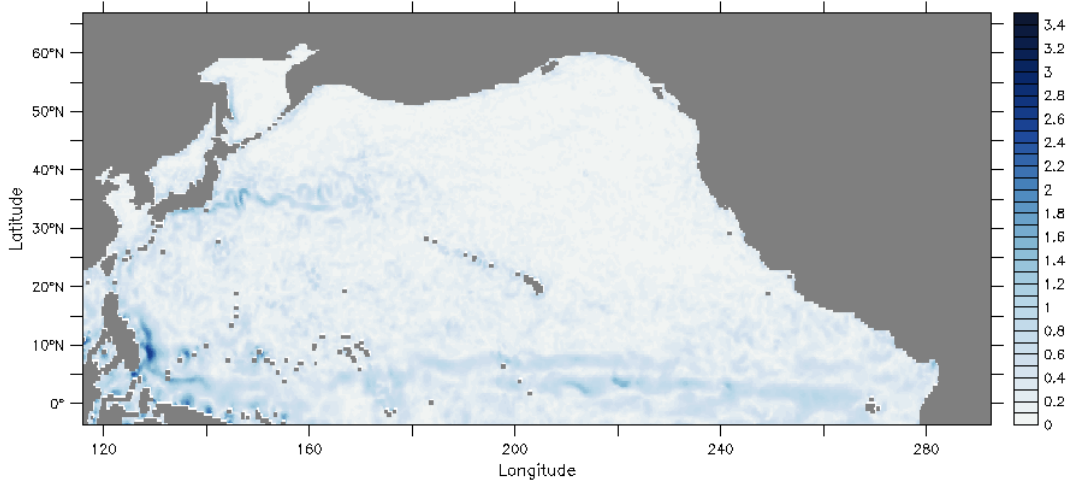
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

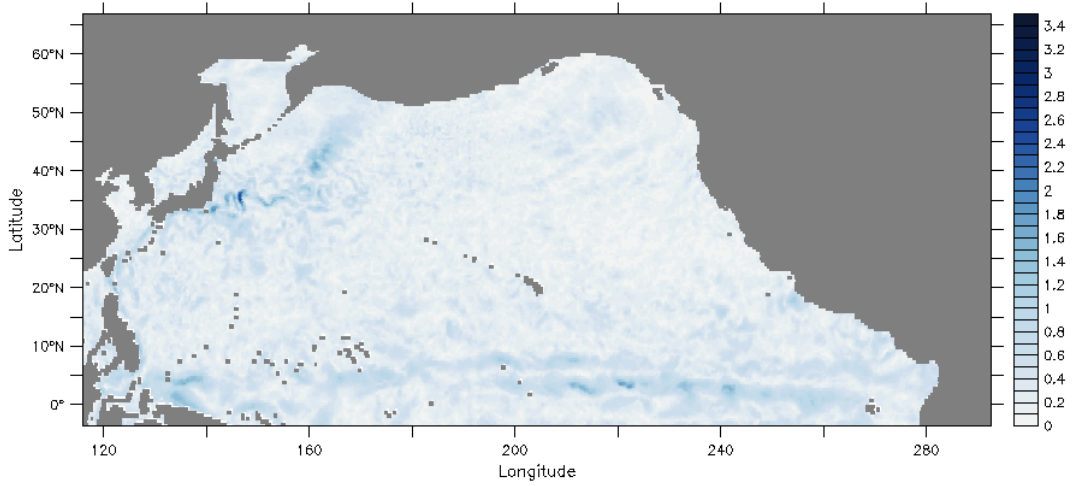
圖 4.3.1-7 預報 1 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

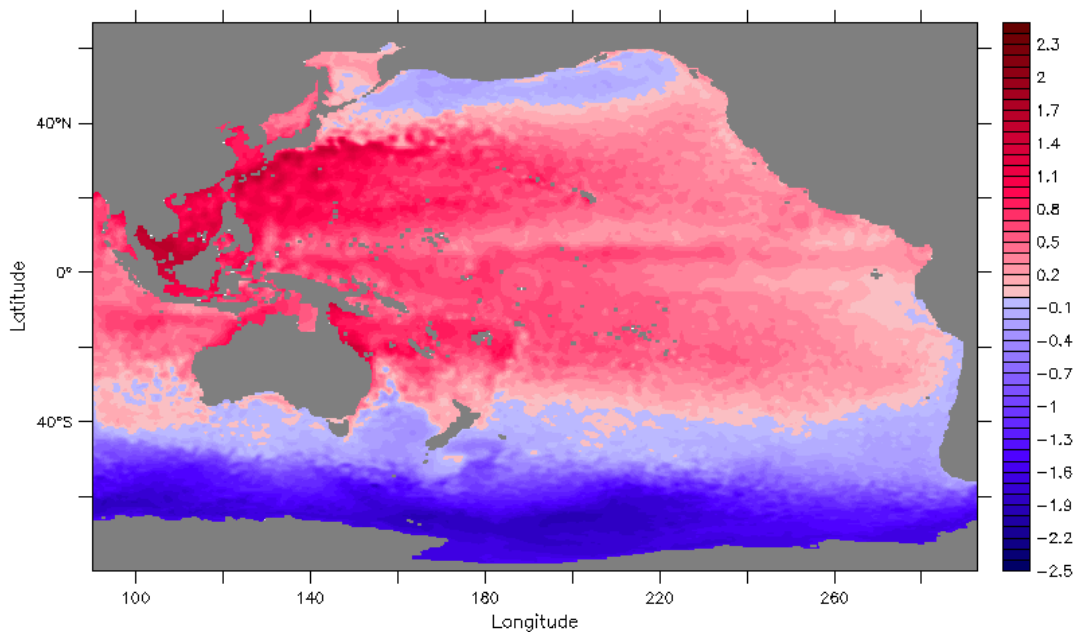
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

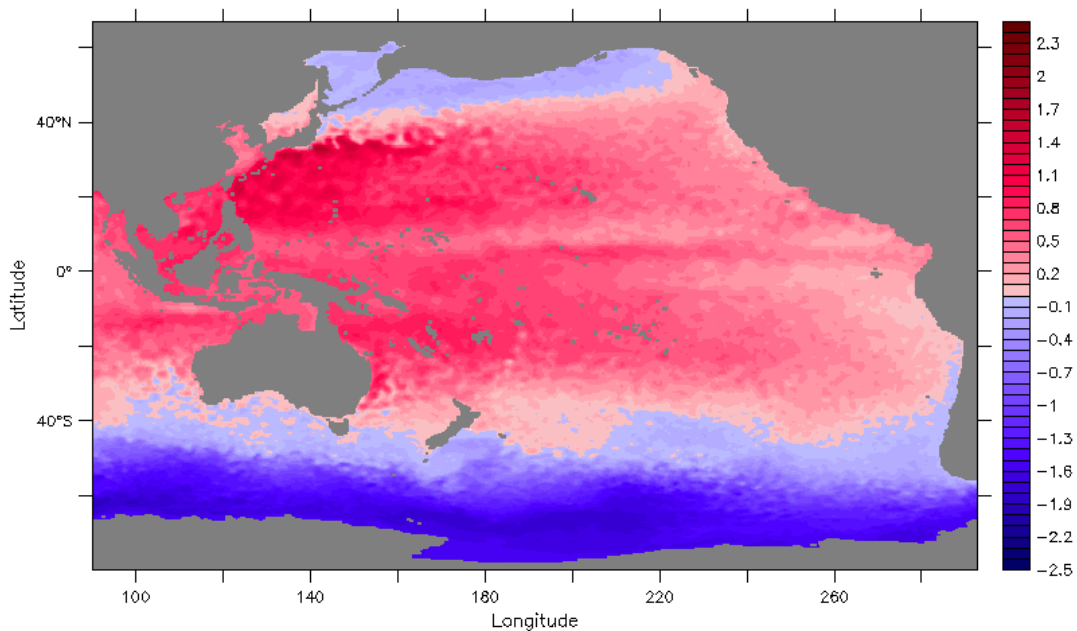
圖 4.3.1-8 預報 1 日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)

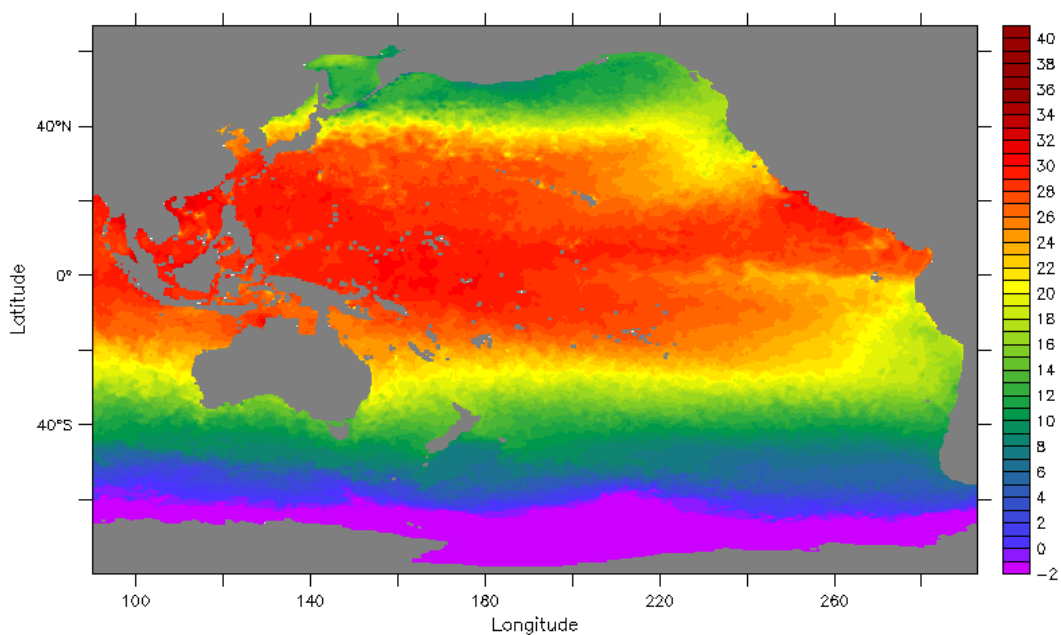
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

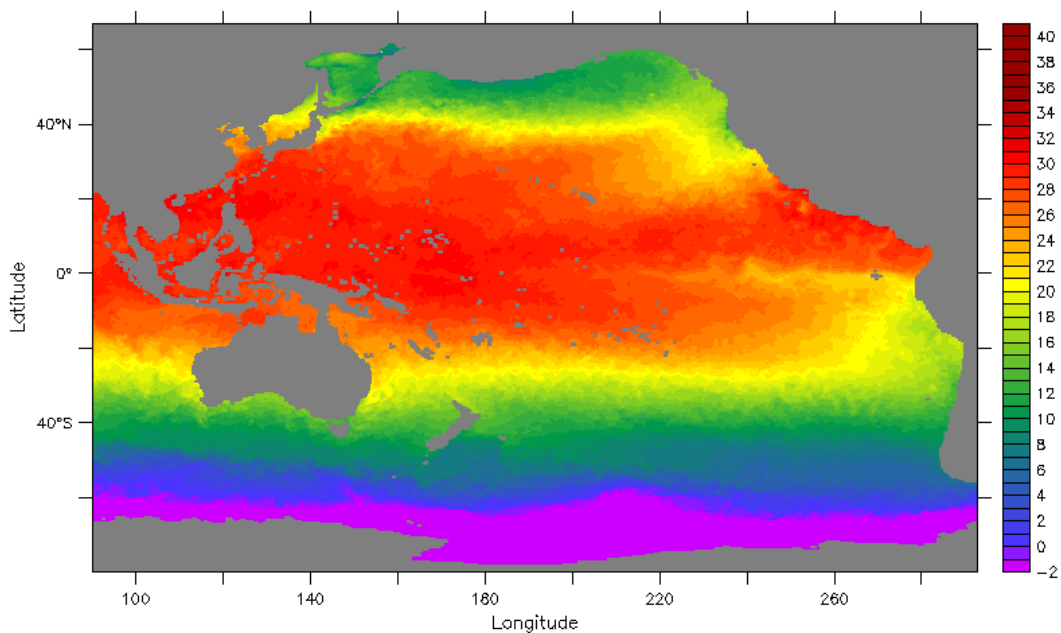
圖 4.3.1-9 預報 2 日日平均海平面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

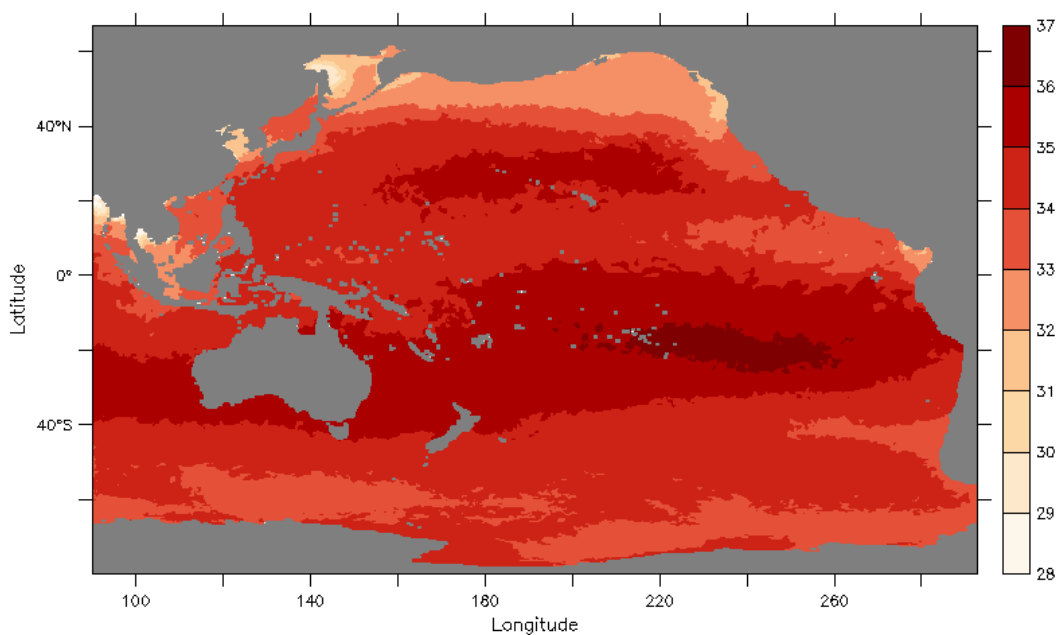
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

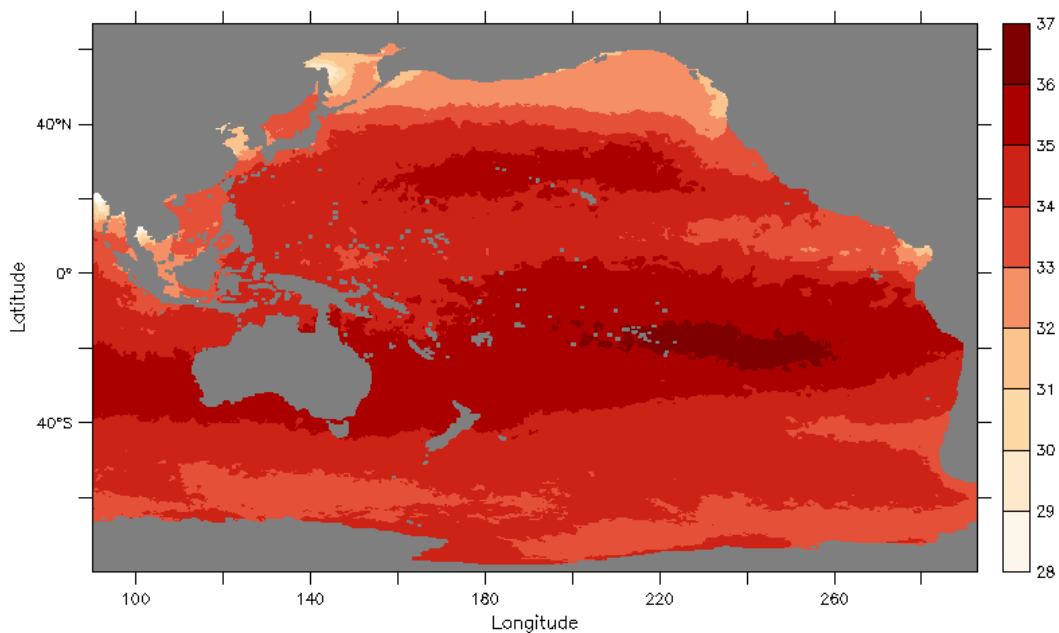
圖 4.3.1-10 預報 2 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

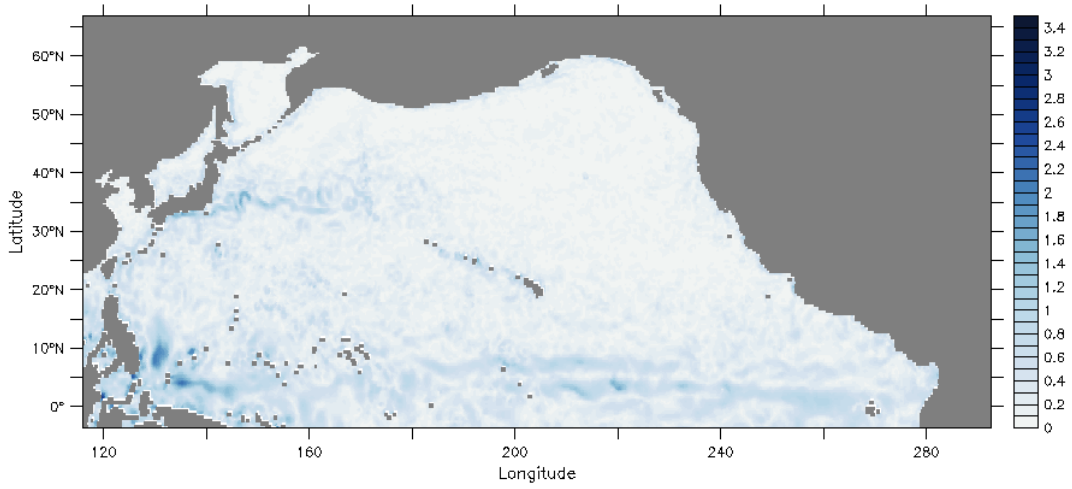
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

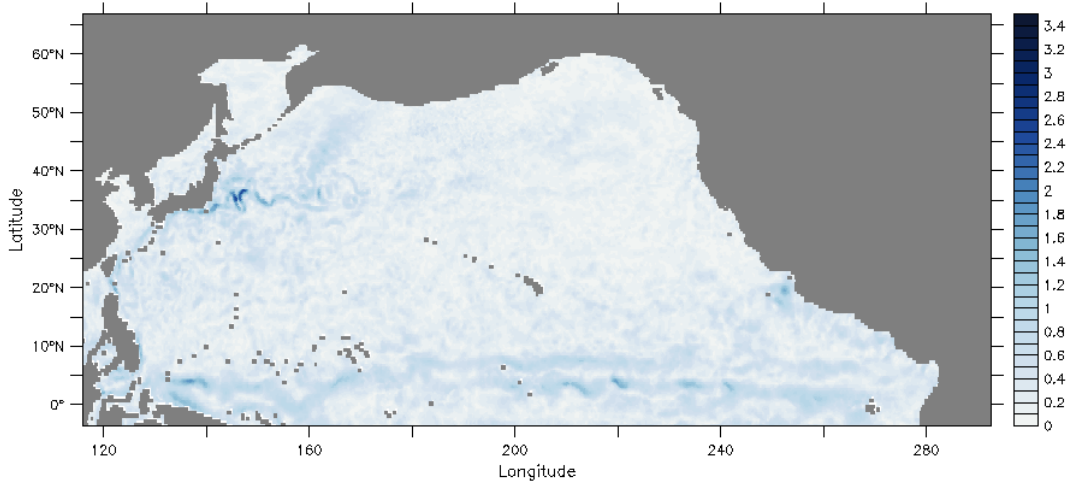
圖 4.3.1-11 預報 2 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

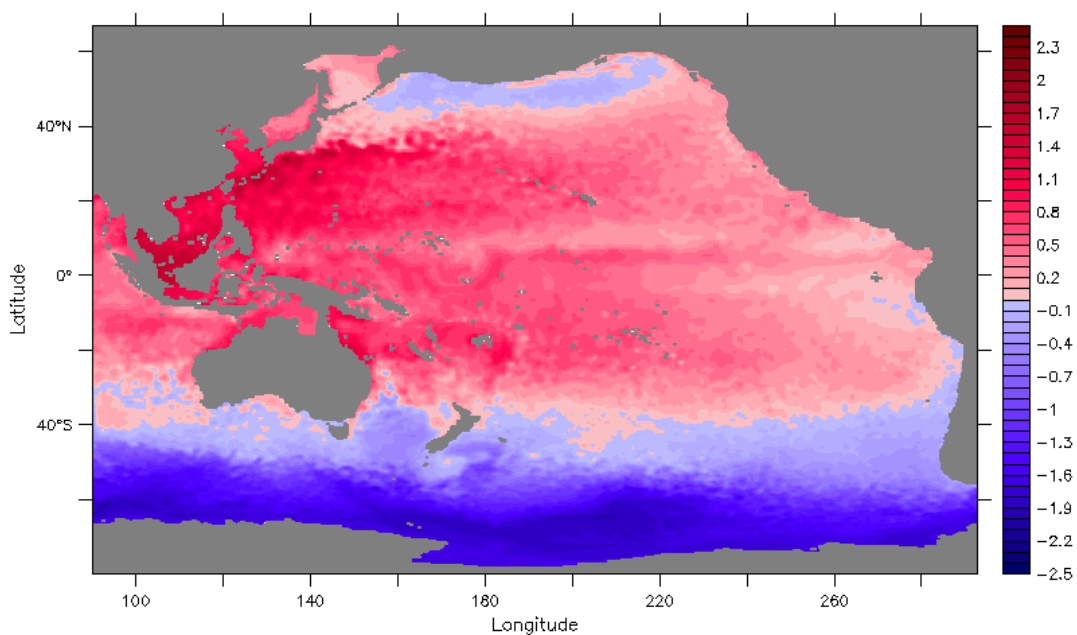
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

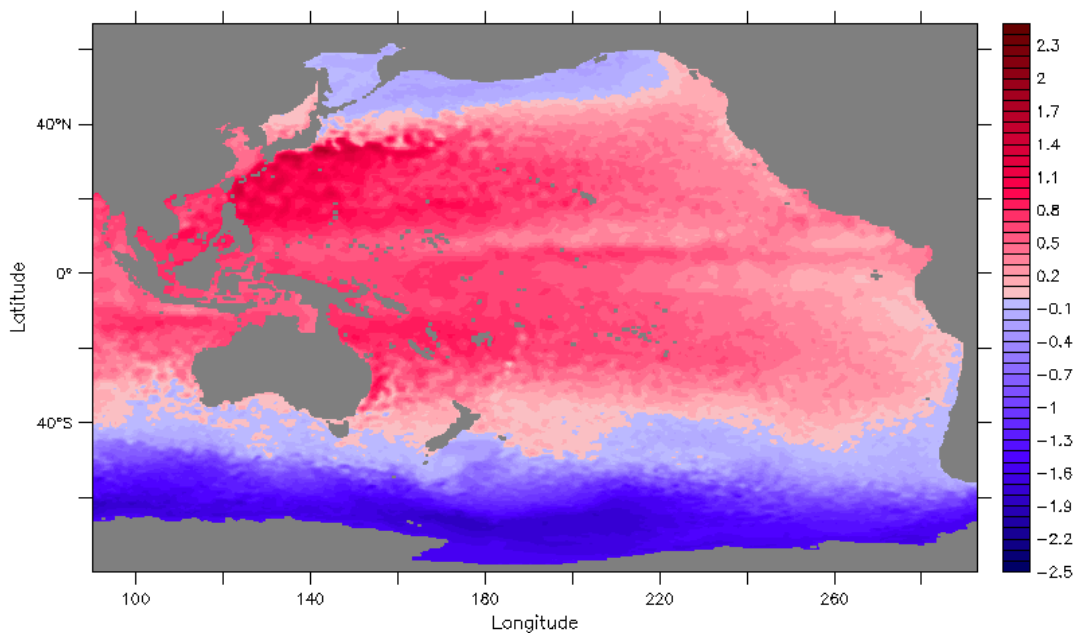
圖 4.3.1-12 預報 2 日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)

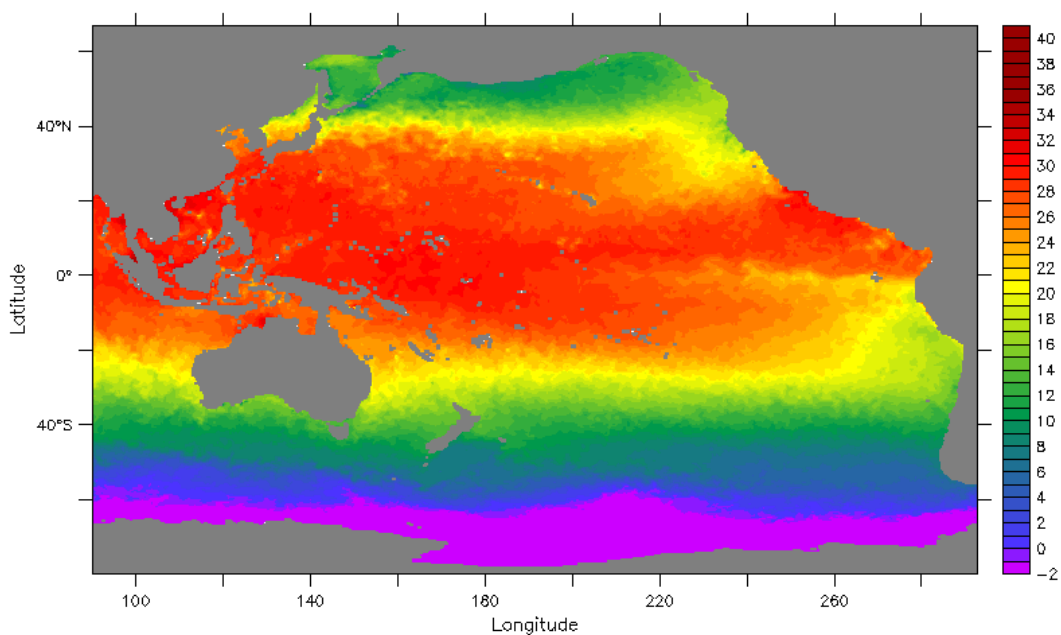
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

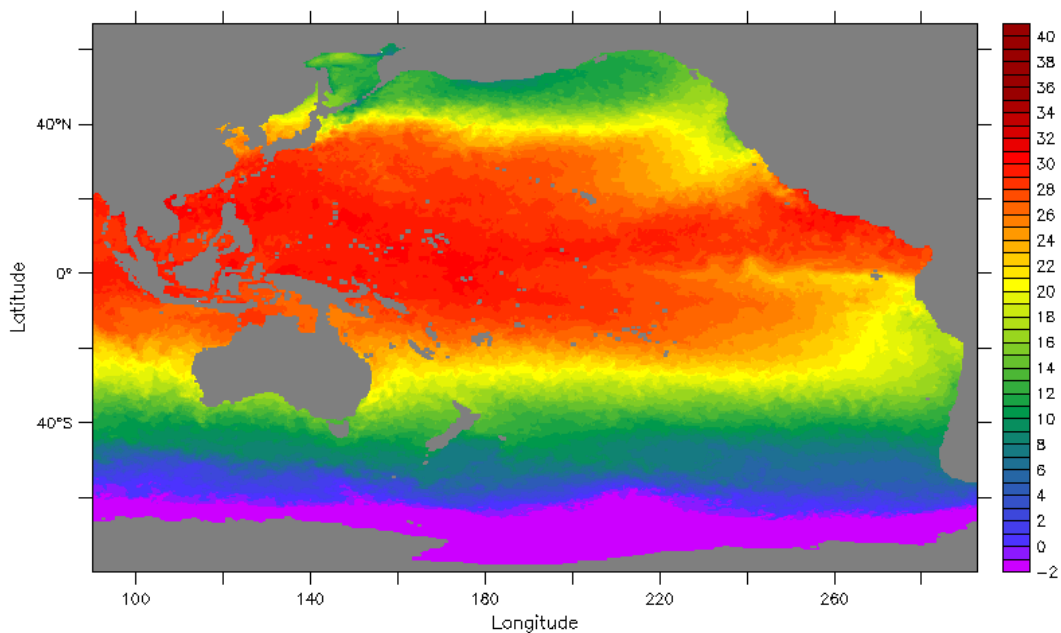
圖 4.3.1-13 預報 3 日日平均海平面高分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

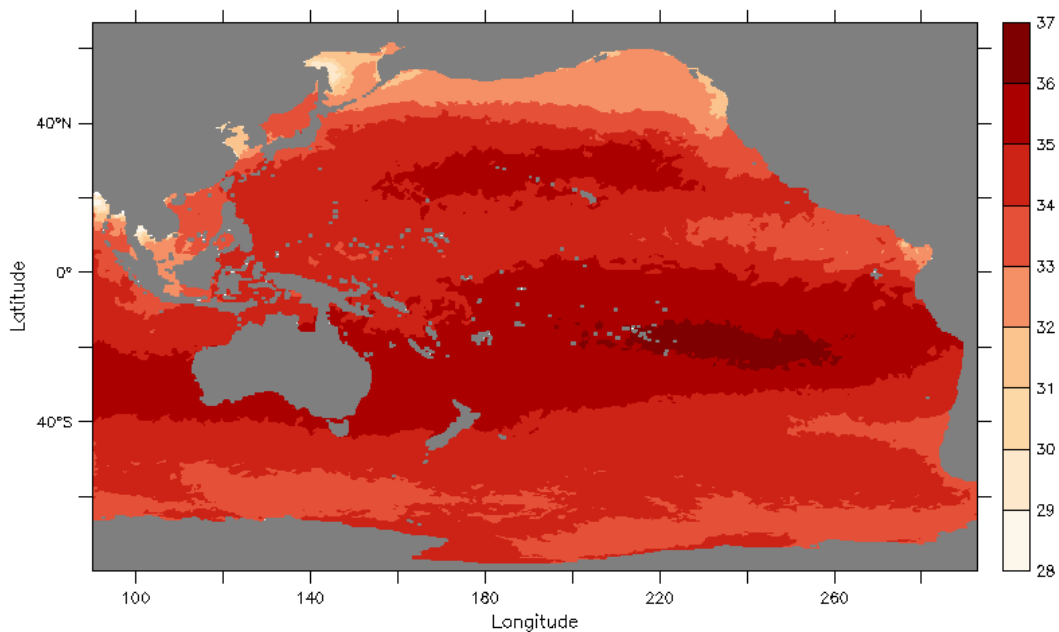
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

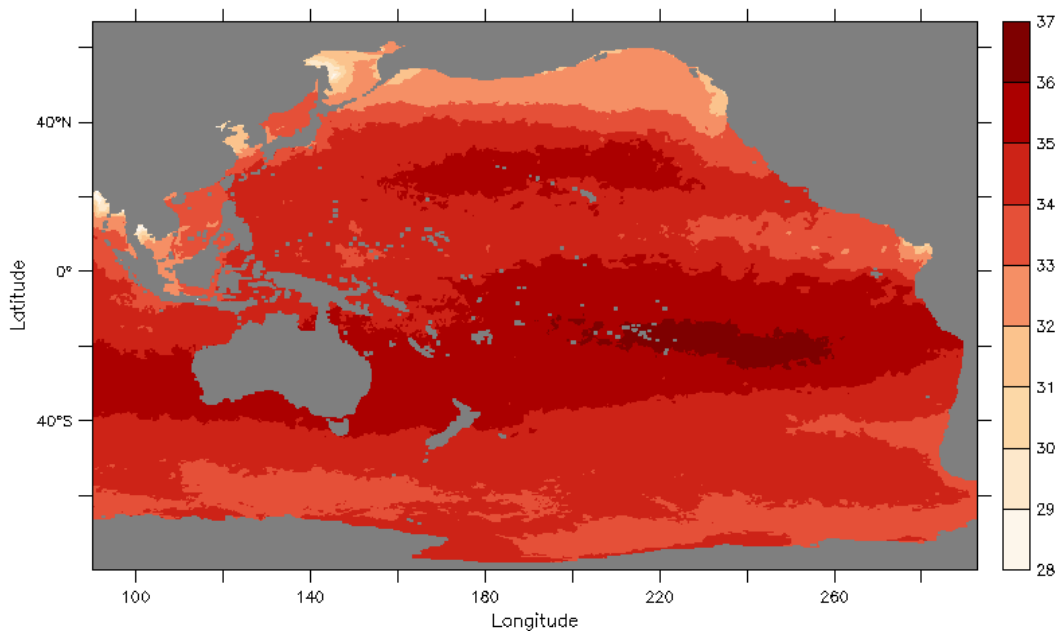
圖 4.3.1-14 預報 3 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

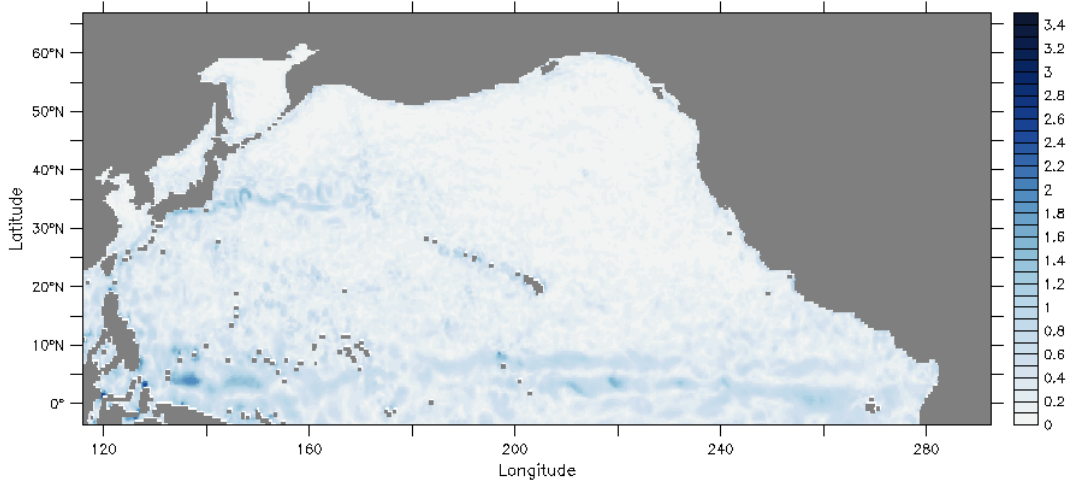
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

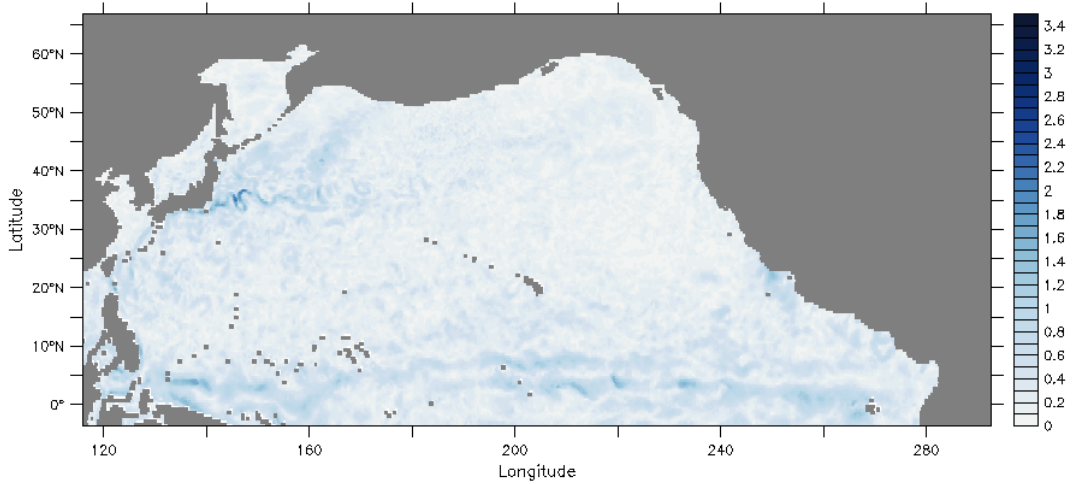
圖 4.3.1-15 預報 3 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

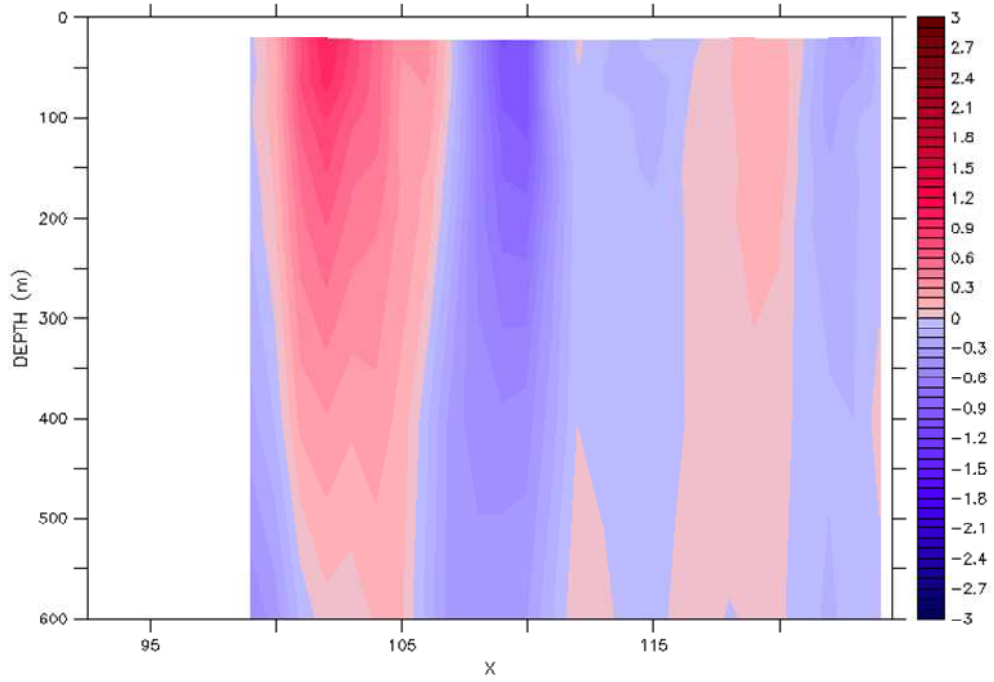
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

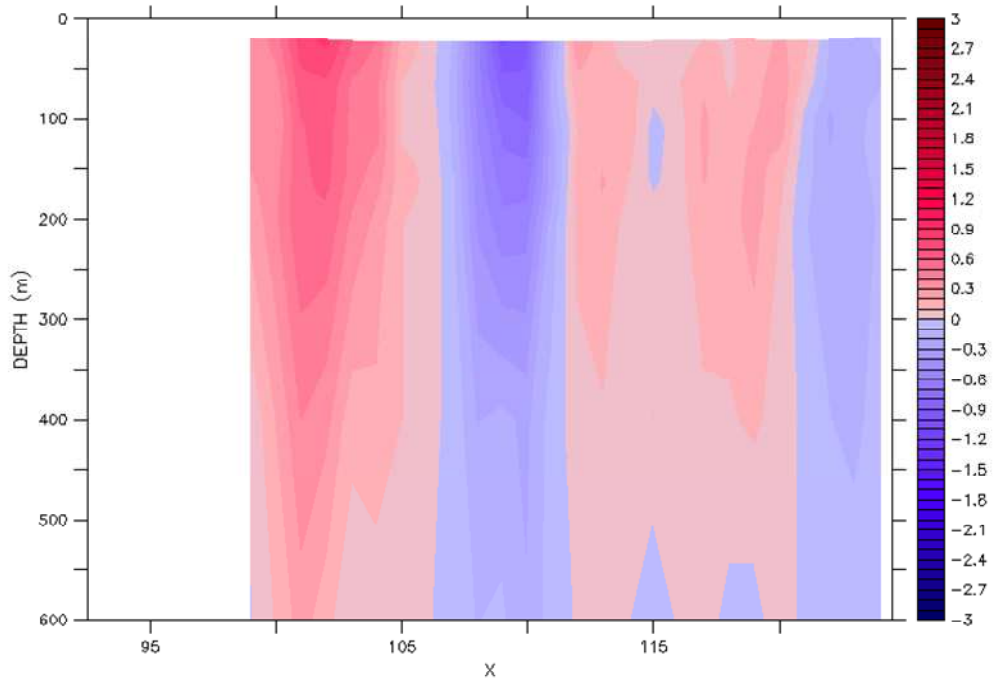
圖 4.3.1-16 預報 3 日海平面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

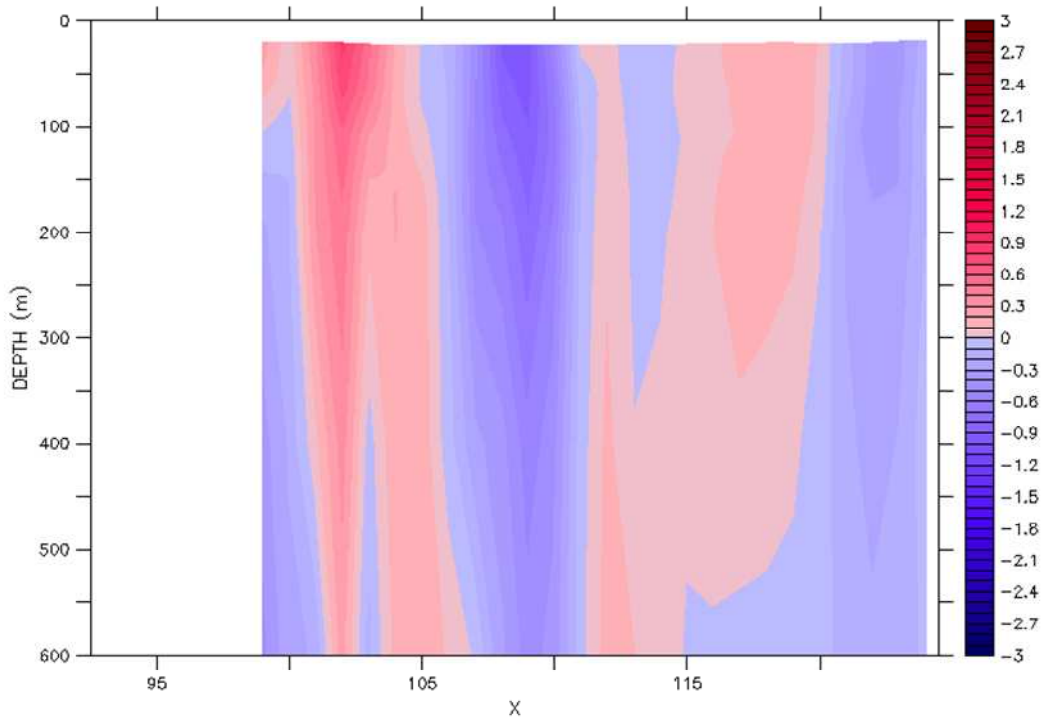
TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

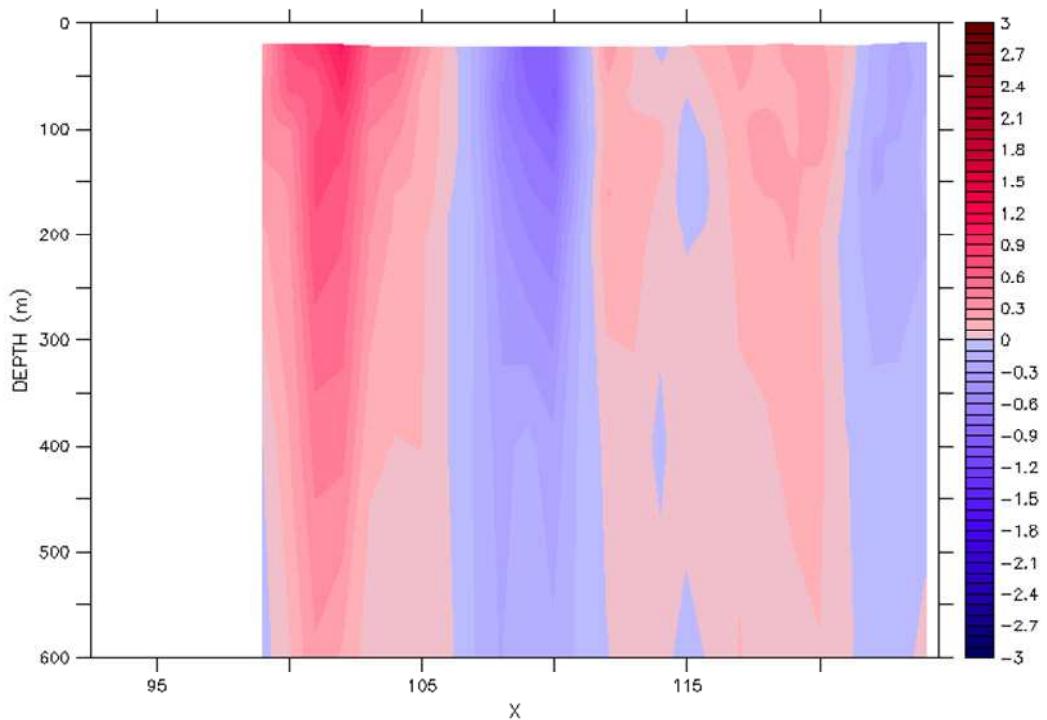
圖 4.3.1-17 現報日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

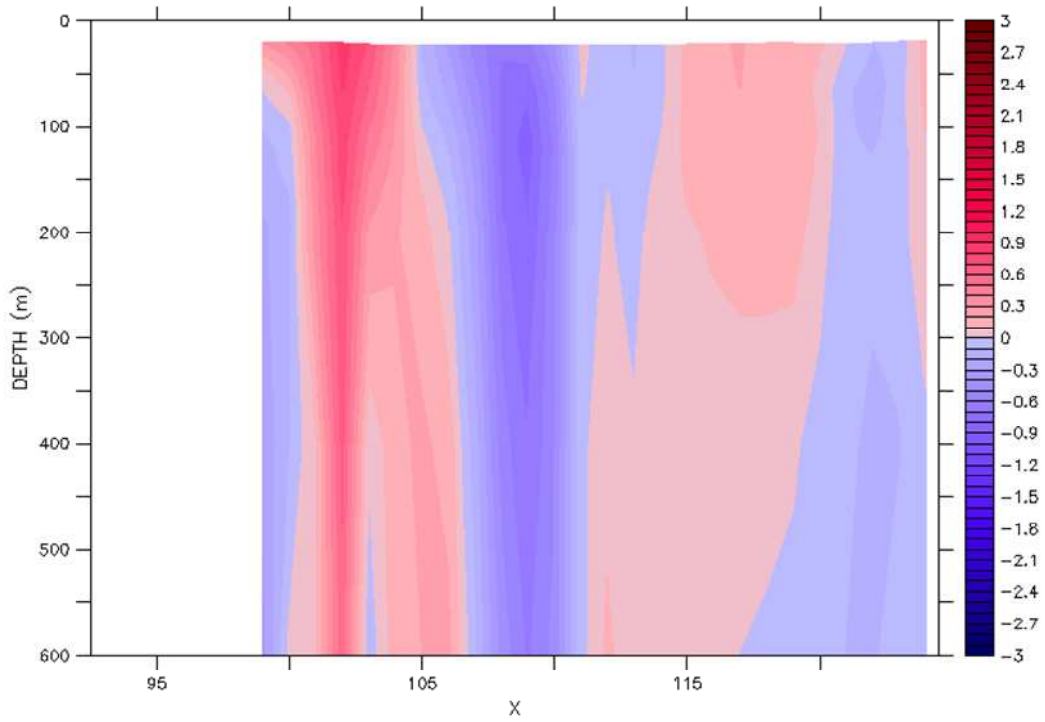
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

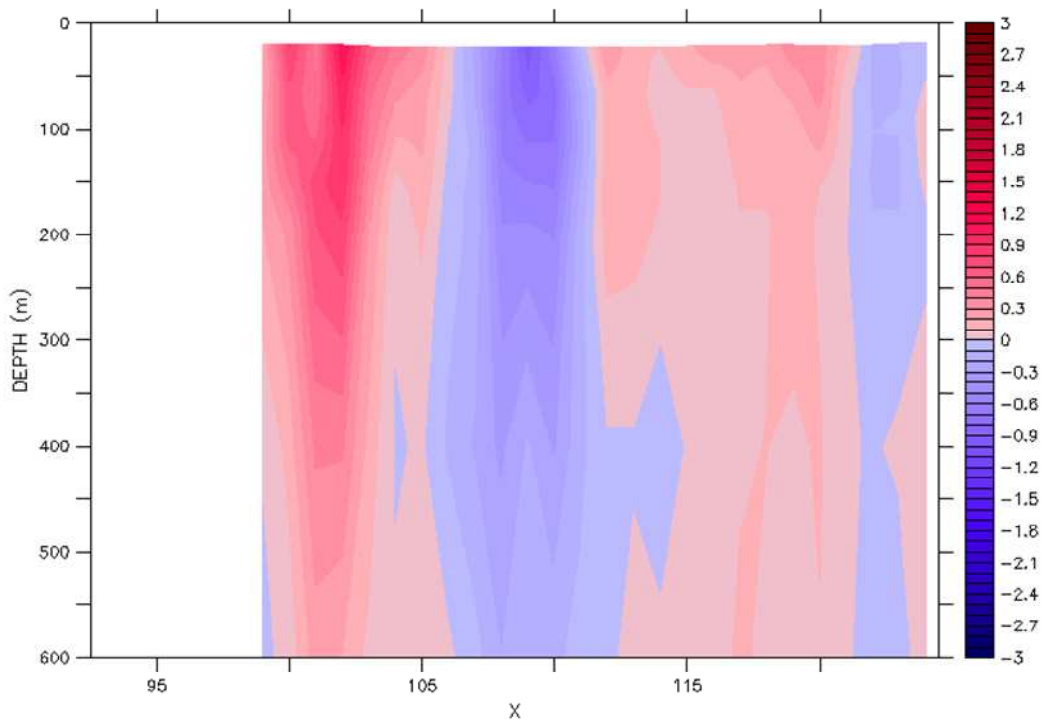
圖 4.3.1-18 預報 1 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

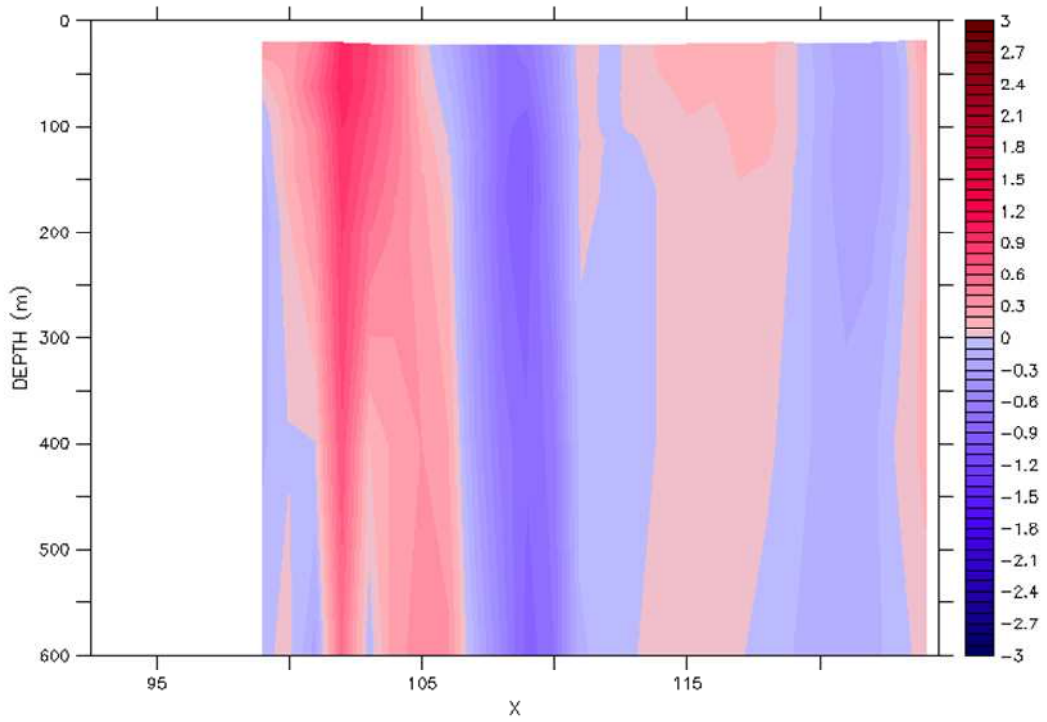
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

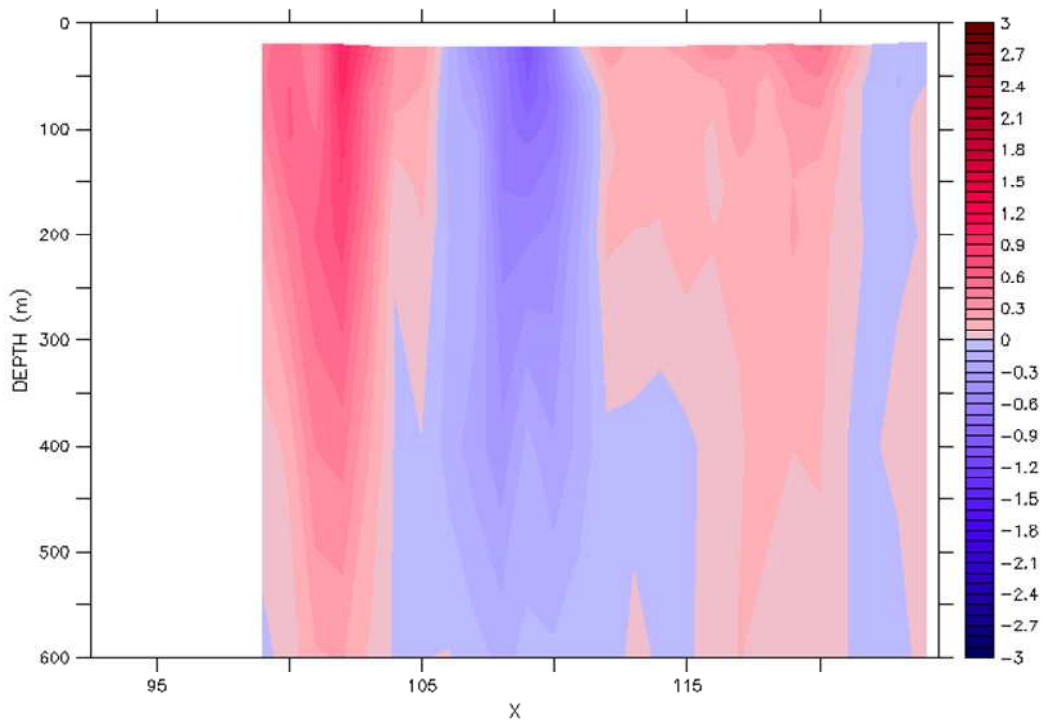
圖 4.3.1-19 預報 2 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

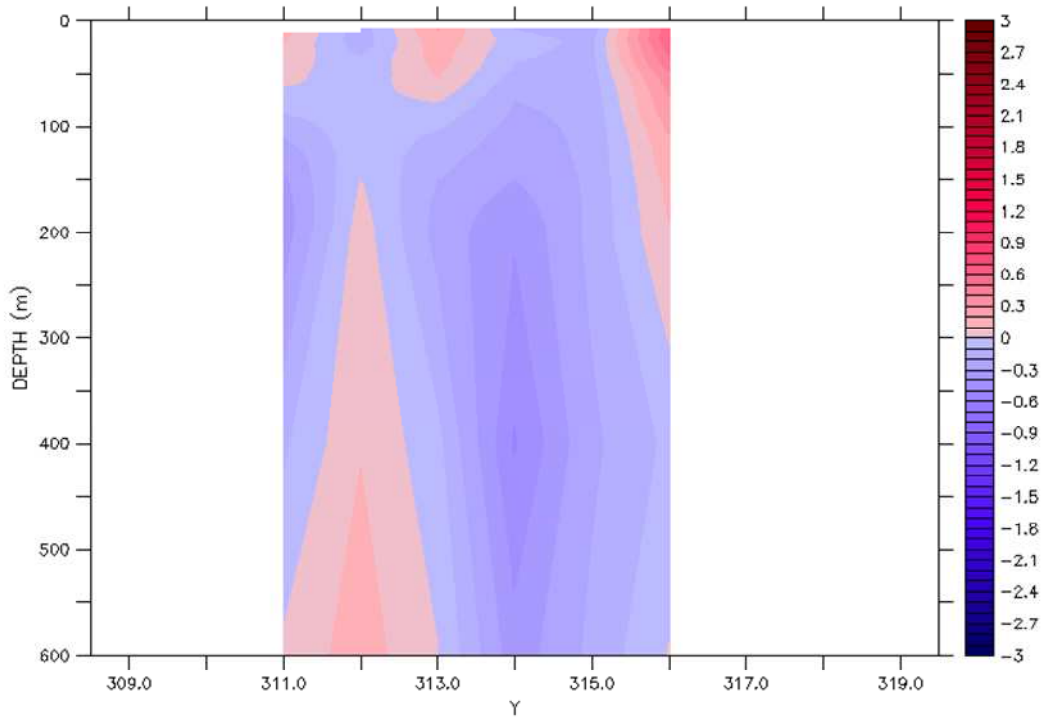
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

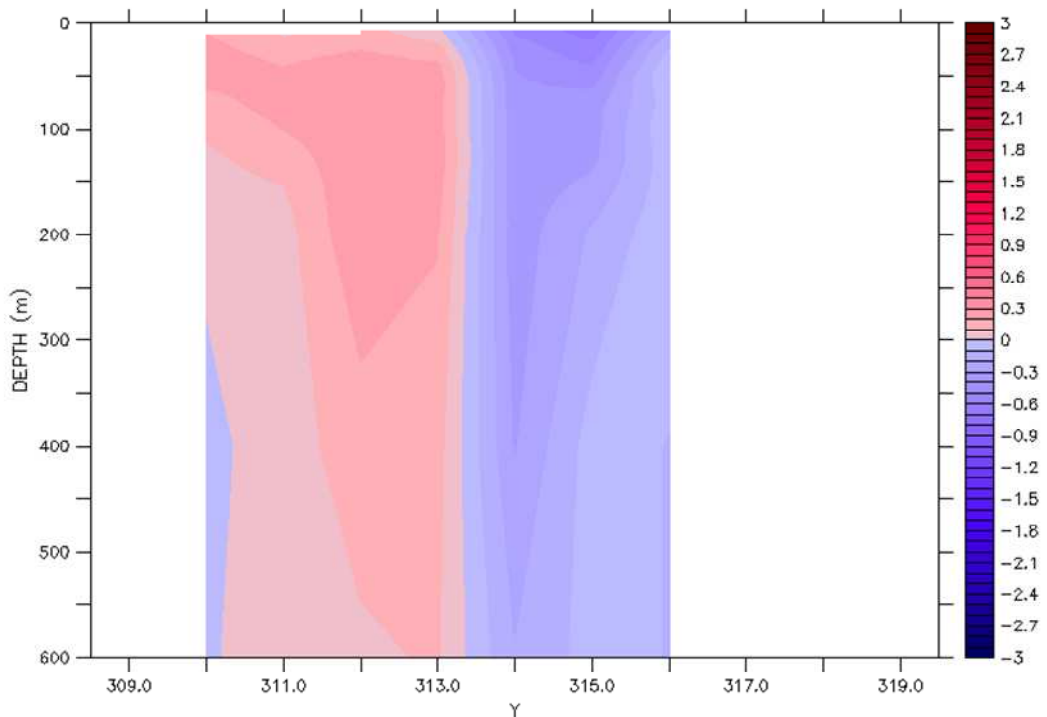
圖 4.3.1-20 預報 3 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

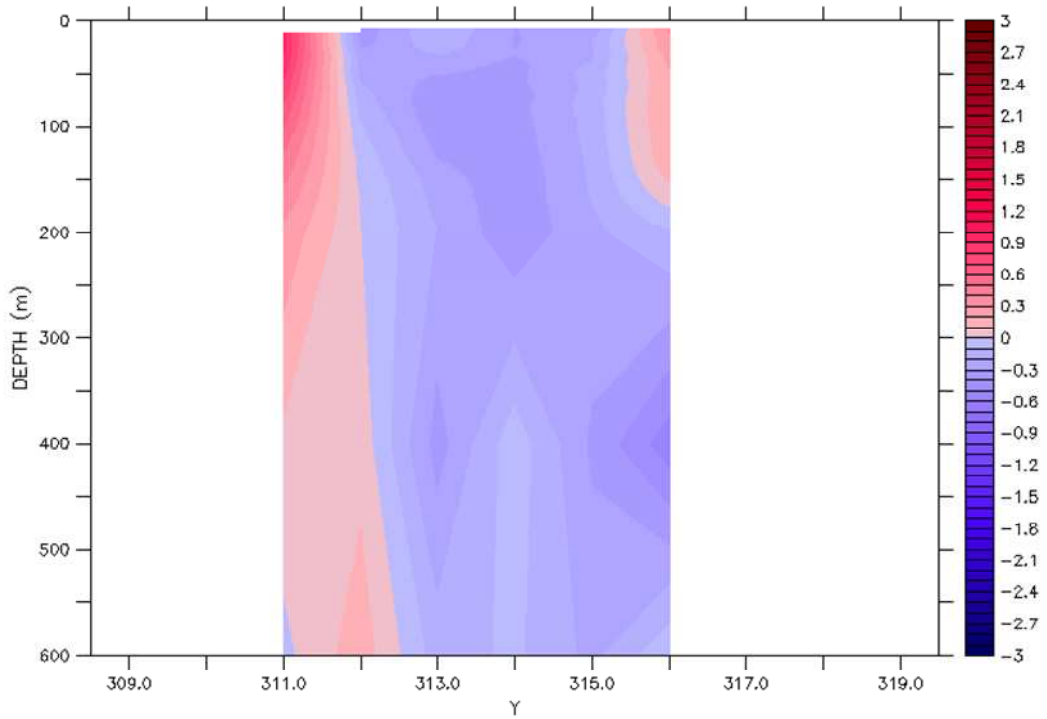
TIME : 31-AUG-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

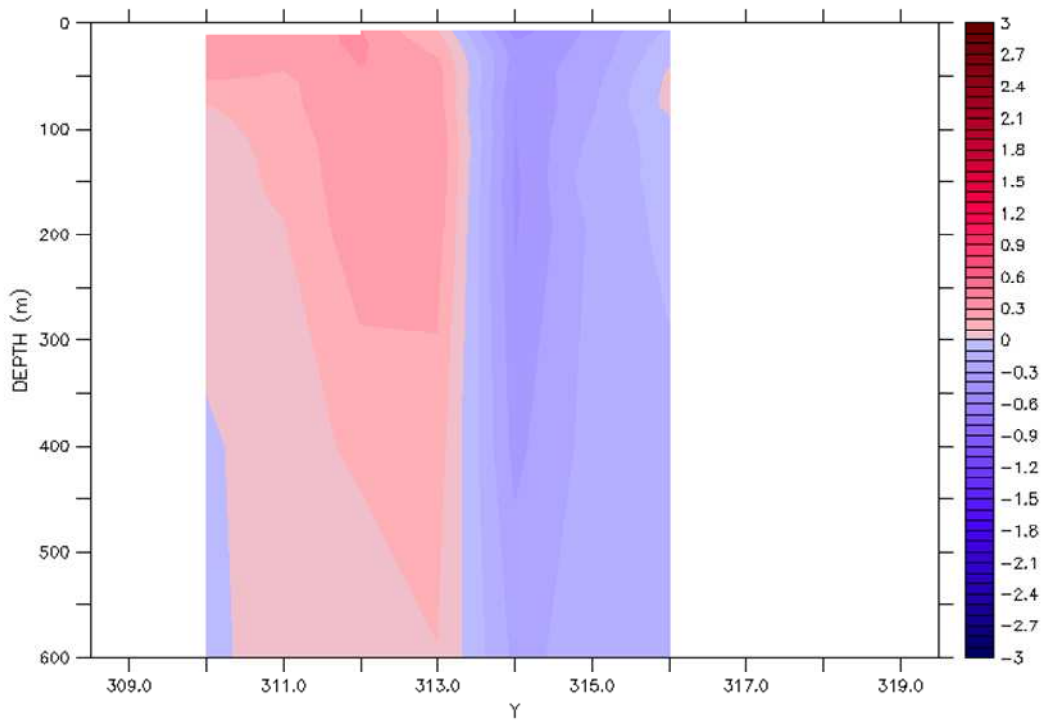
圖 4.3.1-21 現報日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

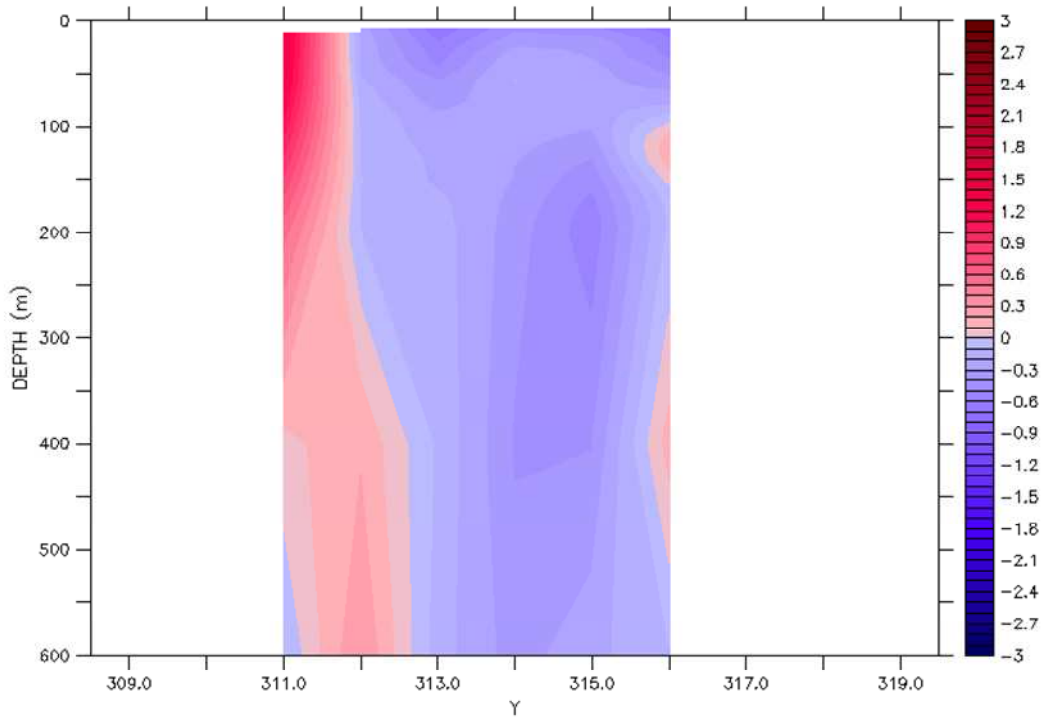
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

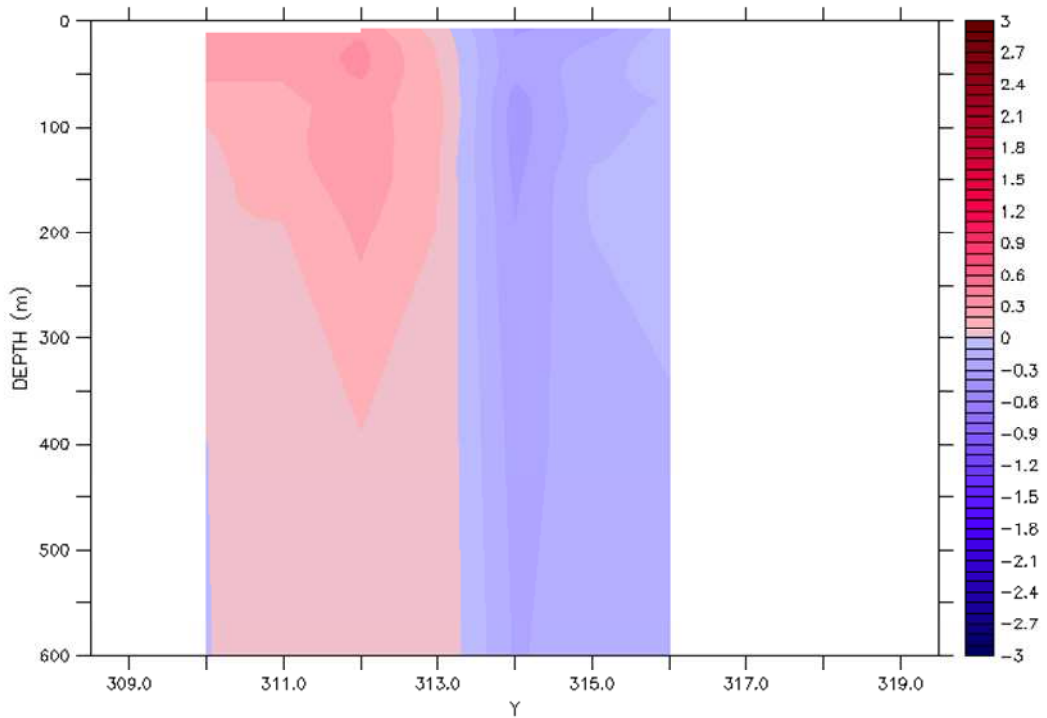
圖 4.3.1-22 預報 1 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

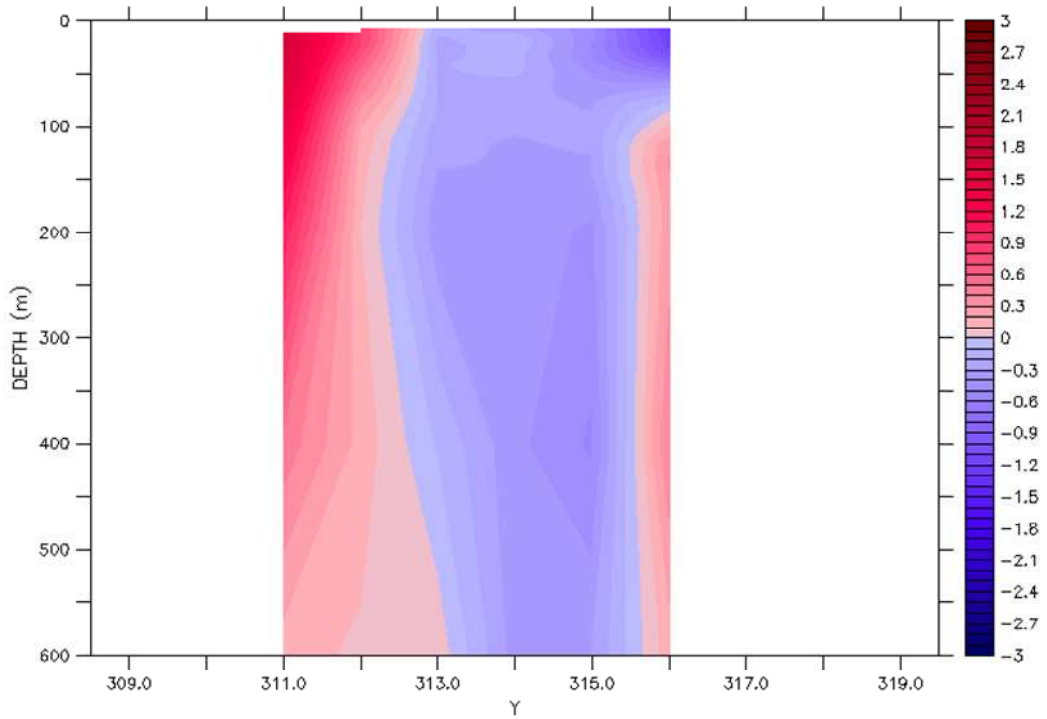
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

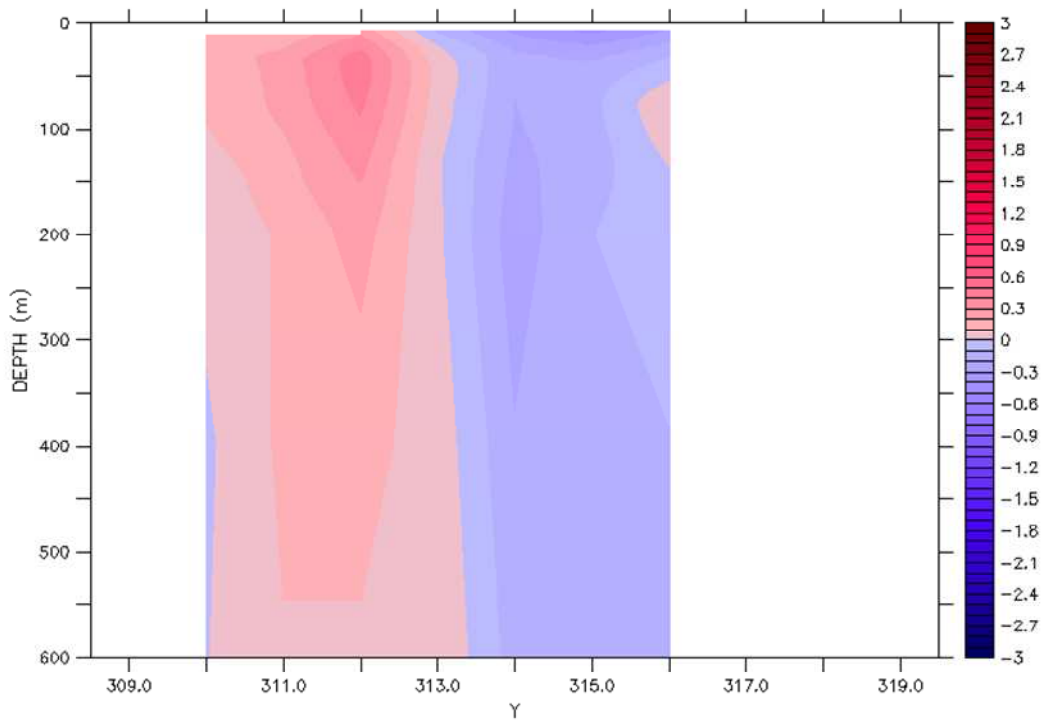
圖 4.3.1-23 預報 2 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

圖 4.3.1-24 預報 3 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

4.3.2 長期模擬分析

由短期預報的結果，可以在趨勢上與經過資料同化的 HYCOM 模式結果接近，但是仍可以發現模式有小部份區域有慢慢偏移的狀況產生，因此利用 OCM1 進行長期的模擬，來瞭解模式發散的狀況，本次模擬同樣由 2009 年 8 月 31 日透過 HYCOM 的初始場進行模擬，以下呈現模擬一個月中間表層溫度的變化狀況。

圖 4.3.2-1 至圖 4.3.2-3 為 OCM1 由 2009 年 8 月 31 日開始模擬至 9 月 30 日的表面溫度變化。由圖中不可發現再北緯 0 度至 40 度的海域中間，在 10 日模擬之後會有較低溫的水團漸漸傳遞至表層，造成表層水溫降低，模擬時間愈長區域愈明顯。由於目前僅進行短期預報，而此現象在 10 天後才會漸漸發生，因此對於現階段規劃的預報期間並不影響，而在未來要延長預報時間時，則可以採用資料同化的方式降低模式發散的狀況。

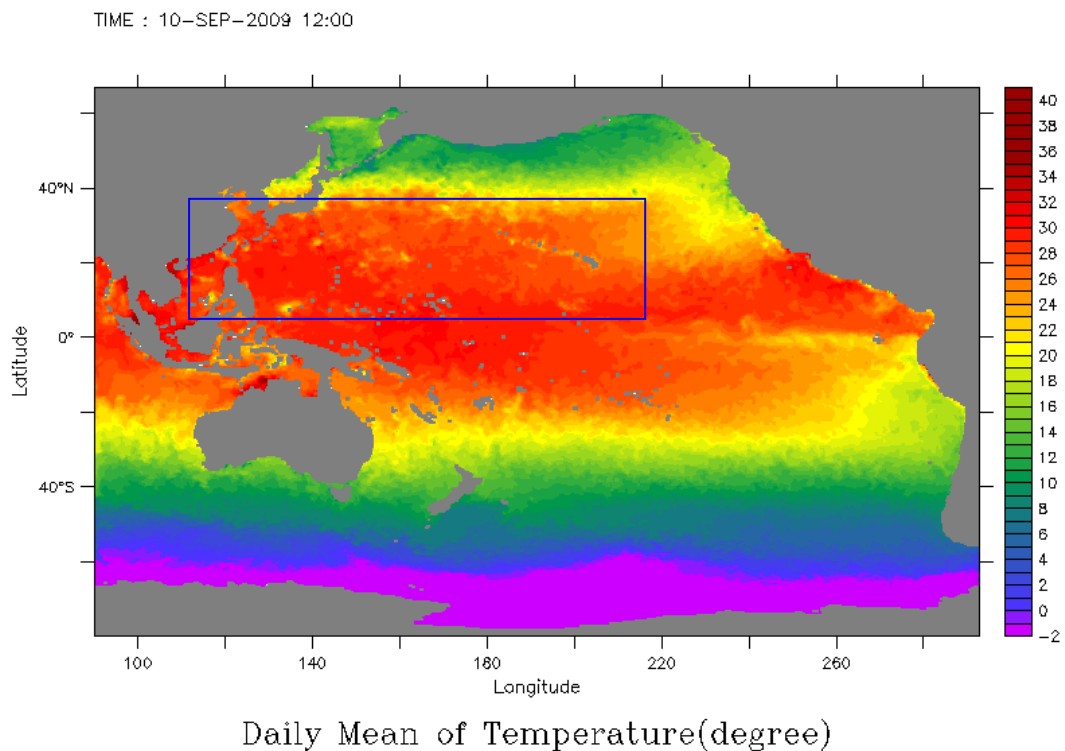
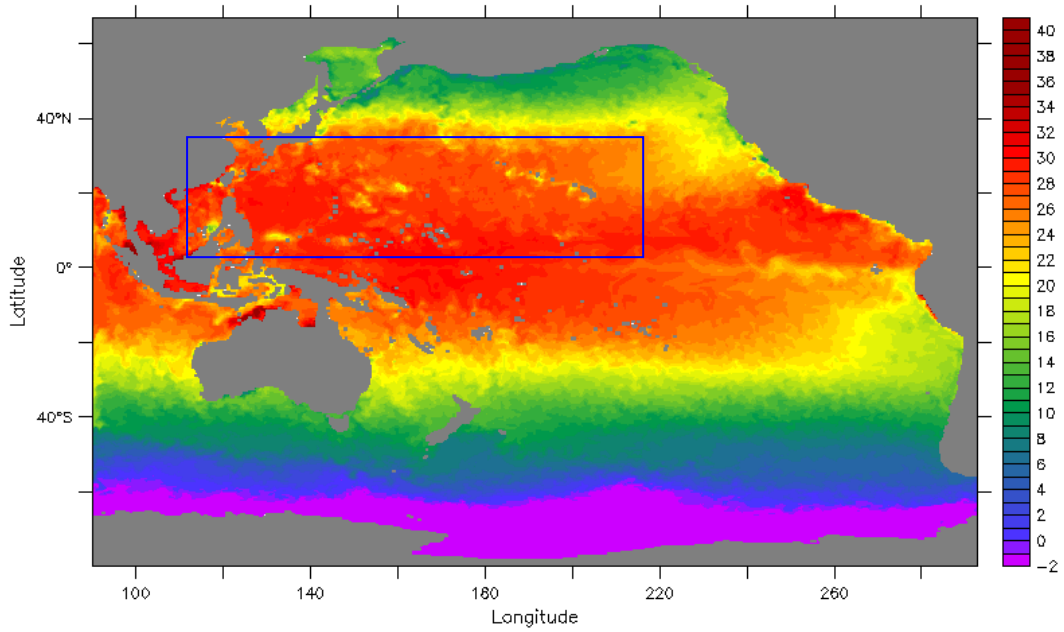


圖 4.3.2-1 OCM1 於 2009 年 9 月 10 日海表面平均溫度分佈

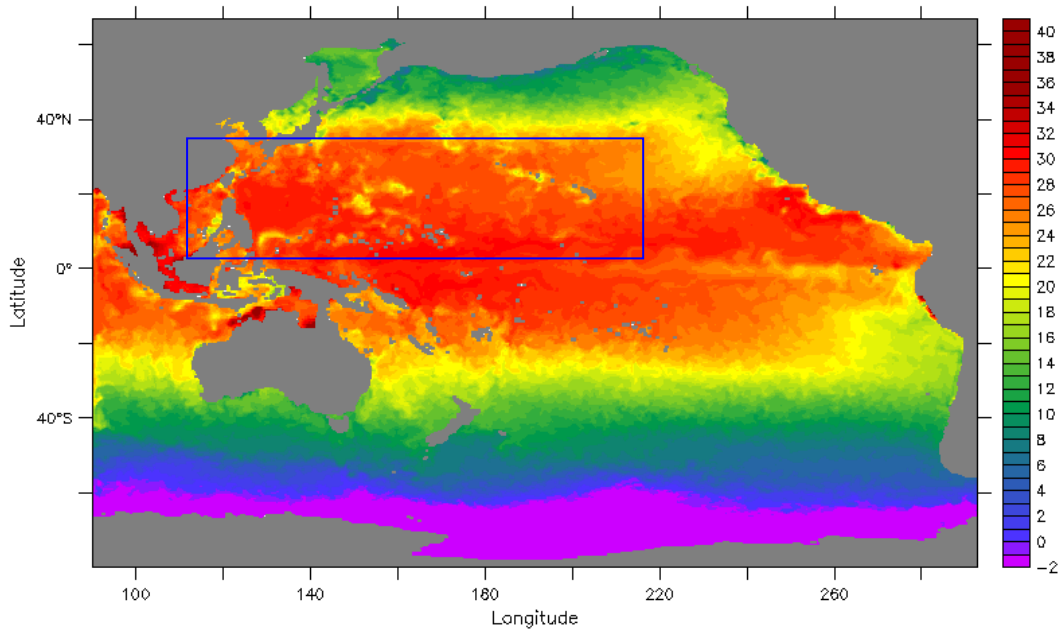
TIME : 20-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

圖 4.3.2-2 OCM1 於 2009 年 9 月 20 日海表面平均溫度分佈

TIME : 30-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

圖 4.3.2-3 OCM1 於 2009 年 9 月 30 日海表面平均溫度分佈

第五章 西北太平洋環流模式(OCM2)

依照海洋環流模式架構，太平洋環流模式建置完成後，便進行西北太平洋環流模式的建置，提供未來台灣海域海流模式運算的邊界條件及初始條件。西北太平洋已於去年度完成建置，本年度進行模式比對及校驗。

5.1 模式範圍網格設定

模式範圍需涵蓋整個黑潮路徑以及大部分的颱風路徑，因此選定範圍由南緯 20 度至北緯 67 度，東經 90 度至東經 180 度，如圖 5.1-1 所示。模式地形資料透過 etopo2 全球地形資料擷取出來，由於近岸地區在此模擬範圍對黑潮流向及中尺度渦流的影響不大，因此最小地形深度設定為 40 公尺。

模式網格解析度為 1/8 度，水平網格數為 722(經度方向) x 706(緯度方向)點，經度方向最小網格距離為 5.4 公里，最大網格距離為 14 公里，垂直分層為 40 層，採用 s 座標分層，如此在最淺海域每層厚度可達到 1 公尺，最大厚度為 46 公尺。

ROMS 在實際計算點的選擇是透過乾濕點的設置決定，如此可將沒影響(內陸湖泊)或影響較小(半封閉海域、海灣)的計算區域排除，節省模式計算時間。圖 5.1-2 為西北太平洋環流模式計算點(濕點)配置，乾濕點變化僅將東北部與白令海峽連接的一小區域設定為乾點，此區僅有一小通道與太平洋連結，因此將其設為乾點也不會影響整體趨勢，同時避免東邊界與陸地點過近，造成模式不穩定。

西北太平洋環流模式由於解析度更細，因此在 3 維時間步長(time step)設定為 30 秒，2 維步長設定為 3 秒。

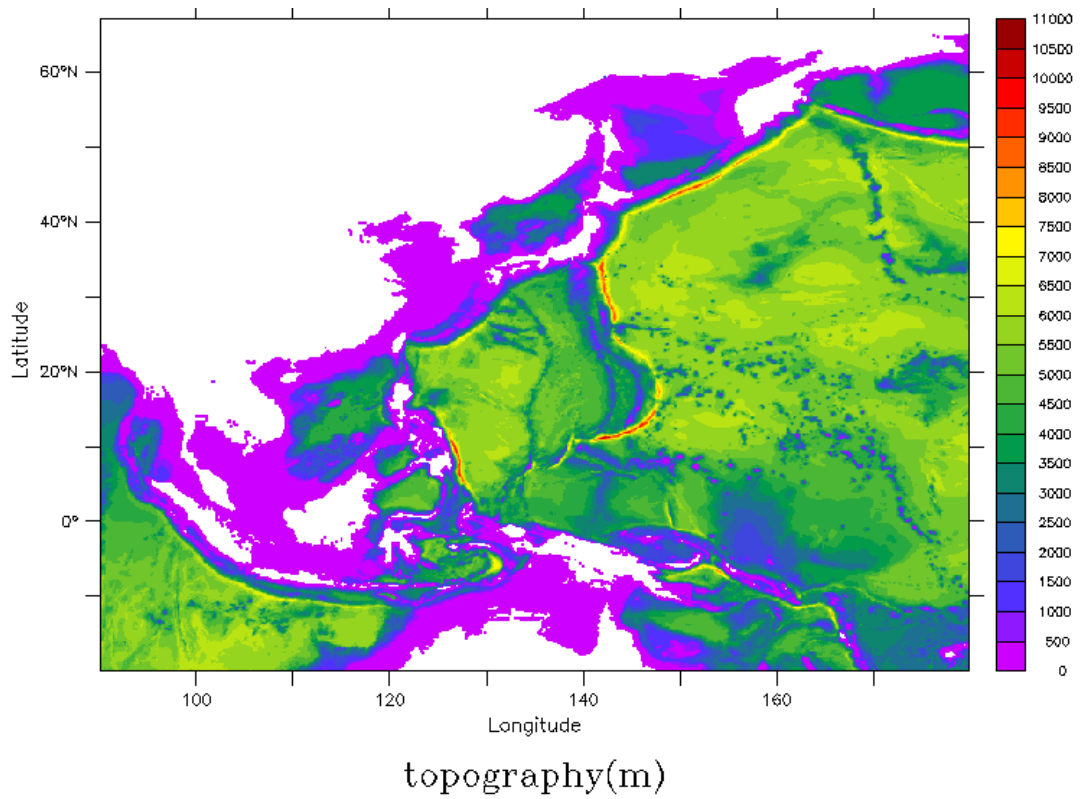


圖 5.1-1 西北太平洋環流模式範圍地形圖

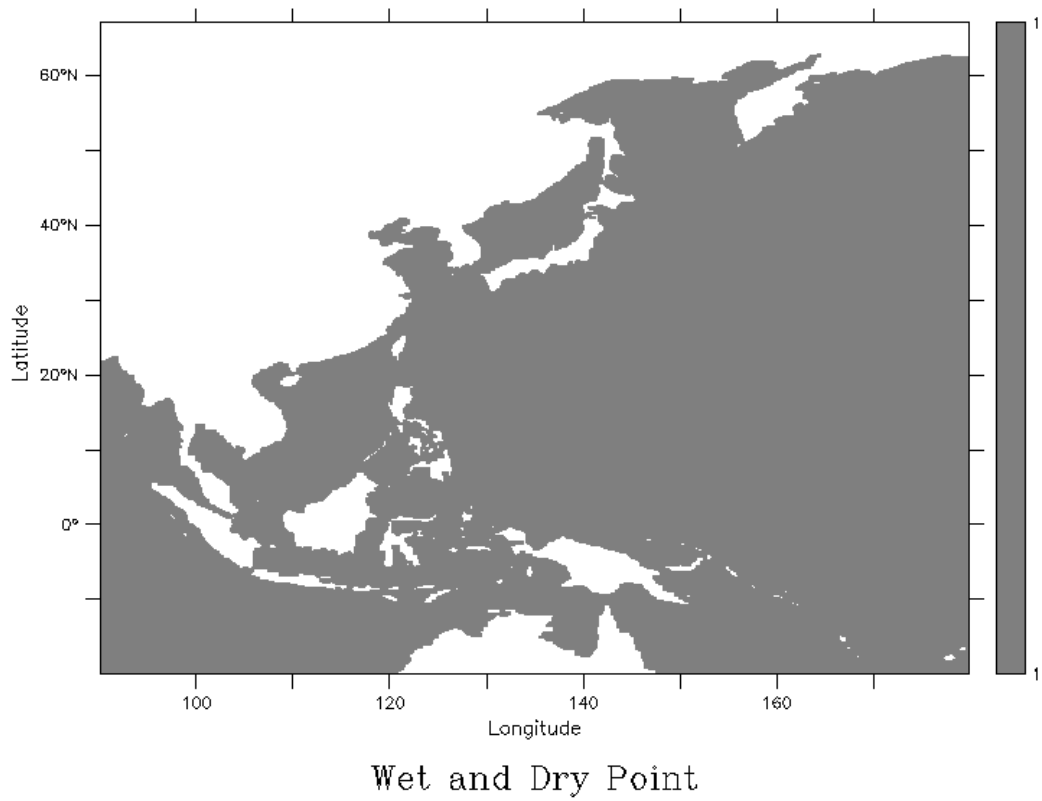


圖 5.1-2 西北太平洋環流模式計算點(濕點)配置

5.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力

西北太平洋環流模式(OCM2)的模擬範圍為海流預報系統的第二層模式，初始條件為接收太平洋環流模式的結果，然目前太平洋環流模式的結果還未校驗完成，因此目前仍暫時使用 HYCOM 全球模式(解析度為 1/12 度)2009 年 9 月 1 日的計算結果作為西北太平洋環流模式的初始條件，待太平洋環流模式結果穩定後，便可引入西北太平洋環流模式進行同步運算，達成巢式網格設定的目的，模式使用的資料為水表面高度、三維流速、溫度及鹽度資料。模式邊界條件同樣也使用 HYCOM 模式結果輸入，輸入的項目與初始條件相同。目前邊界條件為使用月平均場輸入。未來也會與初始場一樣使用太平洋環流模式的結果進行運算。

OCM2 在驅動力的設定與 OCM1 相同，皆為風剪力、淨熱通量、短波輻射、淨降雨量及海表面溫度等變數資料，同樣使用 2009 年 NCEP 重分析氣象資料(目前使用的資料為月平均值)進行驅動，對於氣象條件的反應立即性較差，現階段增加時間上的密度(使用日平均資料，未來持續改進為每六小時一筆資料)以及改用第一種輸入形式，將更多氣象資料引入模式計算。

5.3 模式結果

本年度因為受限於氣象局 HPC 計算資源的限制(cpu 使用數量及磁碟空間)，將原本的預報時程規劃更改為短期預報，OCM2 模式原來預計每兩週執行一次，現報過去兩星期及預報未來兩星期，目前更改為每日執行，根據 OCM1 提供的初始及邊界資料，預報 72 小時。由於 OCM1 的預報結果僅與 HYCOM 進行初步比對，並未完整效驗完畢，因此目前仍暫時使用 HYCOM 現報結果作為 OCM2 的初始及邊界做短期預報的設定，待 OCM1 完整校驗完成後，再引入 OCM2 進行預報模擬。

圖 5.3-1 至圖 5.3-12 為 OCM2 接收 OCM1 在 2009 年 9 月 1 日的初始值(海水表面高度、三維流速、溫度及鹽度資料)進行 3 天的預報運算得到每日平均值與 HYCOM 現報資料進行比對。圖 5.3-13 至圖 5.3-15 為北緯 23 度(台灣東北部)黑潮路徑垂直剖面比對圖，圖 5.3-16 至圖 5.3-18 為東經 121 度(呂宋海峽)黑潮路徑垂直剖面比對圖。

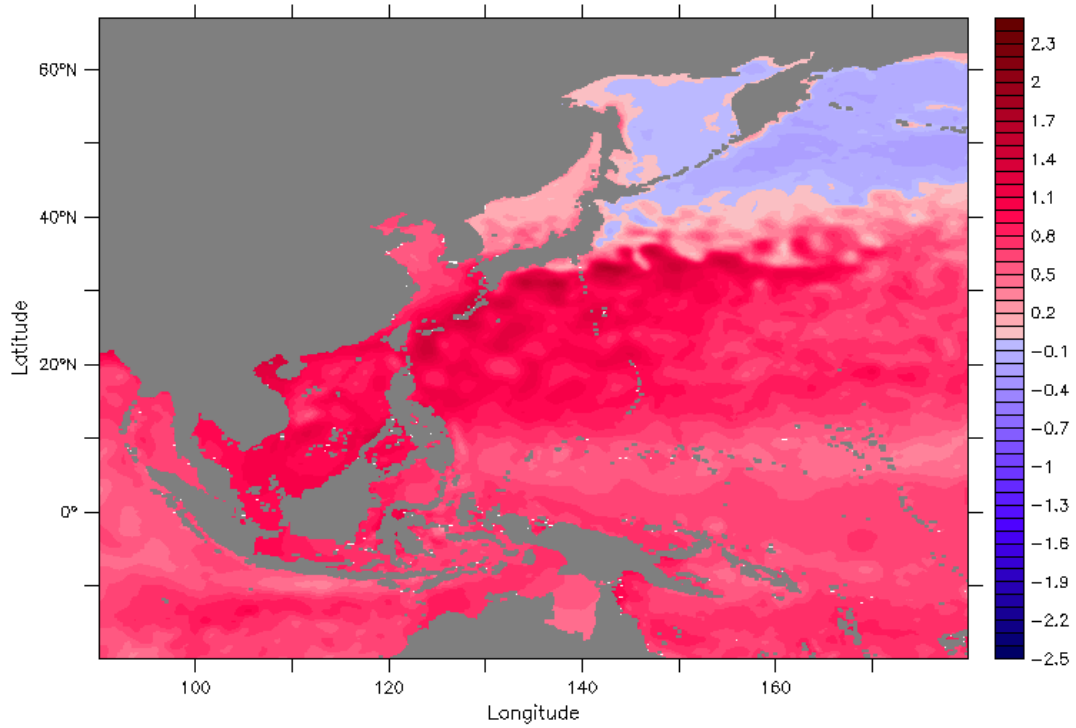
圖 5.3-1 至圖 5.3-4 為預報 1 日的結果。海水表面高的部份與現報日的結果接近，鄂霍次克海域高估的區域縮減；海水溫度則發現原本產生低溫的南海海域菲律賓西岸(北緯 15 度附近)有增大的趨勢，其餘地區與 HYCOM 結果接近；鹽度部份與水溫類似，高估的區域同樣增大；流速分佈在菲律賓東部出現流速較大的區域，此部份與 OCM1 的結果類似，經過一天運算後流速以不若 OCM1 明顯，更趨近於 HYCOM 的結果。

圖 5.3-5 至圖 5.3-8 為預報 2 日的結果。此日比對結果在海水表面高、溫度及鹽度與預報 1 日的結果類似，僅在流速部份，原本產生於菲律賓東部流速極大區流速有減小的變化趨勢。

圖 5.3-9 至圖 5.3-12 為預報 3 日的結果。此天的比對結果與預報 2 日結果差異不大，有變化的是流速分佈，菲律賓東邊海域的流速極大區持續縮小。

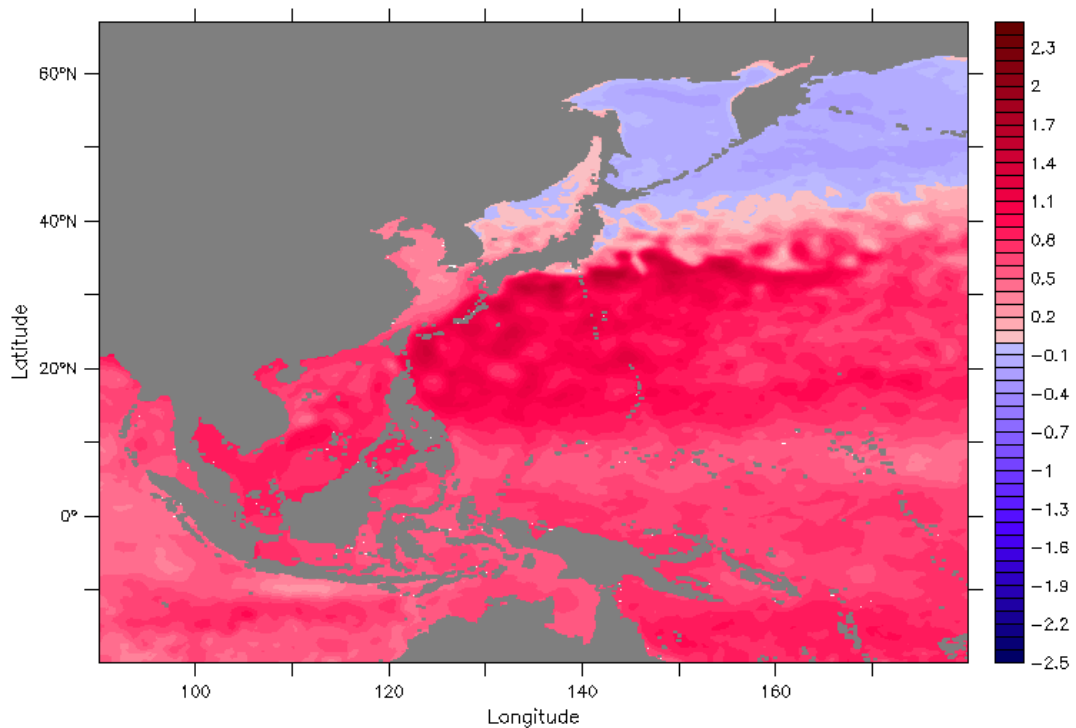
圖 5.3-13 至圖 5.3-15 為北緯 23 度台灣東北部預報 3 日剖面流速分佈圖，圖 5.3-16 至圖 5.3-18 則為東經 121 度呂宋海峽預報 3 日流速剖面分佈圖。由於 OCM2 的網格解析度比 OCM1 細，因此可以發現在 3 日預報的垂直剖面結果比 OCM1 接近 HYCOM 結果。

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)

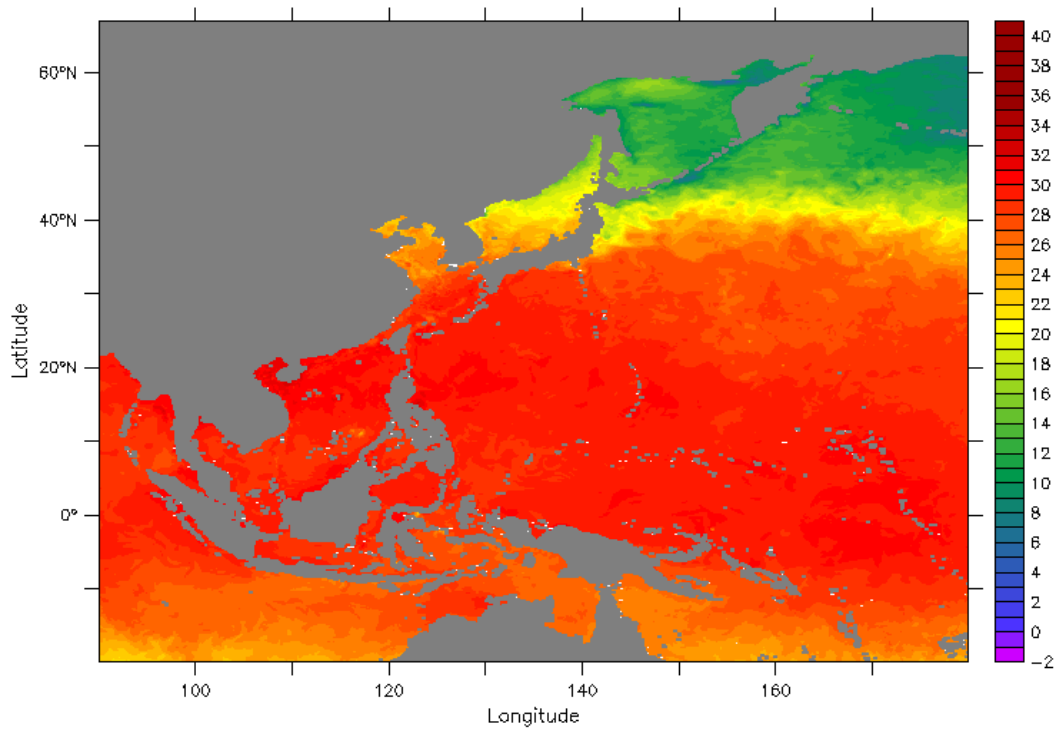
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

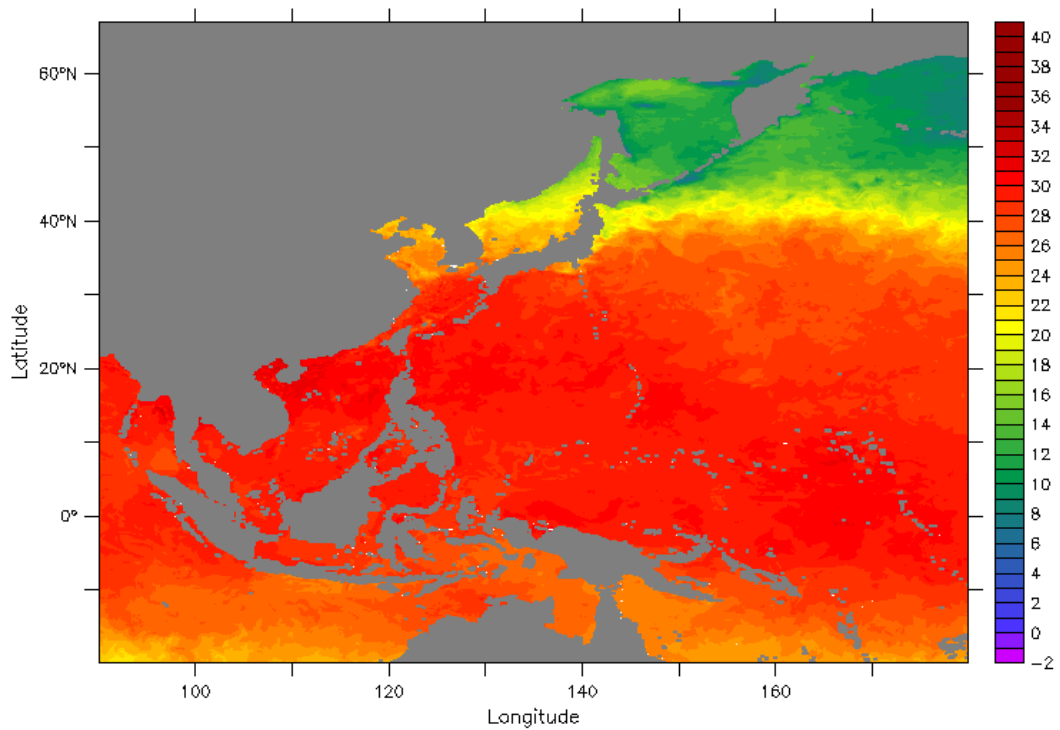
圖 5.3-1 預報 1 日日平均海平面高分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

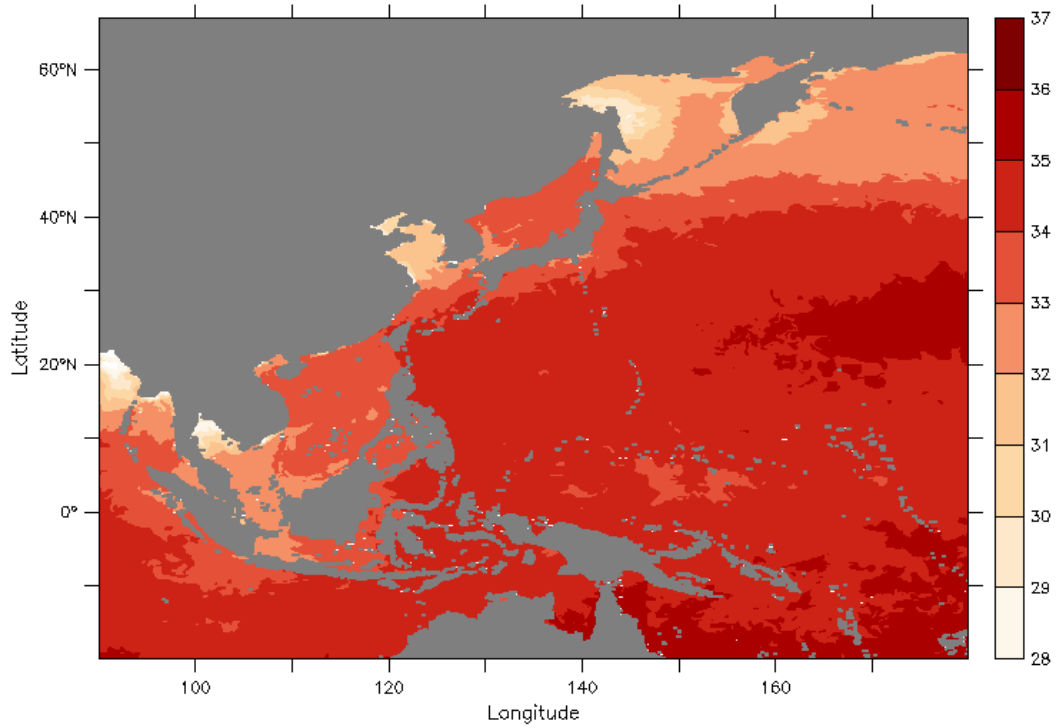
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

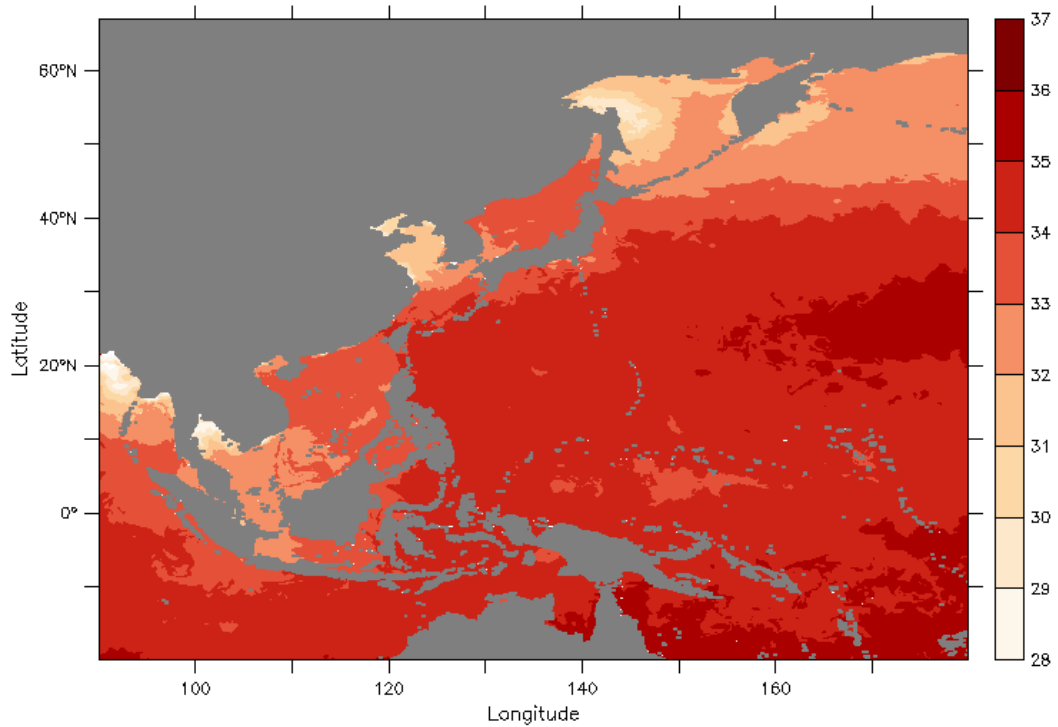
圖 5.3-2 預報 1 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

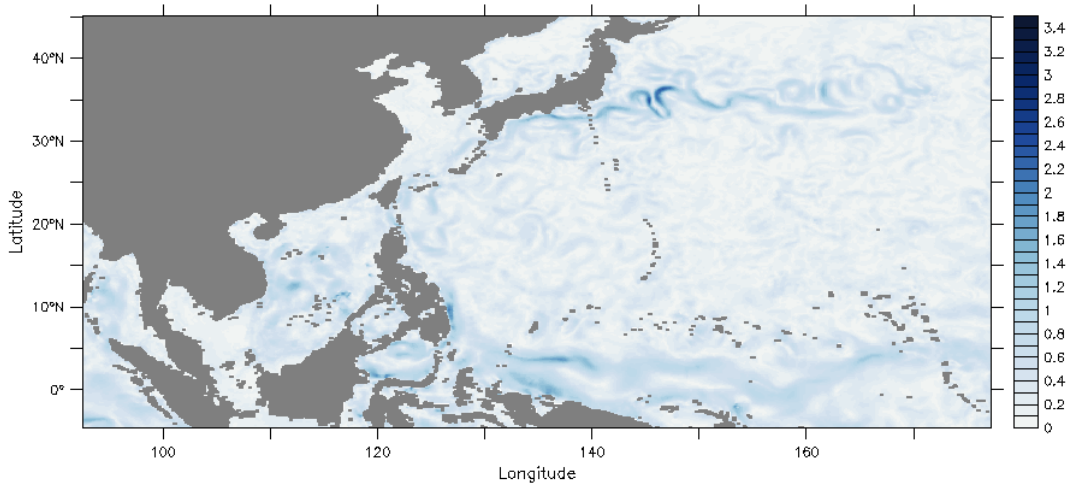
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

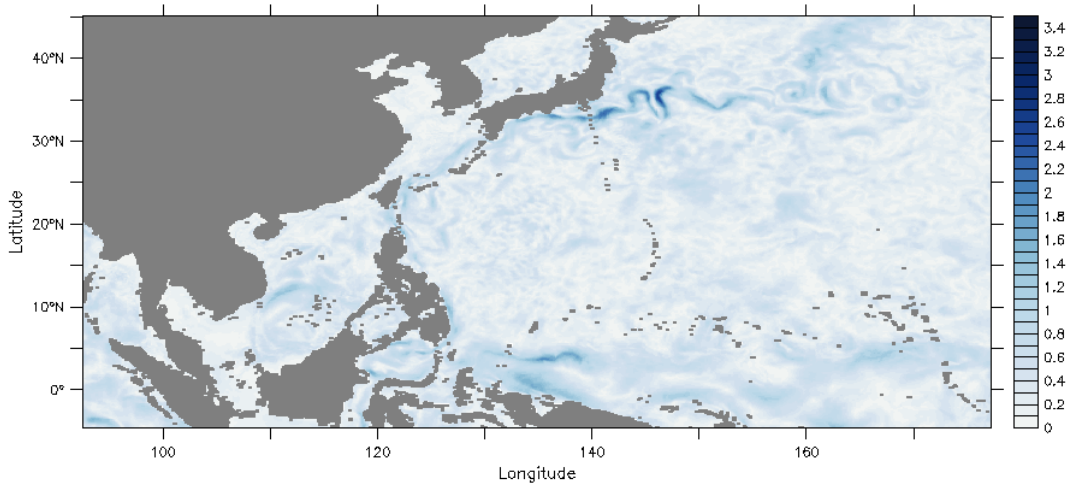
圖 5.3-3 預報 1 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

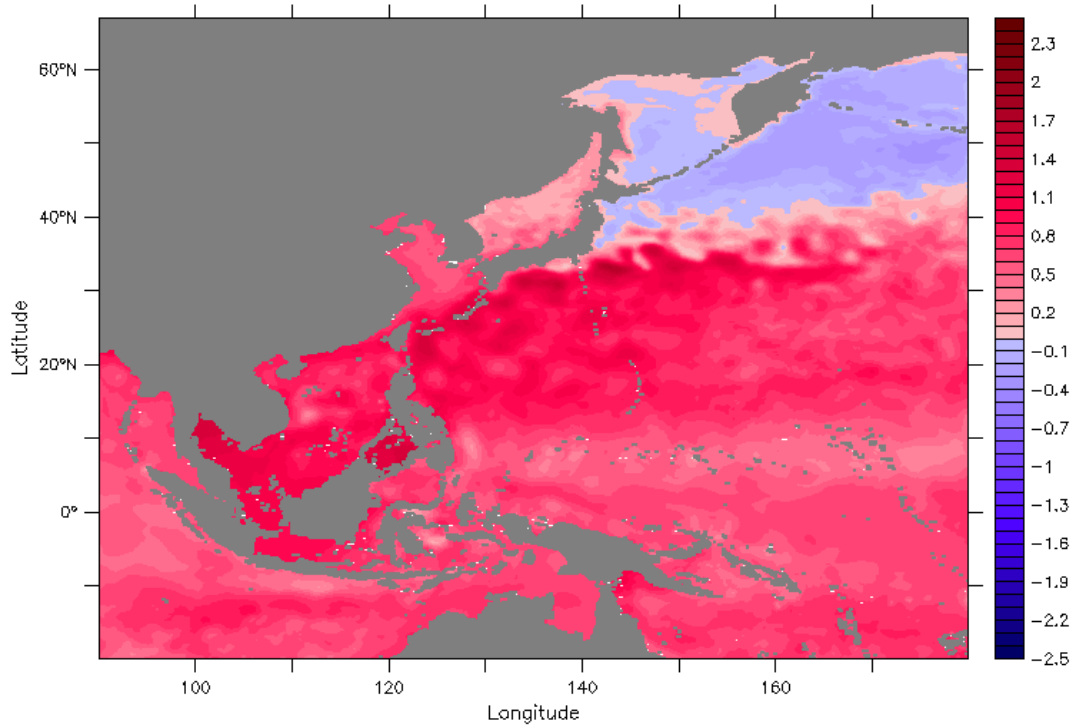
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

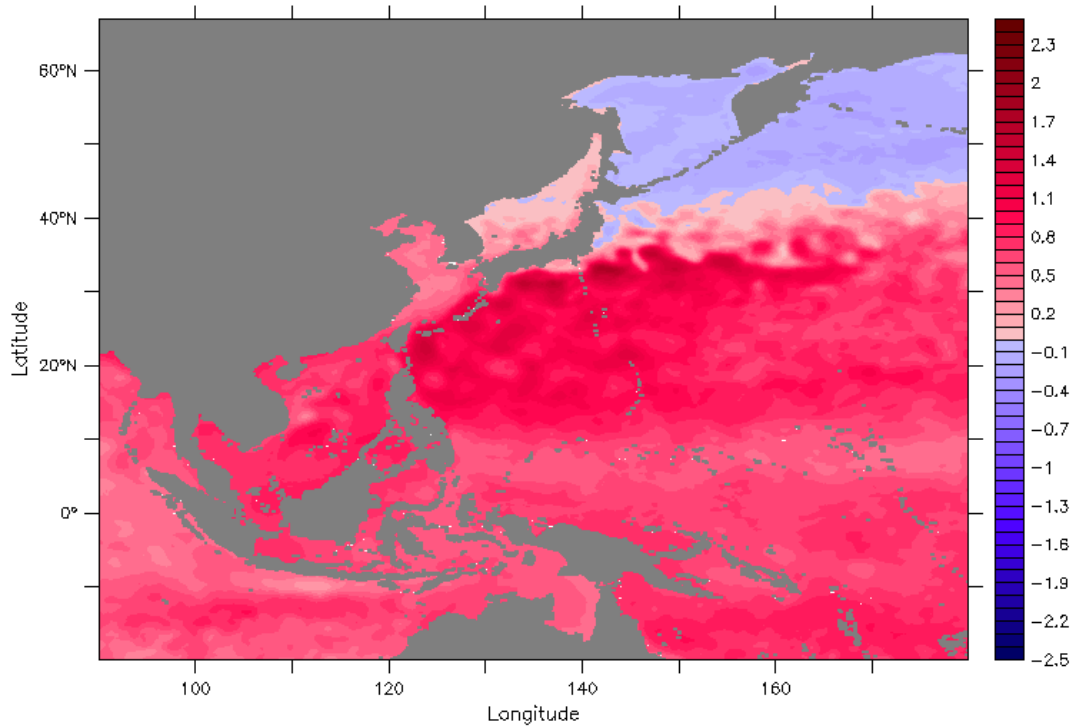
圖 5.3-4 預報 1 日海平面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)

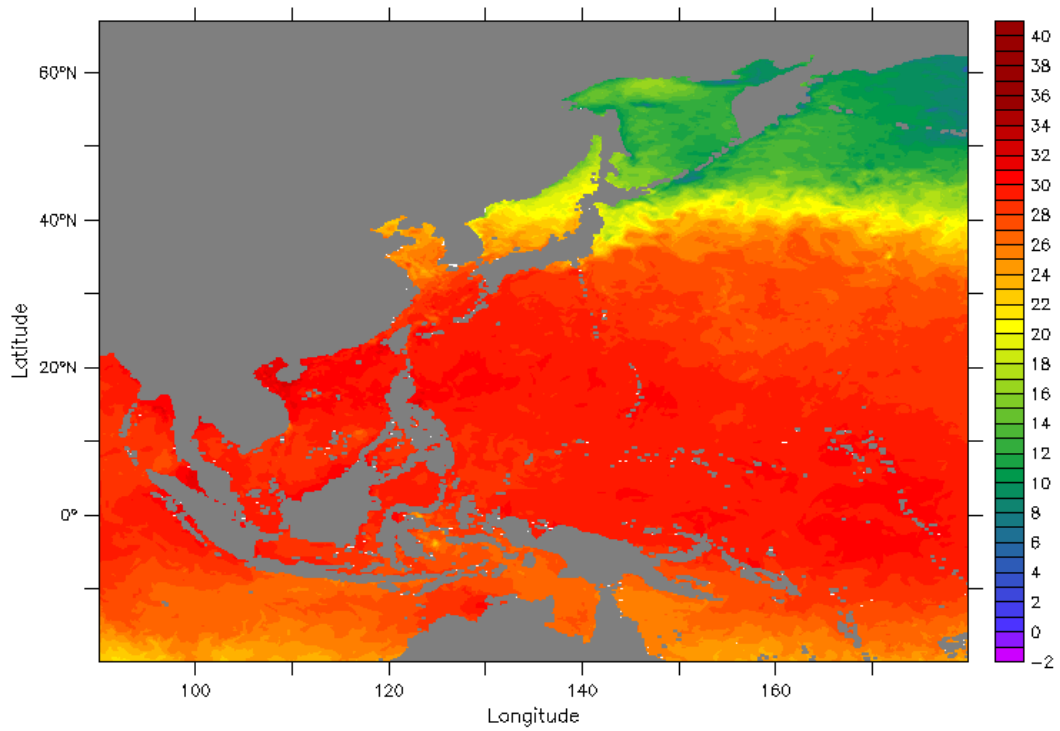
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

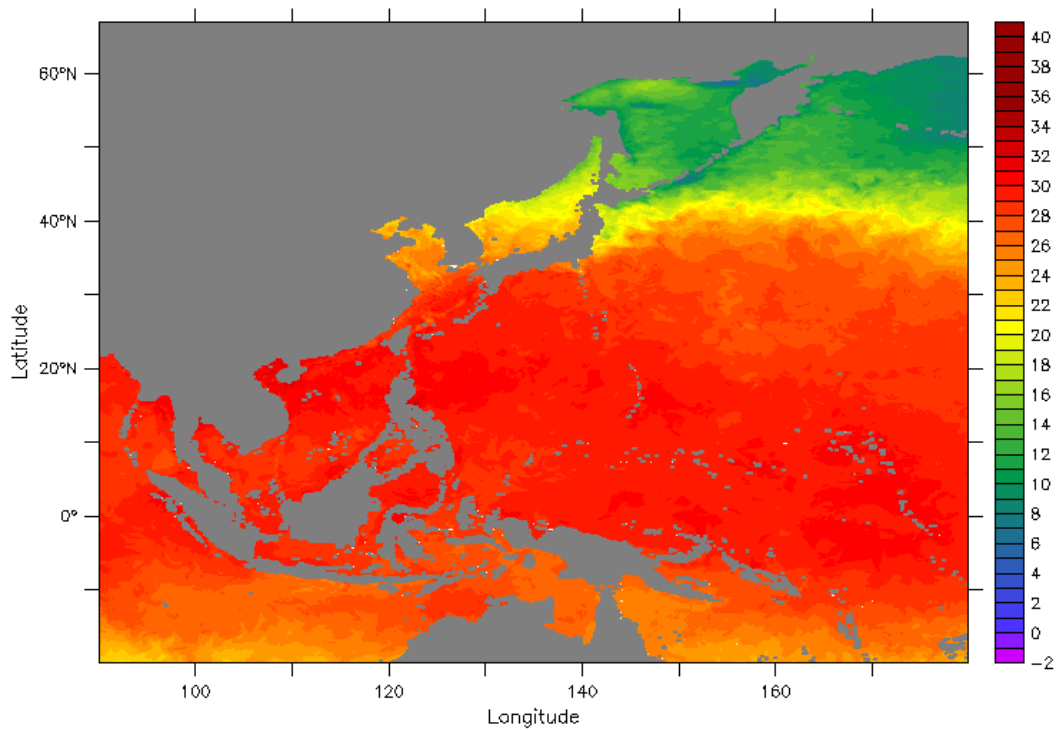
圖 5.3-5 預報 2 日日平均海平面高分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

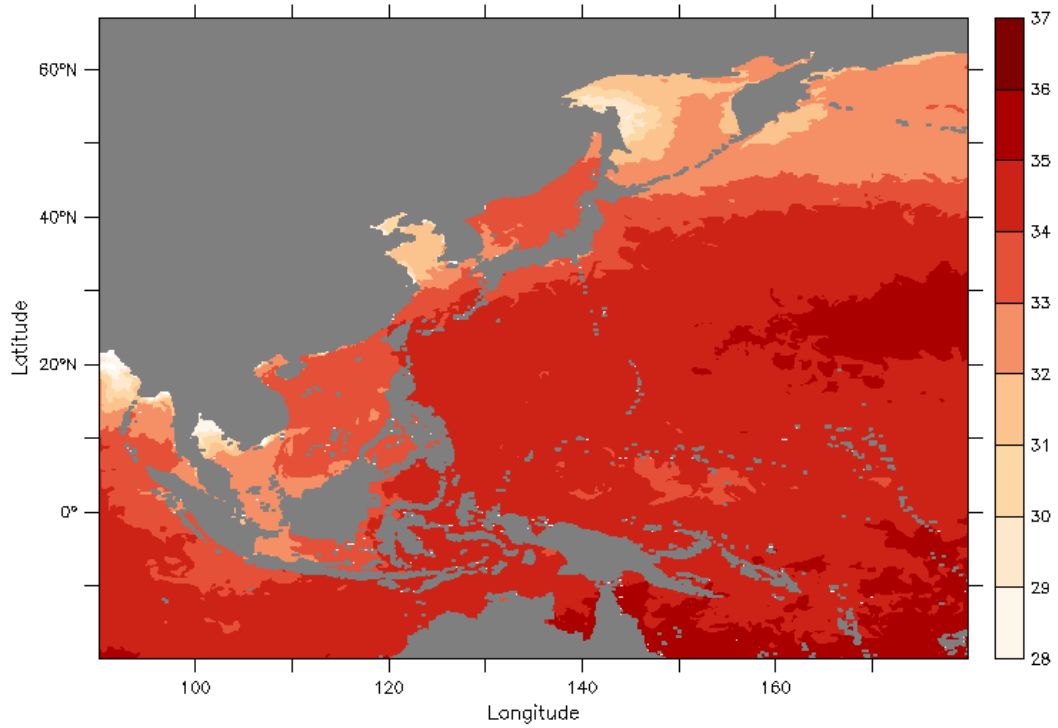
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

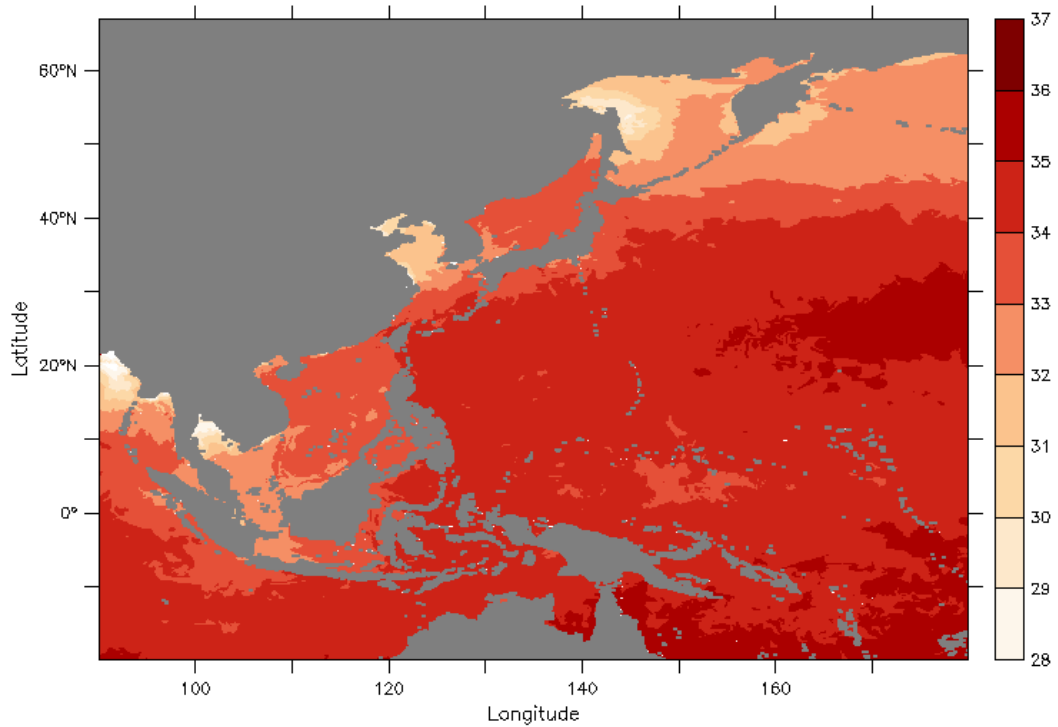
圖 5.3-6 預報 2 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

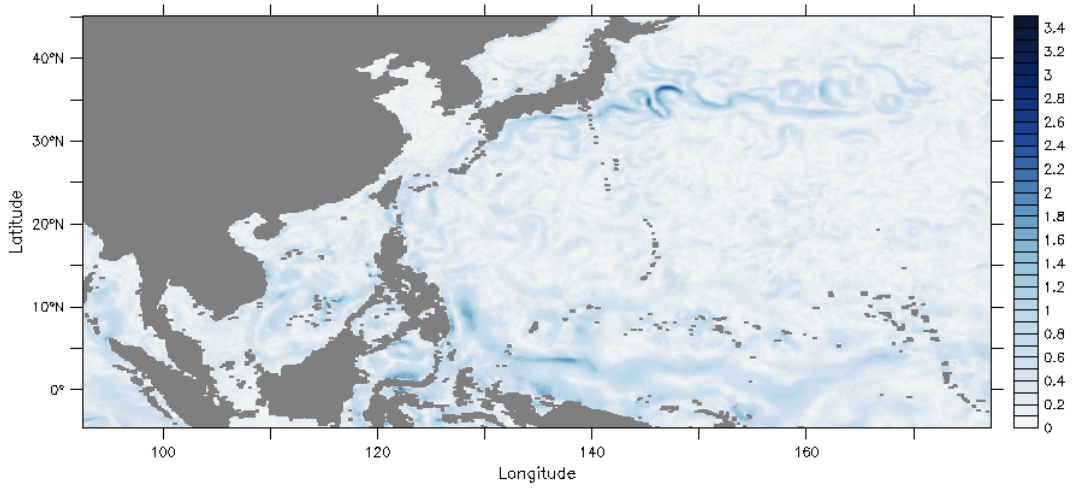
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

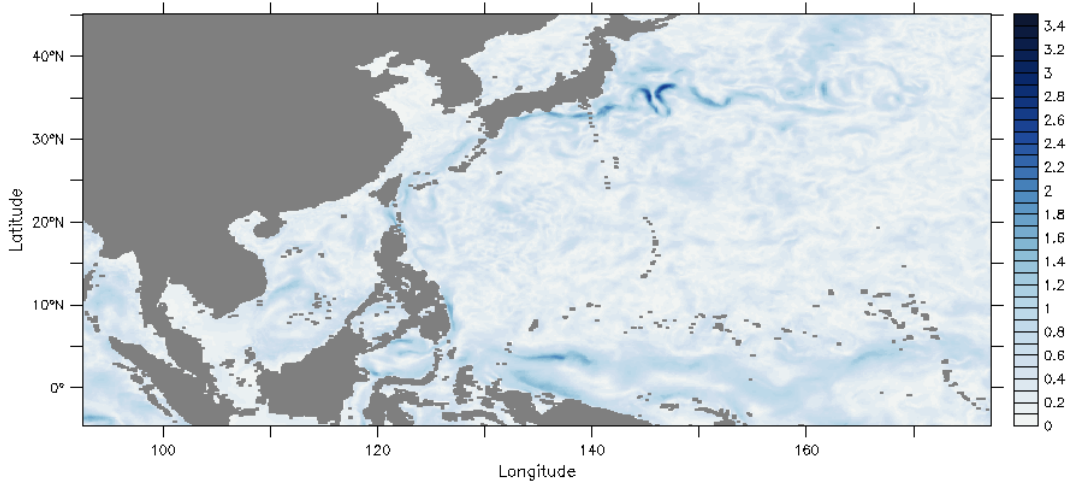
圖 5.3-7 預報 2 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

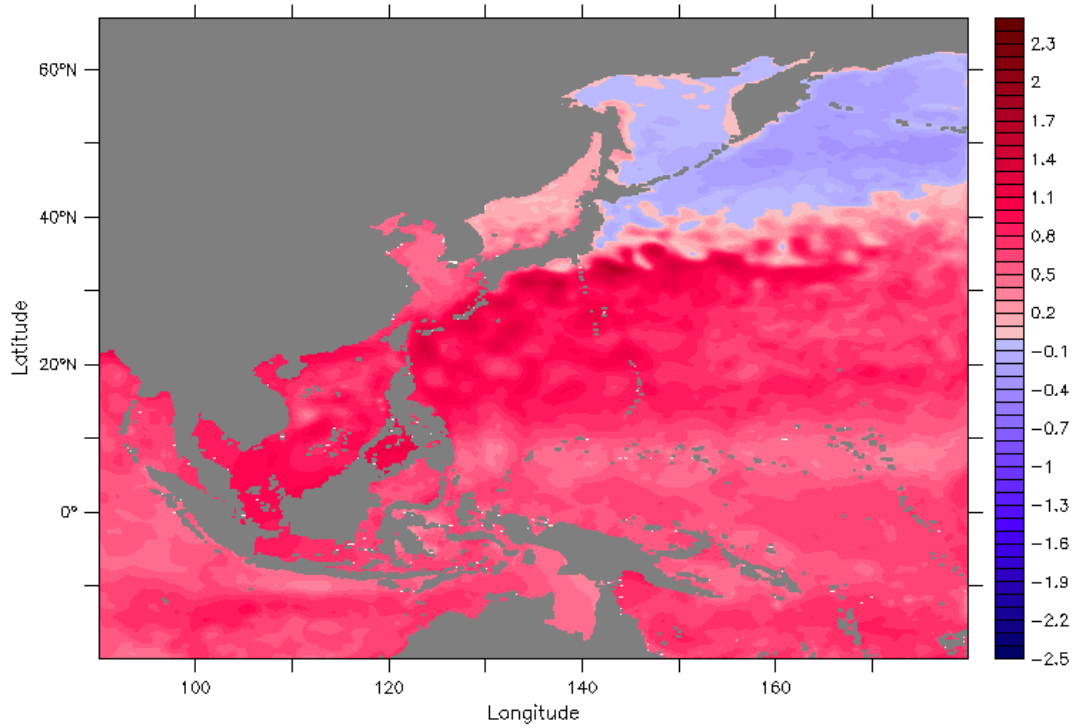
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

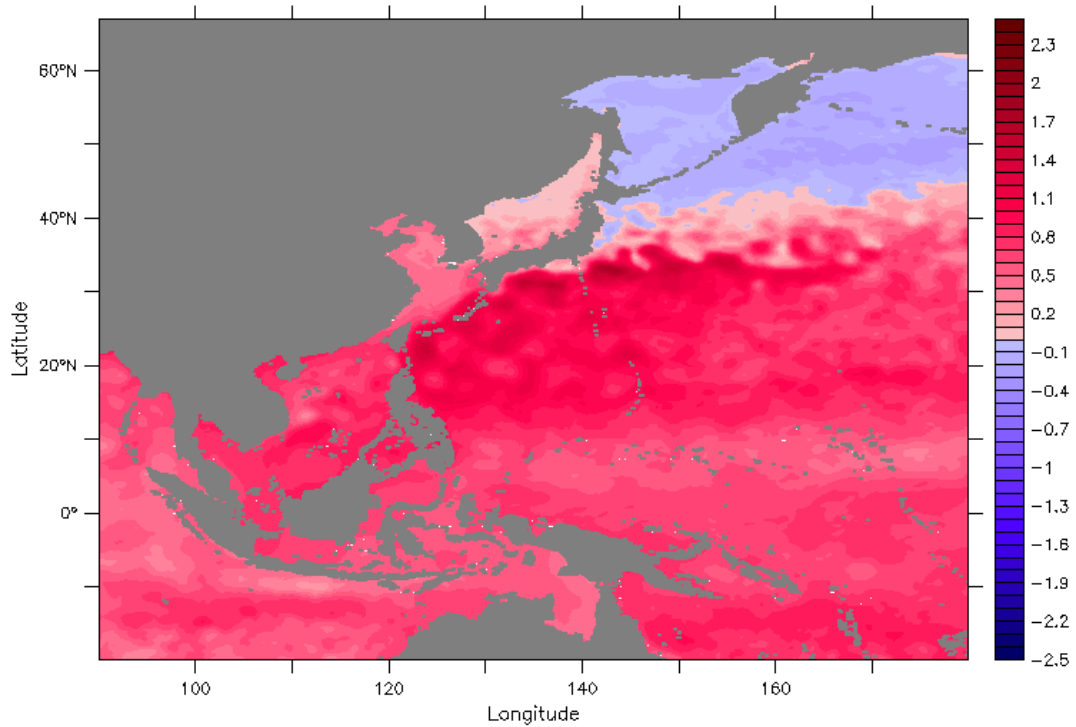
圖 5.3-8 預報 2 日海平面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

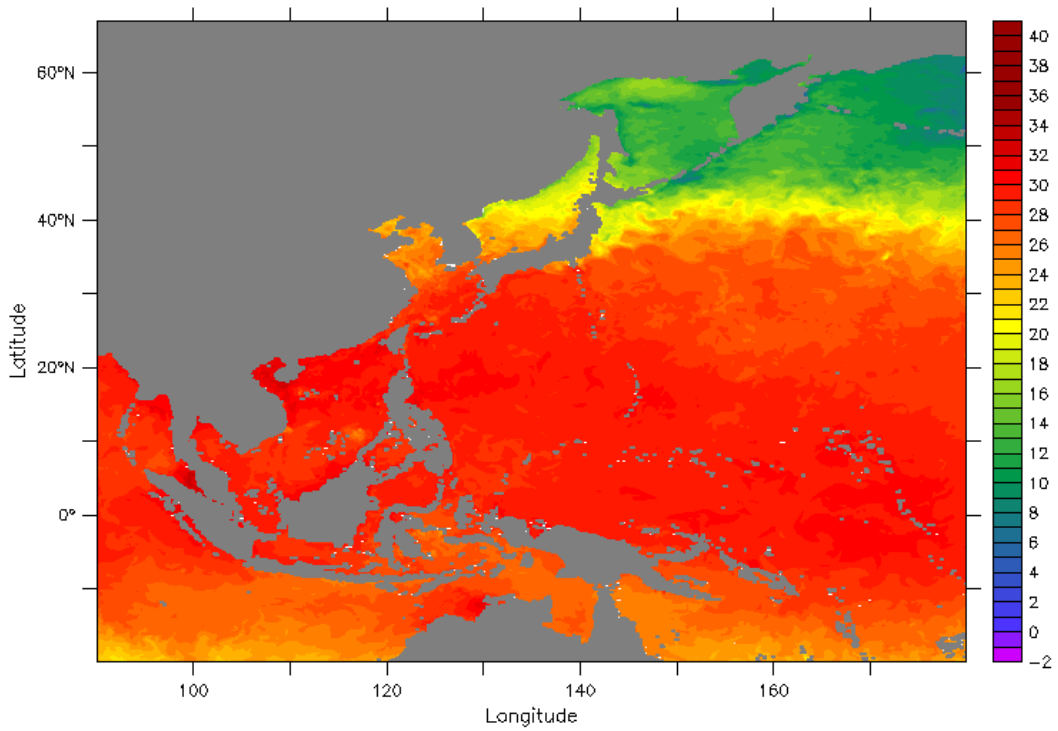
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Sea Surface Height(m)-HYCOM

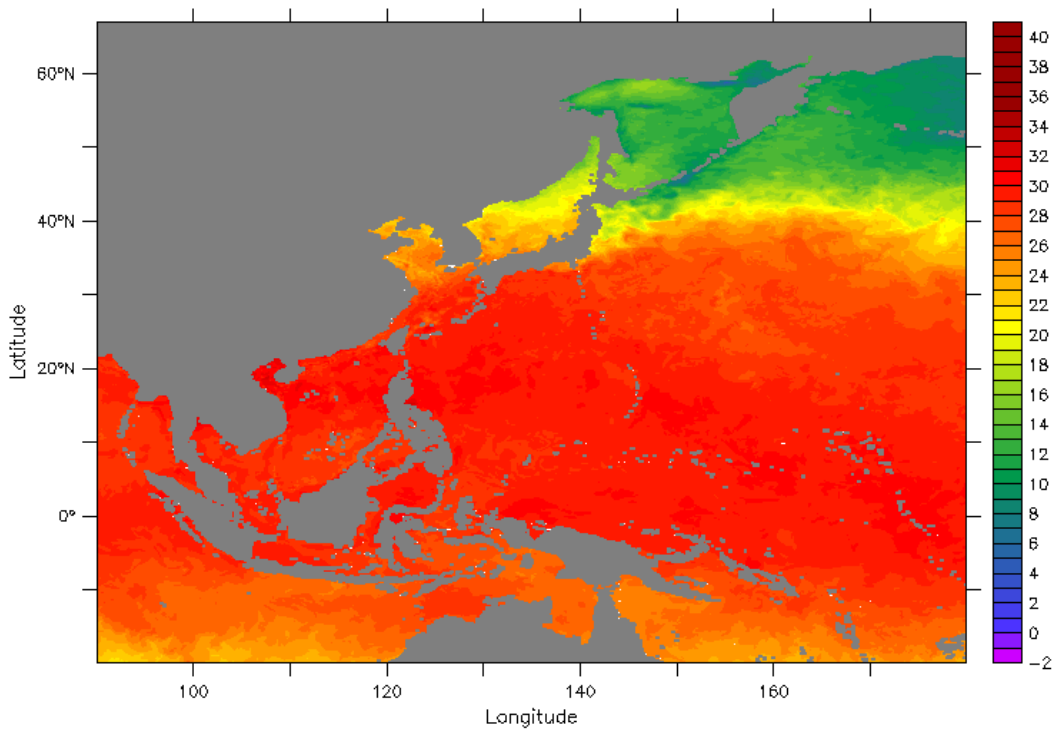
圖 5.3-9 預報 3 日日平均海平面高分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)

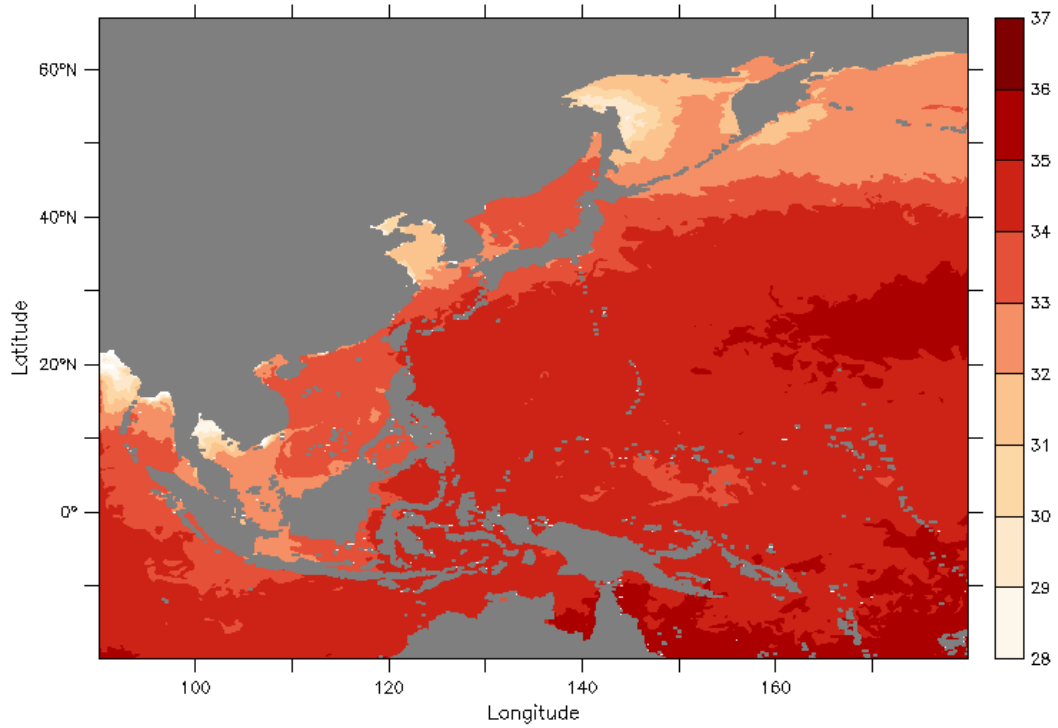
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Temperature(degree)-HYCOM

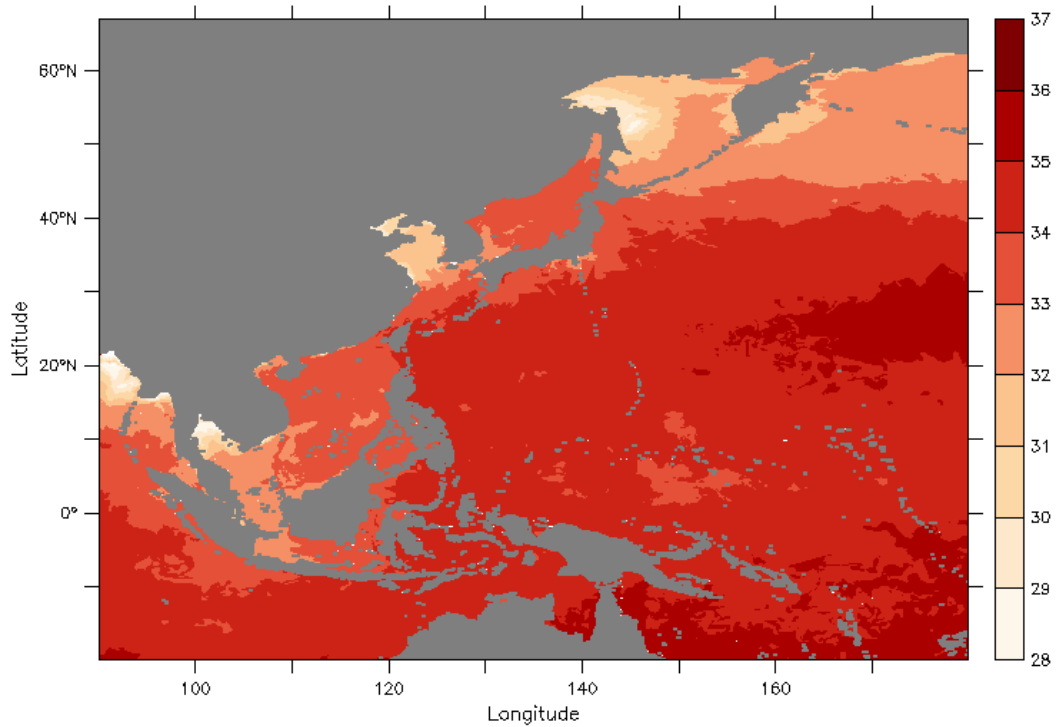
圖 5.3-10 預報 3 日海平面日平均水溫分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)

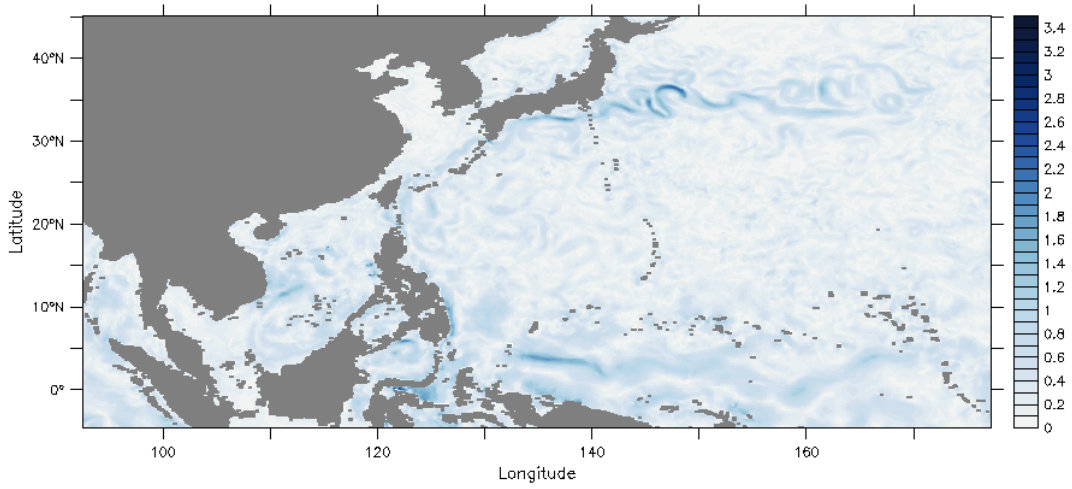
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Salinity(psu)-HYCOM

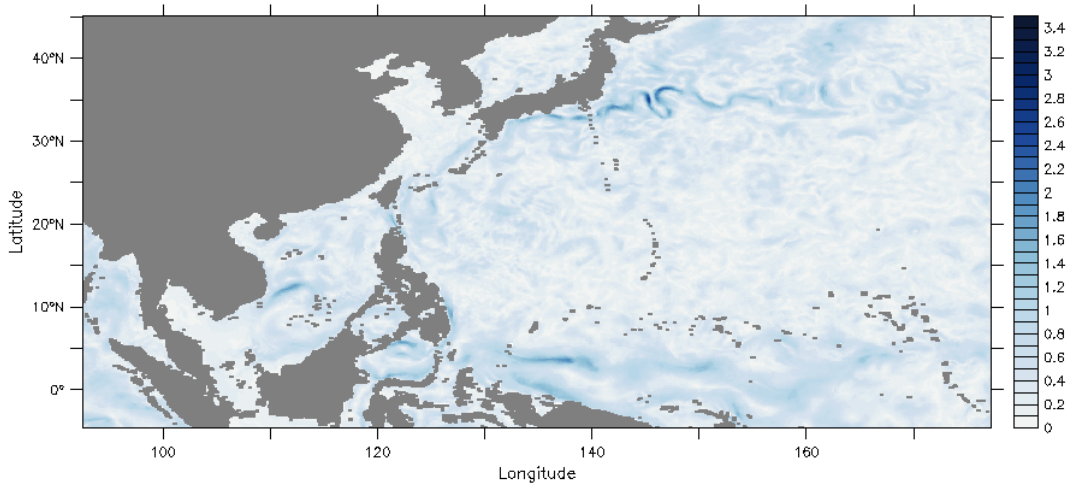
圖 5.3-11 預報 3 日海平面日平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)

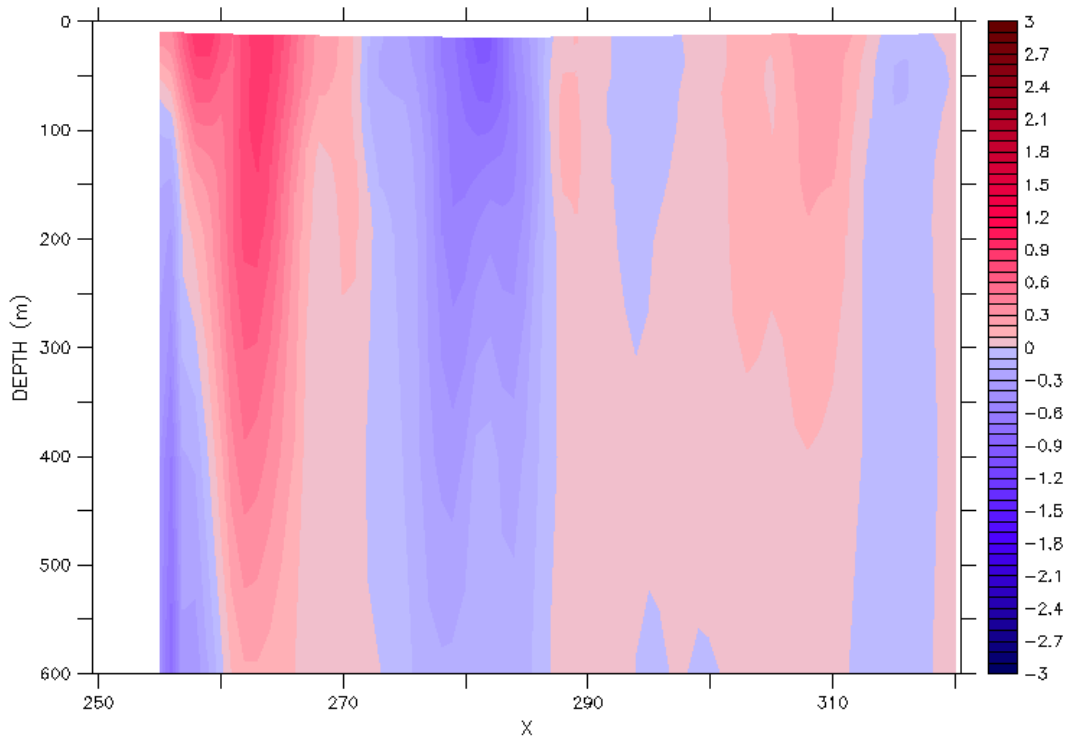
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of Velocity(m/s)-HYCOM

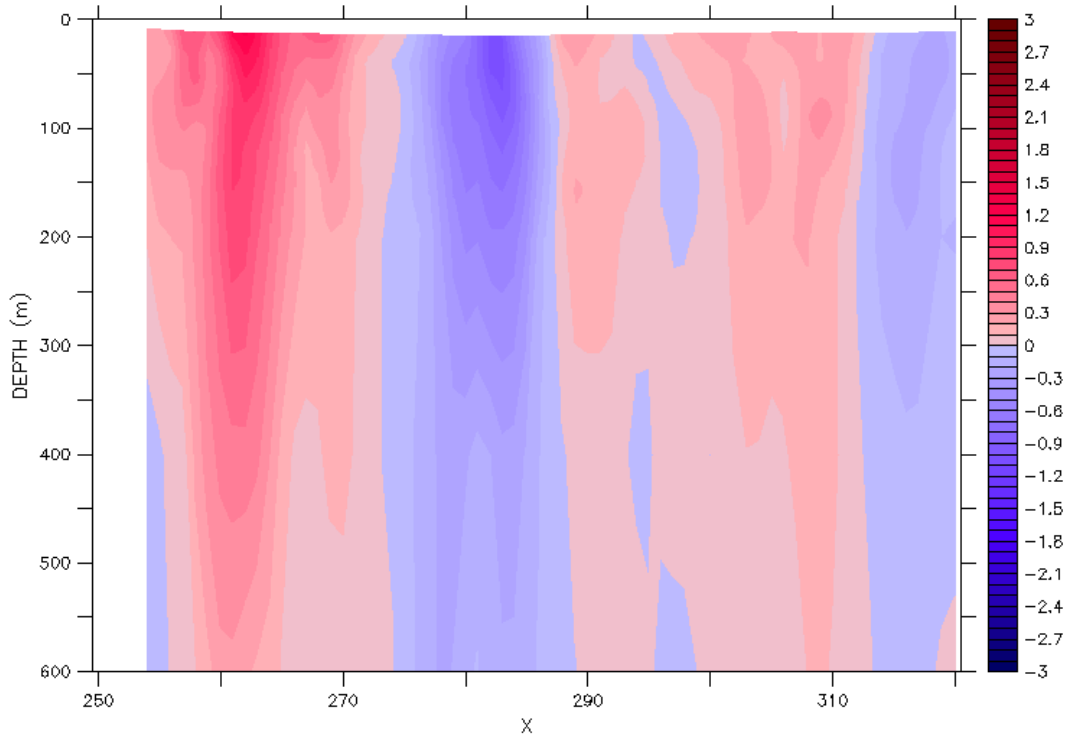
圖 5.3-12 預報 3 日海平面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

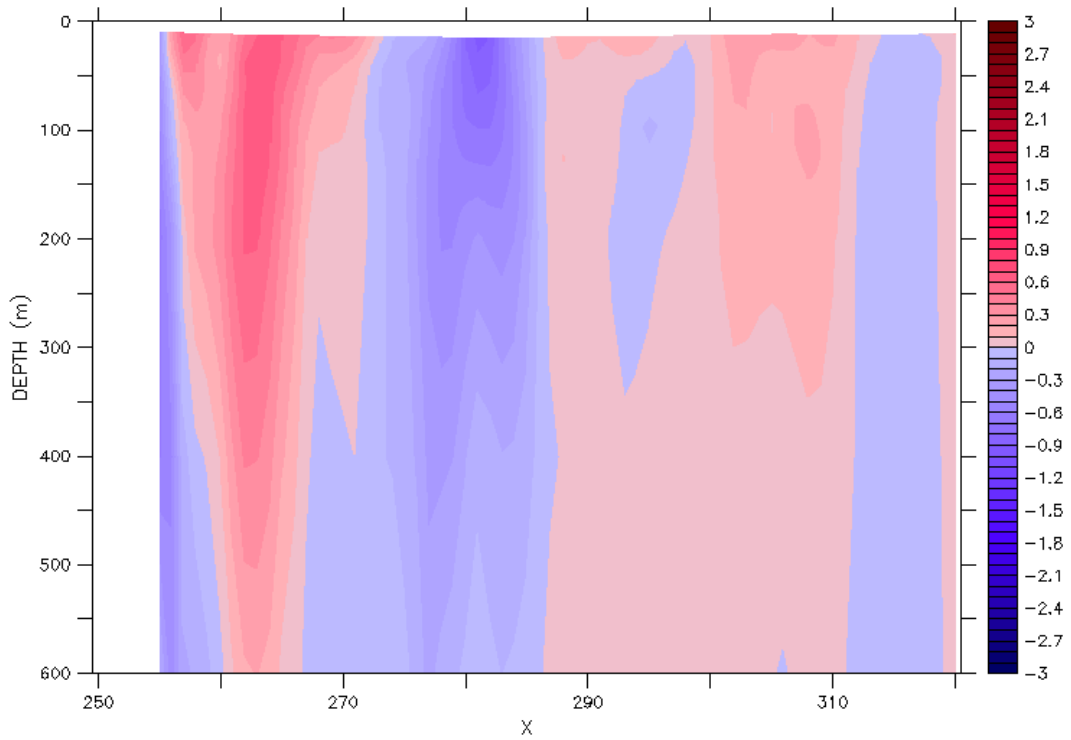
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

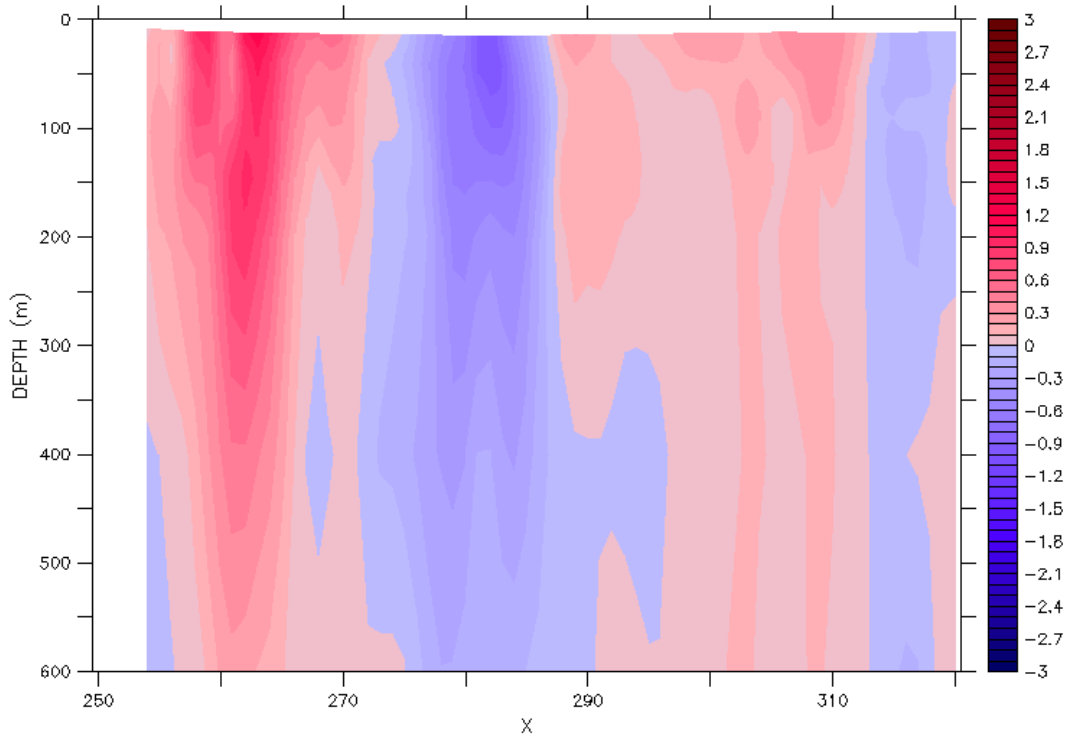
圖 5.3-13 預報 1 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

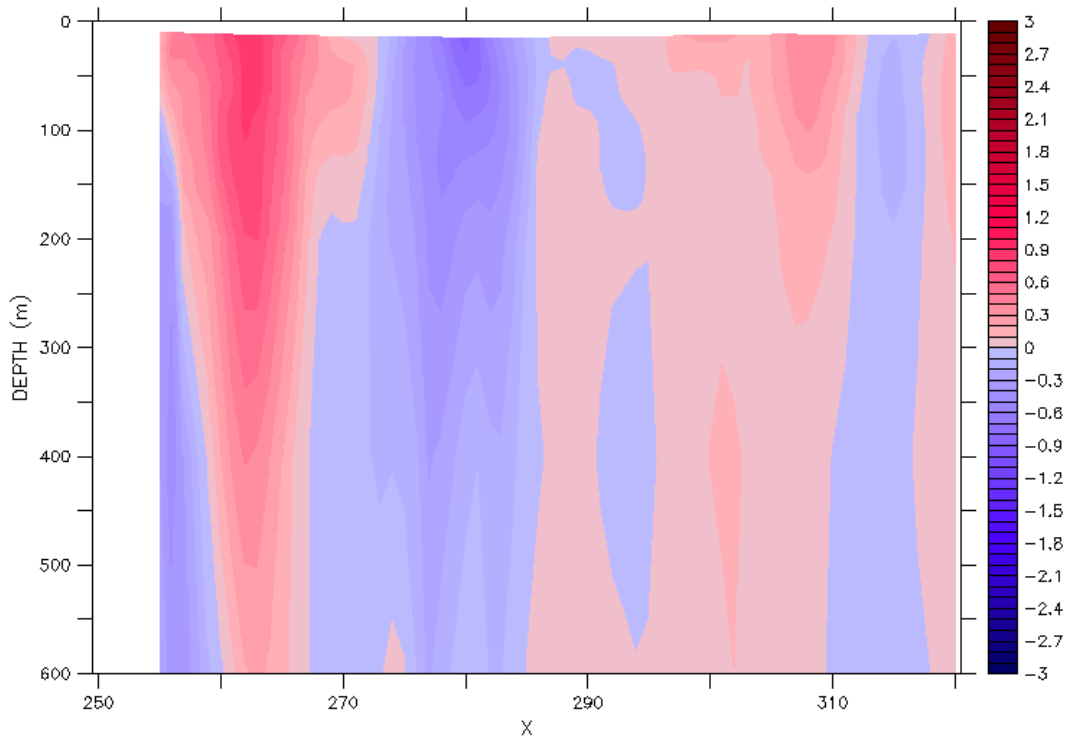
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

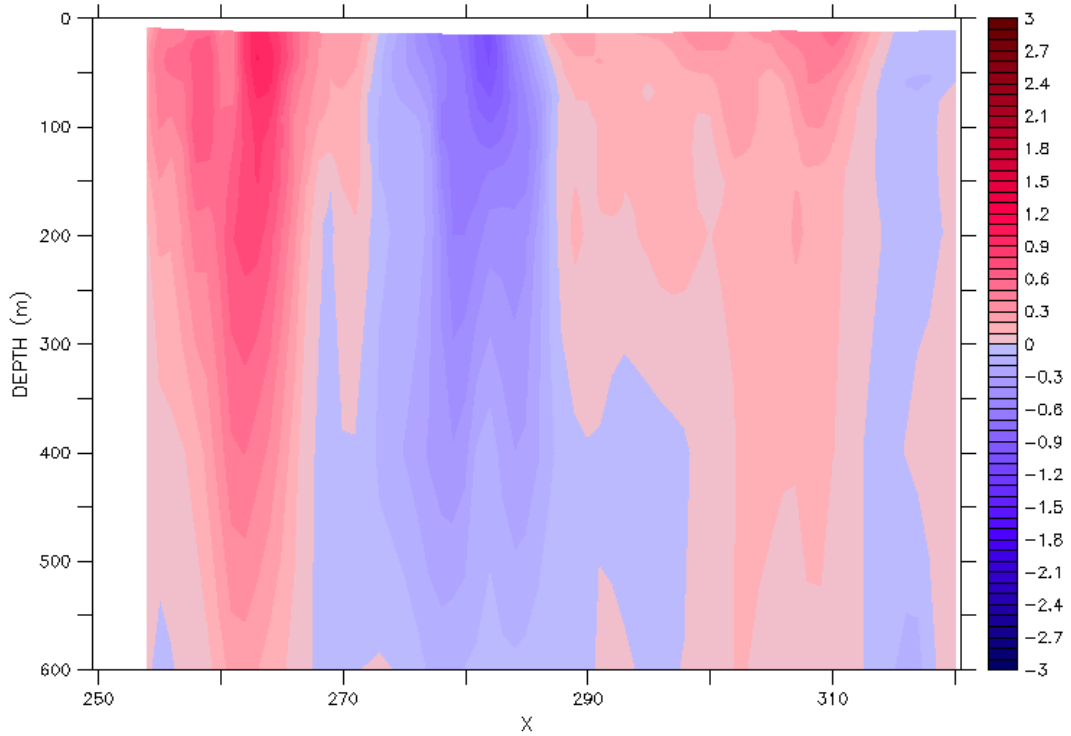
圖 5.3-14 預報 2 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

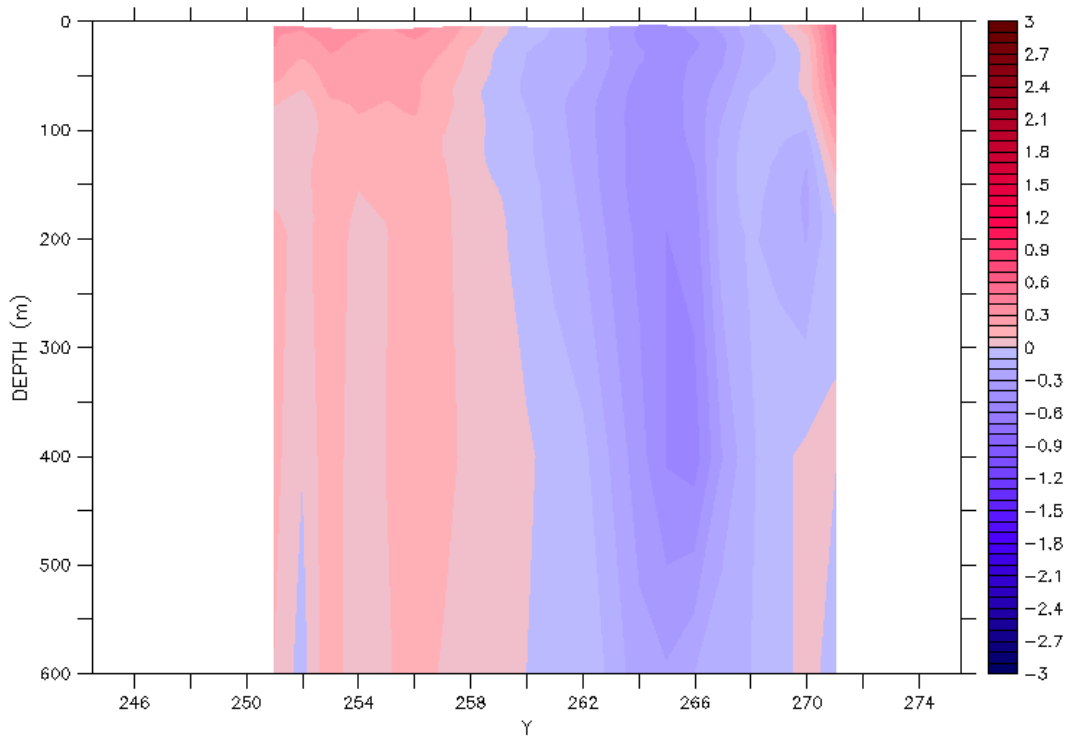
TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of V-velocity(m/s)

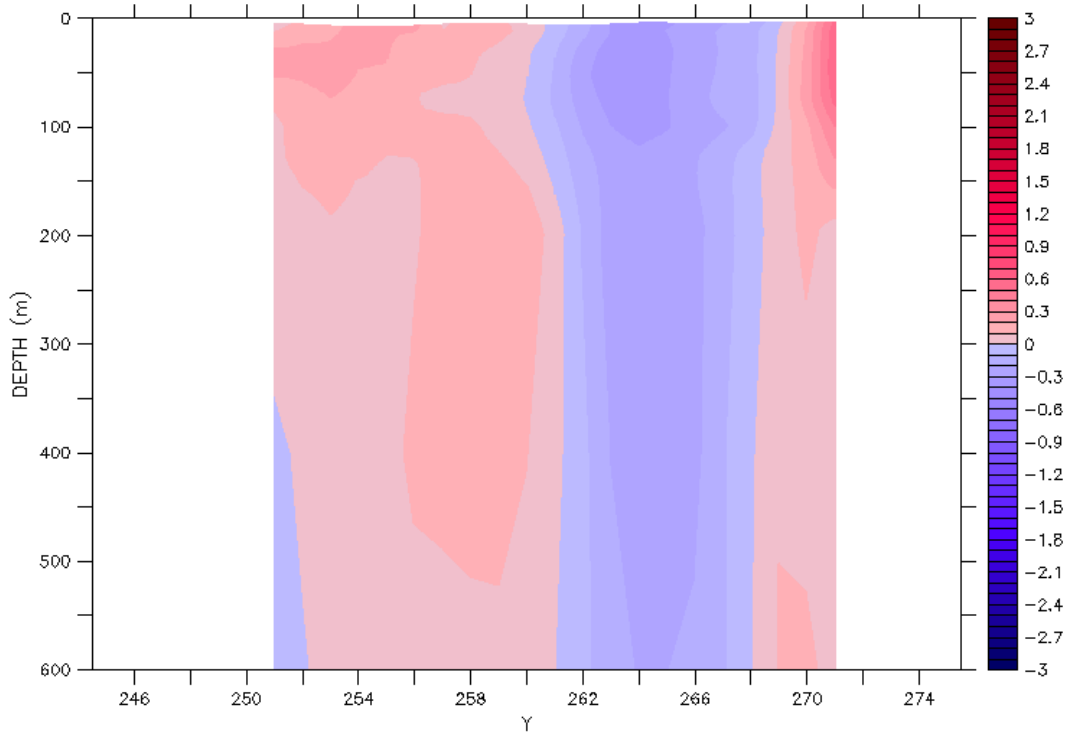
圖 5.3-15 預報 3 日北緯 23 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

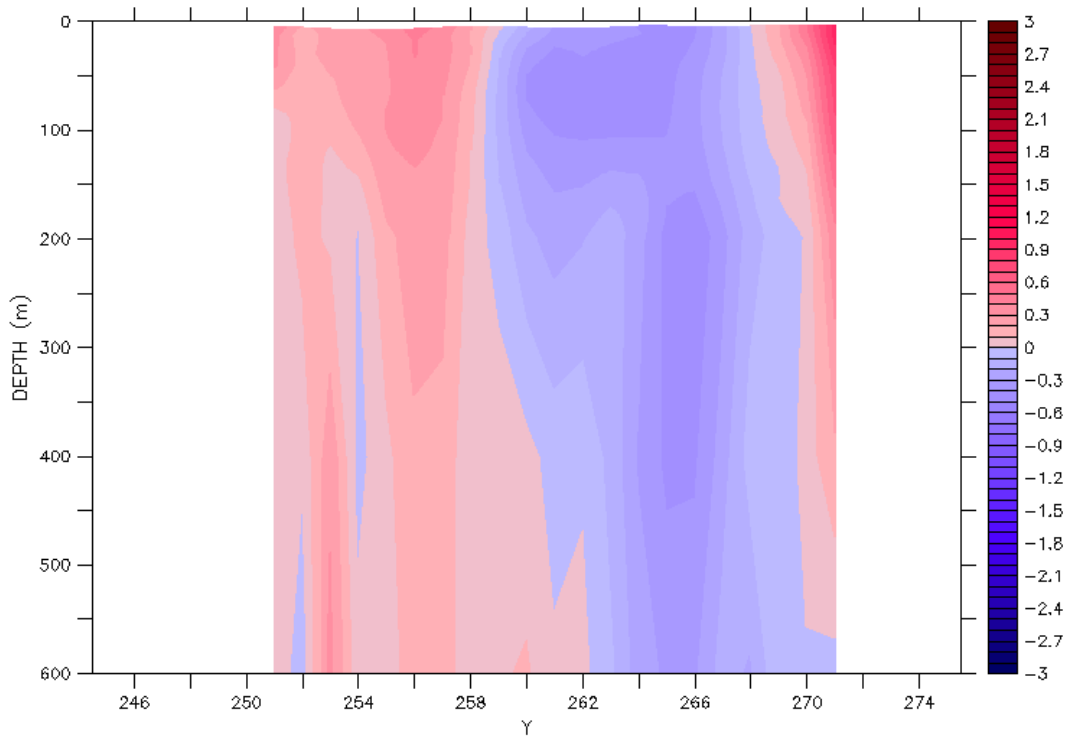
TIME : 01-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

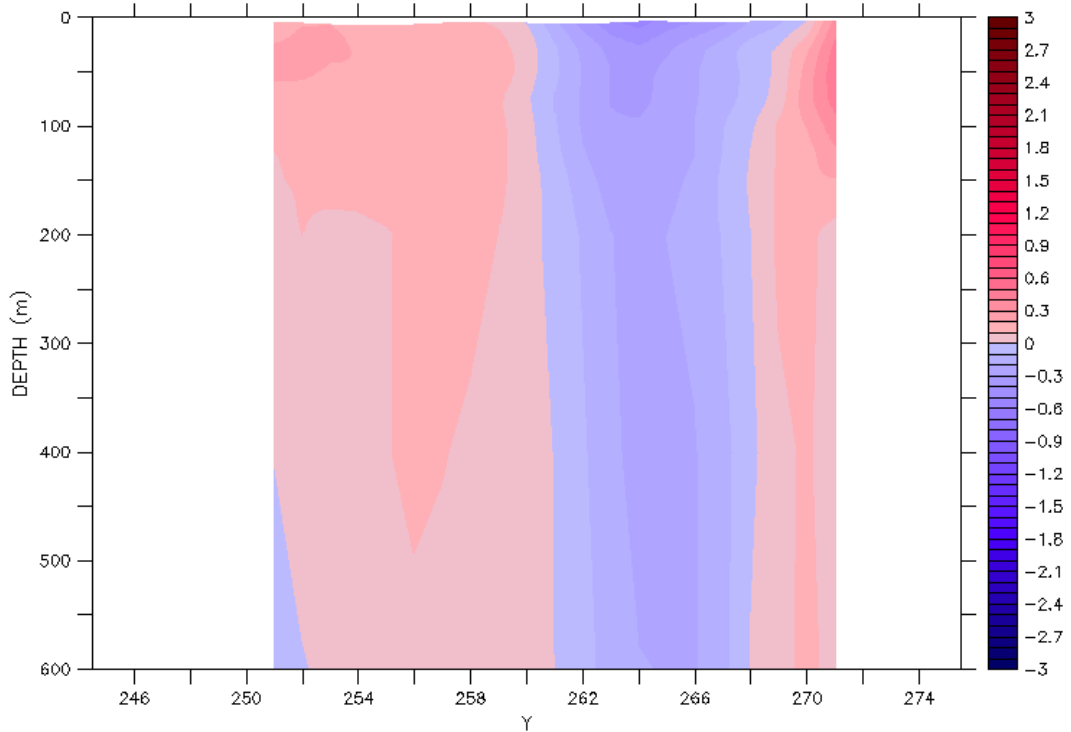
圖 5.3-16 預報 1 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

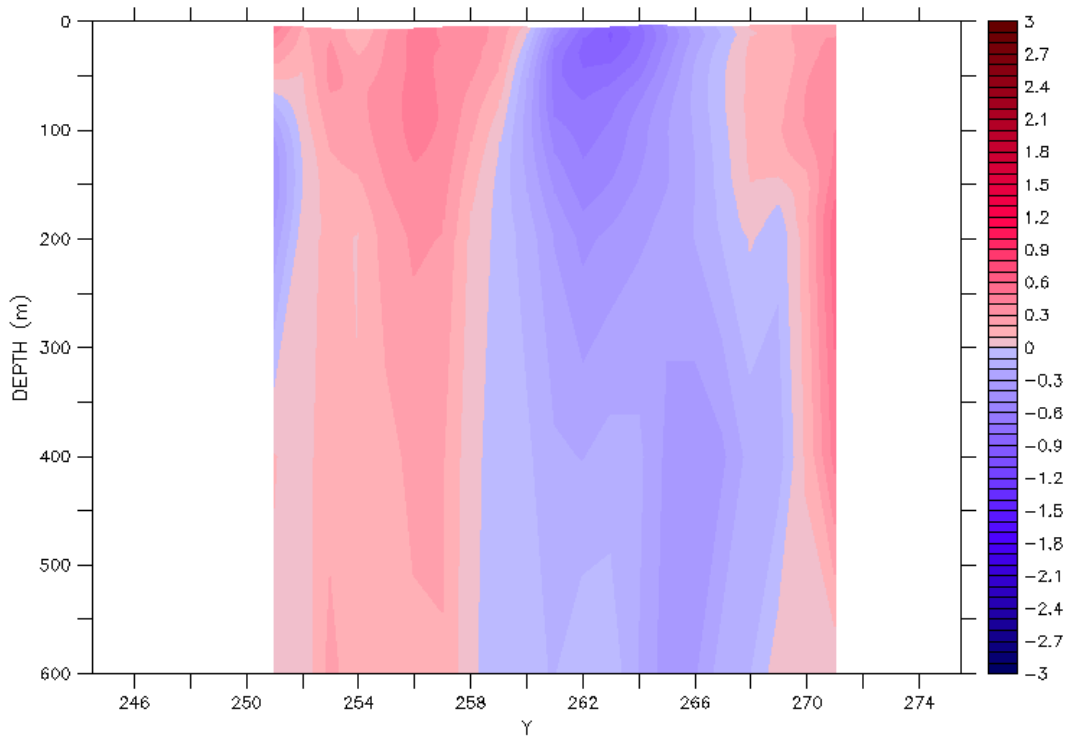
TIME : 02-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

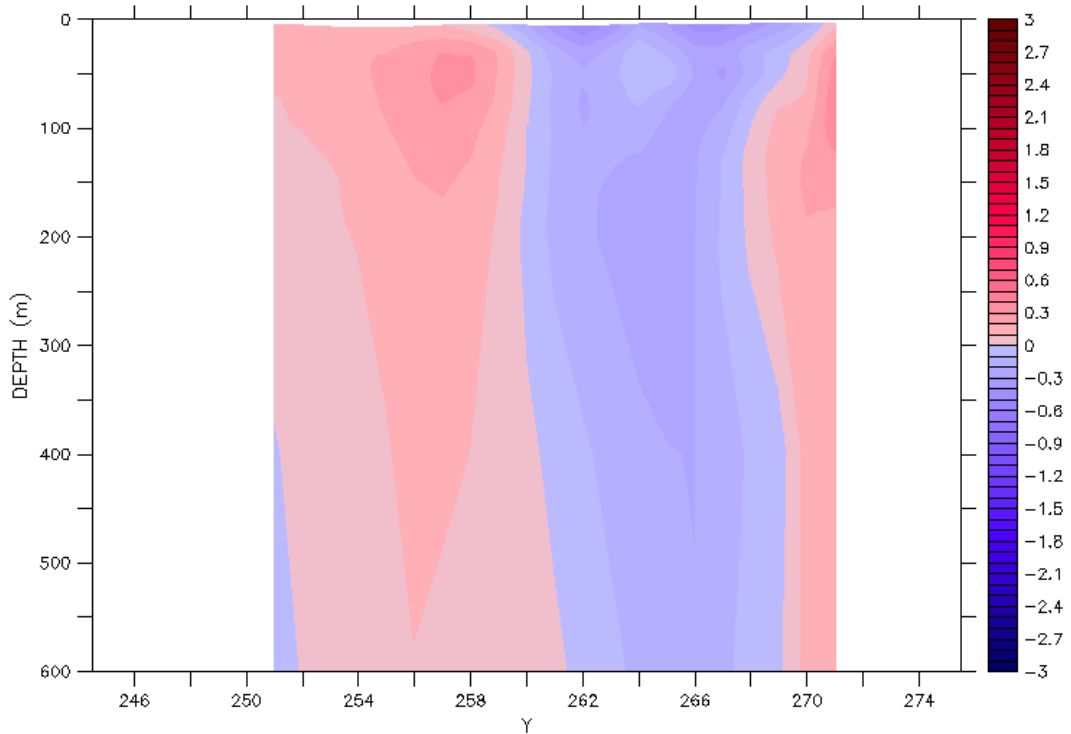
圖 5.3-17 預報 2 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

TIME : 03-SEP-2009 12:00



Daily Mean of U-velocity(m/s)

圖 5.3-18 預報 3 日東經 121 度剖面日平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

第六章 台灣海域模式(OCM3)

6.1 模式建構

6.1.1 模式範圍與網格分布

為了解台灣周邊海域潮汐變化及未來 OCM2 接合之計算，模式範圍除包含台灣周邊海域外，另納入東海、南海，北邊包含對馬海峽，東邊則以日本南端至呂宋島右側作為邊界，南邊則以卡里馬塔海峽作為邊界，將鄰近台灣附近海域皆納入範圍，同時為了解析台灣附近地形特徵，幾個台灣附近的島嶼，包含金門、馬祖、澎湖、小琉球、龜山島、綠島、蘭嶼以及巴丹群島、巴布延群島、琉球群島與濟州島等皆納入岸線規劃，再以 SMS 軟體進行網格建構，水平網格如圖 6.1.1-1 所示，所有網格皆小於 $1/8^\circ$ ，台灣近岸區域則不大於 $1/60^\circ$ (圖 6.1.1-2)，總節點數為 86555，網格數則為 168574，再透過 ETOPO1 (Amante and Eakins, 2009) 地形資料內插至節點來獲得模式地形(如圖 6.1-3)。垂直網格部分則設定層數為 21 層，以 S 座標於表底層做較佳之解析，其 σ 值(S 座標分層係數)如表 6.1.1-1 所示。

表 6.1.1-1 OCM3 網格垂直分布

層數	垂直流速 σ 值	水平流速 σ 值
1	0.0000	-0.0025
2	-0.0050	-0.0125
3	-0.0200	-0.0325
4	-0.0450	-0.0625
5	-0.0800	-0.1025
6	-0.1250	-0.1525
7	-0.1800	-0.2125
8	-0.2450	-0.2825
9	-0.3200	-0.3625
10	-0.4050	-0.4525
11	-0.5000	-0.5475
12	-0.5950	-0.6375
13	-0.6800	-0.7175
14	-0.7550	-0.7875
15	-0.8200	-0.8475
16	-0.8750	-0.8975
17	-0.9200	-0.9375
18	-0.9550	-0.9675
19	-0.9800	-0.9875
20	-0.9950	-0.9975
21	-1.0000	-1.0074

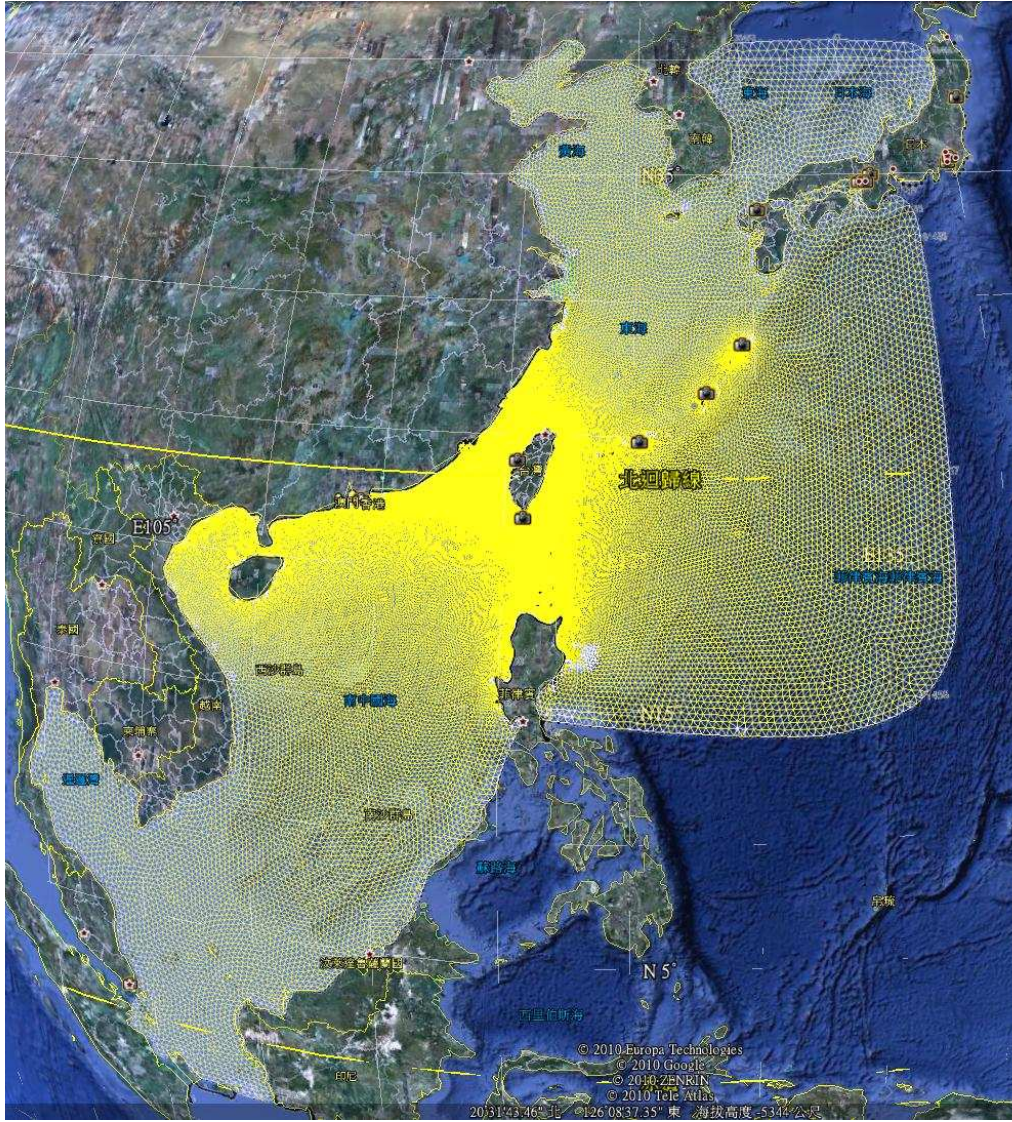


圖 6.1.1-1 模式網格分布

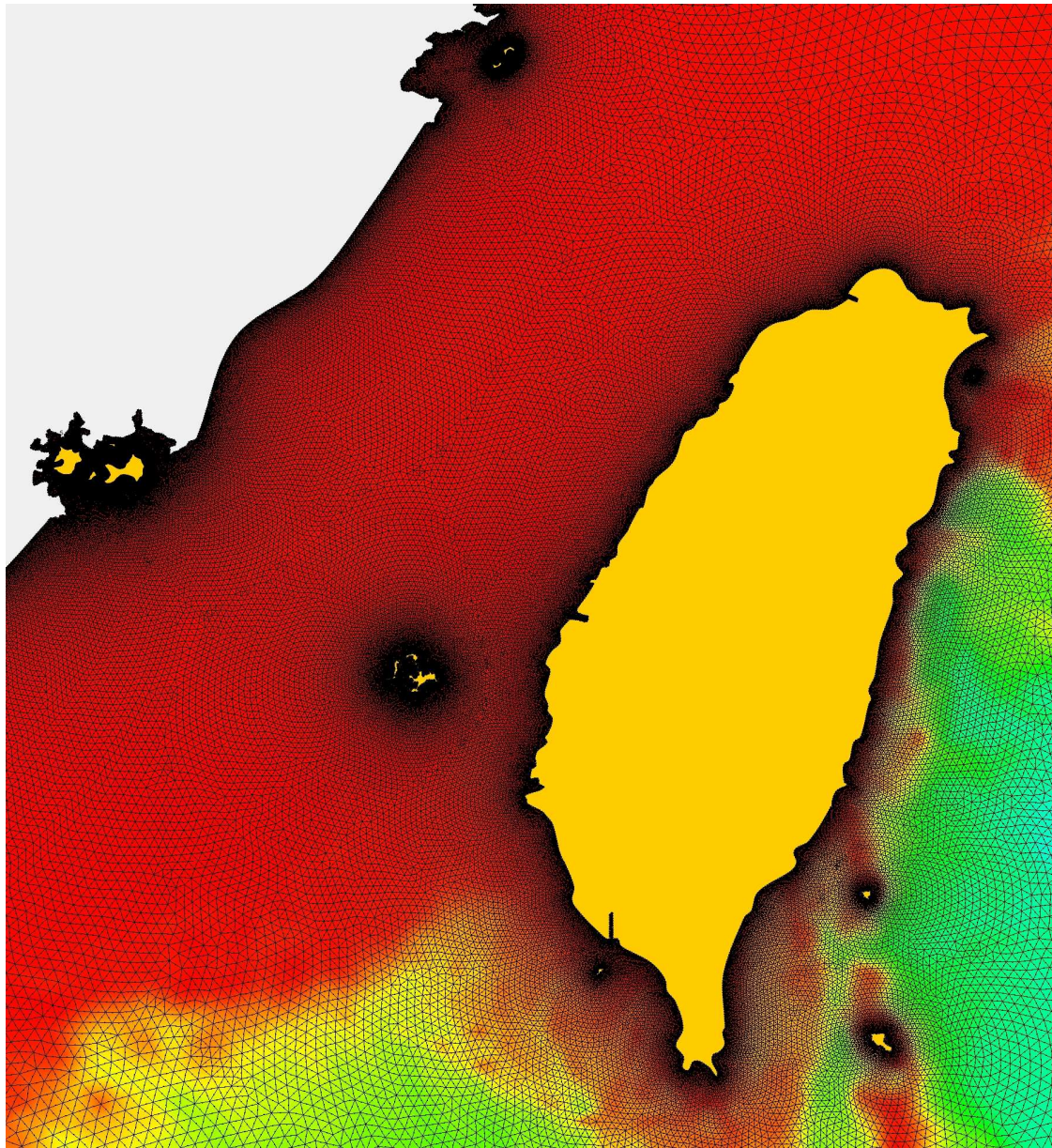


圖 6.1.1-2 近岸網格分布

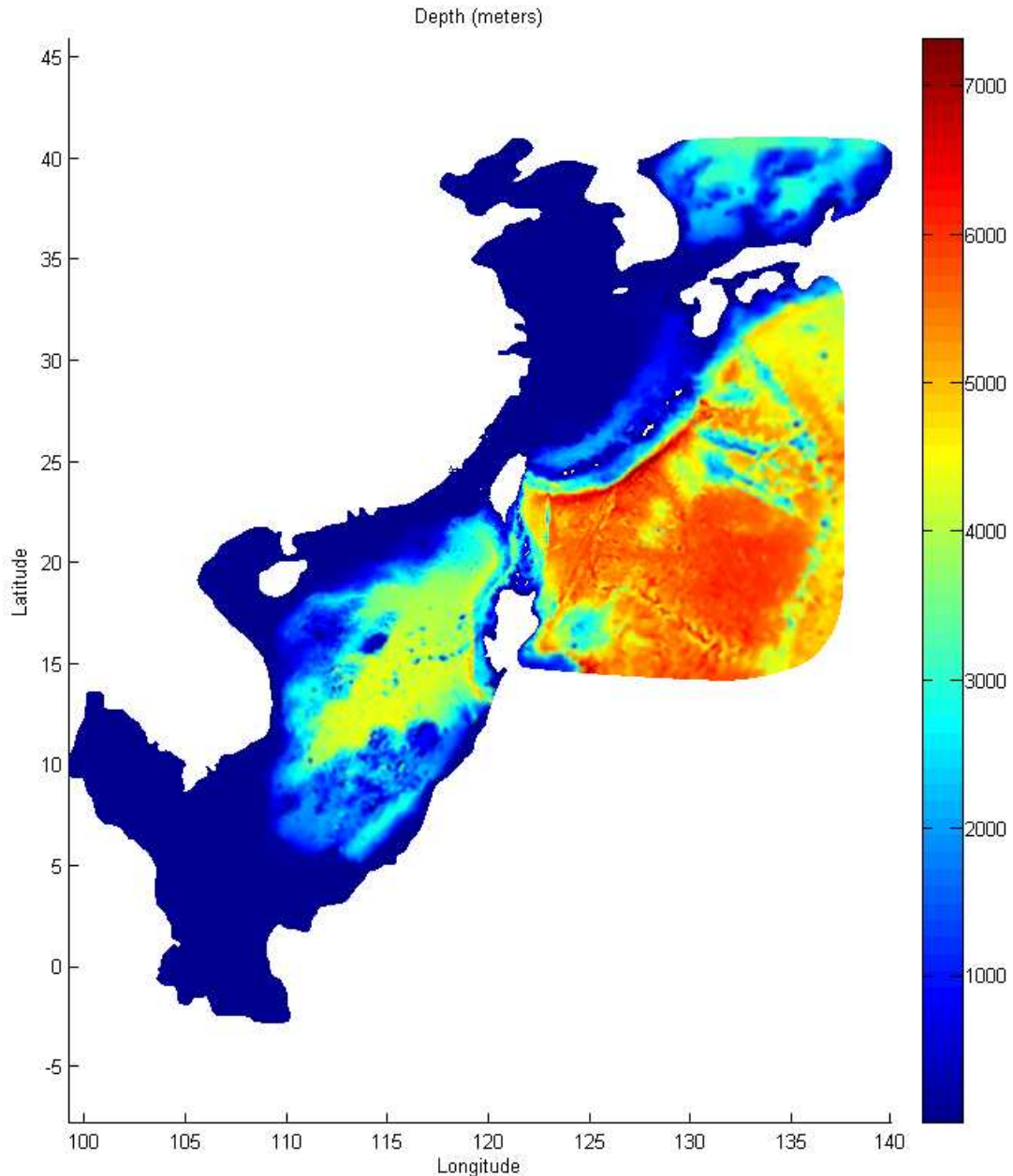


圖 6.1.1-3 模式地形分布

6.1.2 邊界條件與模式設定

邊界條件目前僅納入潮汐的影響，氣象場的部分(風速、氣壓)則於未來納入，潮汐以奧勒岡大學發展之潮汐反演模式 TPXO(Egbert et al., 1994; 2002)計算資料，分別於日本海、卡里馬塔海峽及太平洋海域作為輸入，其資料以由衛星影像得知海水面高度後，再反演推算出全球海表面之主要分潮組成，分潮資料包含半日潮 M2、S2、N2、K2 及全日潮 K1、O1、P1、Q1，分潮納入 Nodal factor 的修正，除全球海表面外，同時亦針對特定區域進行分析，提供較佳解析度之分潮組成，本計劃目前使用全球分潮資料作為輸入(圖 6.1.2-1)，未來再以較佳解析度之特定區域潮汐資料輸入進行模擬。

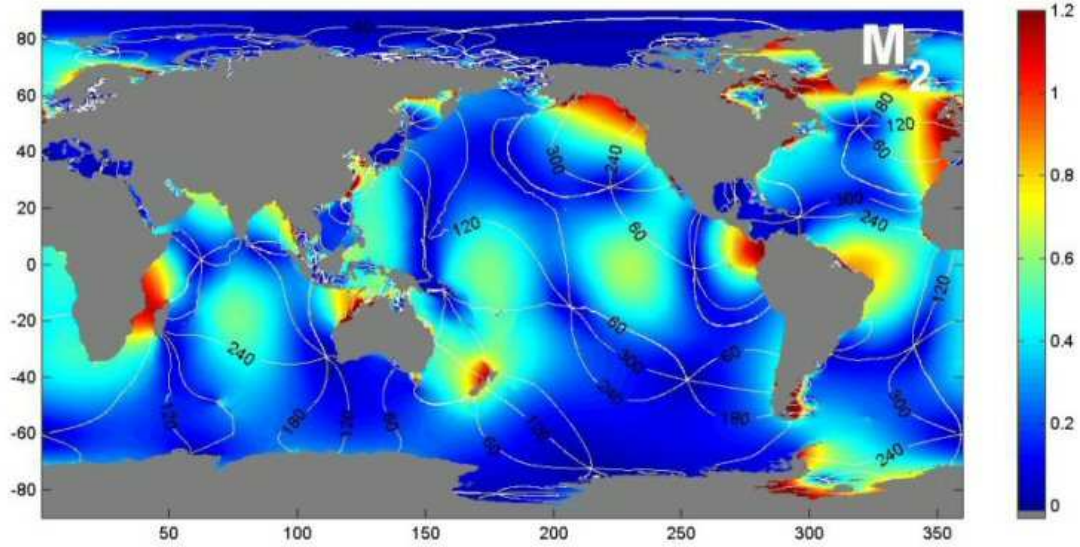


圖 6.1.2-1 TPXO 分潮 M2 全球資料分布

FVCOM 模式與大部分的海洋模式相同，利用 Mode splitting 的方式分開計算二維與三維的計算，因此也受到了 Courant-Friedrich Levy (CFL) 的時間步長限制，其公式如下：

$$\Delta t_E \leq \frac{\Delta L}{U + \sqrt{gD}} \quad (1)$$

Δt_E 為二維時間步長模式、 ΔL 為最小網格之最小邊長、 U 為流速、 D 為該網格之水深，假設流速為 0.5 ms^{-1} ，由最小網格之邊長與水深計算出之二維時間步長最大不能超出 15 秒，在此設定為 5 秒，三維時間步長則設定為 20 秒。

水平擴散部分，FVCOM 則採用了常見的 Smagorinsky 參數(Smagorinsky, 1963)，其公式如下：

$$A_m = 0.5C\Omega'' \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + 0.5\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

C 為控制常數， Ω'' 為各網格之面積， u 與 v 為水平流速， x 與 y 為水平座標，由此可知水平擴散部分藉由流速與網格大小計算，同時以控制常數 C 作為限制，在此 C 設定為 0.2。

底部摩擦係數部分則如下式：

$$C_d = \max\left(k^2 / \ln\left(\frac{z_b}{z_0}\right)^2, 0.0025\right) \quad (3)$$

其中 k 為 von Karman 常數，其值為 0.4， z_b 為各網格底層高度， z_0 為底床粗糙度，其值設為 0.001。

為配合取得之水位資料，模式模擬 2009 年全年水位，模式開始時間為 2008 年 12 月 1 日，初始水位與流速設為靜止，溫鹽計算部分關閉，計算 1 個月作為模式啟動時間(Spin-up)，2009 年 1 月 1 日後之模擬為計算結果，結果以逐時資料

記錄。

6.2 模式結果

透過前述之模式設定進行模擬後，模式結果與實測水位進行比對，實測水位為氣象局所提供 2009 年共 34 站，各站位置分布如圖 6.2.1-1 所示，包含台灣沿岸與離島，實測資料大致上涵蓋全年時間，除少數測站如大武、後壁湖、馬祖、台北港與彭佳嶼外，其餘測站涵蓋八成以上的有效時序（詳見表 6.2.1-1）。水位資料進行前處理後，以 Matlab t_tide toolbox (Pawlowica et al, 2002) 進行調和分析，該工具箱以 Foreman(1977)發展的調和分析程式為基礎進行改寫，除改進了輸入格式的不便外，另加入了 Error analysis 的部份，同時配合 Matlab 的圖形化工具，使得調和分析的計算與展示更加簡便。水位調和分析後僅透過天文潮重組的部份與模式進行比對，比對的部份包含天文潮時序比對與各分潮組成。

6.2.1 各站時序比對

時序比對的部份以 1 月作為展示，大小潮之變化以約 2 週之時序涵蓋，模式計算比對結果大致良好(圖 6.2.1-5~圖 6.2.1-35)，以東部測站表現較佳，包含成功、大武、富岡、福隆、花蓮、基隆、綠島、龍洞、蘭嶼、石梯、蘇澳、烏石共 12 站，全年模擬水位與重組天文潮水位計算之均方根誤差(RMS)低於 15 公分以下，以成功測站為最佳，測站如竹圍、料羅灣、麟山鼻、馬祖、麥寮、箔子寮、澎湖、新竹、台中港、台北、外埔則顯示較大之均方根誤差，皆大於 35 公分以上，然而其中料羅灣、馬祖、新竹、台中港之潮差約為 4 公尺，均方根誤差亦較易於累積。模式計算與實測重組之天文潮累積之誤差值，大多為模式高估或低估實測重組之天文潮水位造成，小琉球、高雄、東港、台北港、淡水、永安等測站則顯示為相位不符造成，可透過調和分析得知其相位差異。

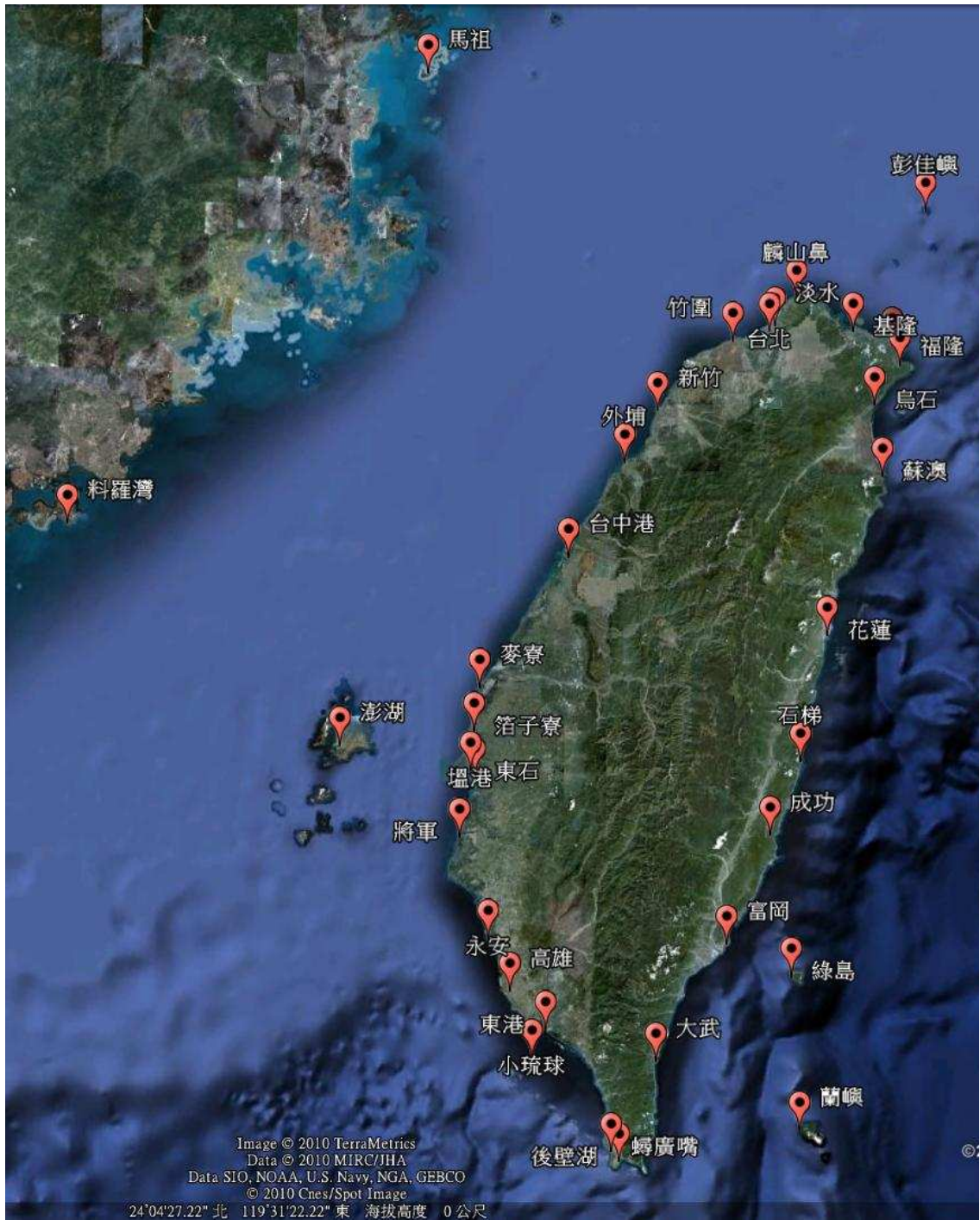


圖 6.2.1-1 水位測站位置

表 6.2.1-1 測站位置與 2009 年實測與模式水位比對之均方根誤差

測站名稱	緯度	經度	有效資料比率	RMS (meter)
將軍	23°12'38	120°04'39	97.799%	0.2503
成功	23°05'20"	121°22'36"	95.218%	0.0846
小琉球	22°21'13"	120°22'52"	91.935%	0.1896
大武	22°20'15"	120°53'50"	69.233%	0.1017
富岡	22°47'27"	121°11'35"	99.190%	0.0888
福隆	25°01'18"	121°57'00"	94.096%	0.1061
竹圍	25°07'12"	121°14'07"	92.079%	0.4529
花蓮	23°58'49"	121°37'23"	99.264%	0.0936
後壁	21°56'45"	120°44'43"	76.418%	0.1291
基隆	25°09'18"	121°45'05"	92.208%	0.1297
高雄	22°36'52"	120°17'18"	84.951%	0.2106
綠島	22°39'44"	121°27'53"	99.356%	0.0998
料羅灣	24°24'31"	118°25'48"	98.237%	0.6667
龍洞	25°05'51"	121°55'05"	99.231%	0.1280
麟山鼻	25°17'04"	121°30'38"	98.313%	0.3612
蘭嶼	22°03'35"	121°29'59"	86.617%	0.1302
馬祖	26°09'42"	119°56'34"	76.957%	0.6101
麥寮	23°47'10"	120°09'37"	95.682%	0.4963
箔子寮	23°37'07"	120°08'15"	95.565%	0.3759
澎湖	23°33'42"	119°34'41"	97.616%	0.4238
新竹	24°51'01"	120°54'44"	96.807%	0.5741
蟬廣嘴	21°59'08"	120°42'43"	94.910%	0.1509
石梯	23°29'41"	121°30'22"	99.135%	0.0880
蘇澳	24°35'33"	121°52'02"	97.940%	0.0562
台中港	24°17'16"	20°31'59"	94.803%	0.5954
東港	22°27'50"	120°26'15"	90.250%	0.1990
台北	25°09'18"	121°23'33"	48.263%	0.4211
東石	23°26'39"	120°08'27"	95.301%	0.2730
淡水	25°10'38"	121°25'00"	95.806%	0.3557
永安	22°49'08"	120°11'51"	98.983%	0.1951
烏石	24°52'07"	121°50'17"	96.811%	0.0910
塭港	23°28'00"	120°07'21"	94.855%	0.2821
外埔	24°39'05"	120°46'18"	89.990%	0.6206
彭佳嶼	25°37'31"	122°04'32"	55.310%	0.1398

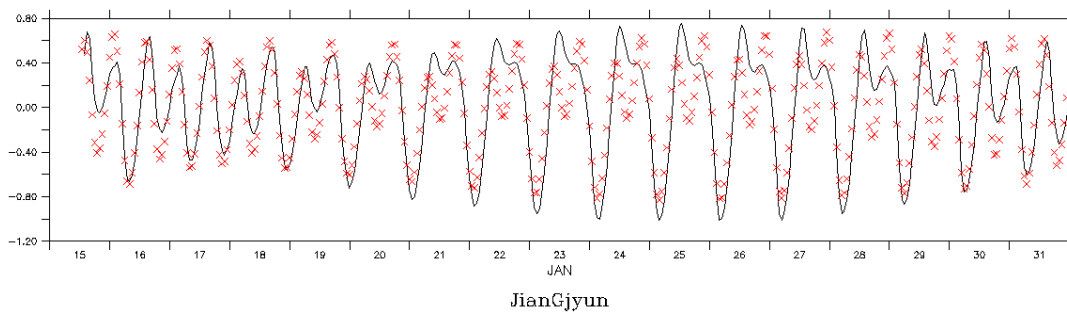


圖 6.2.1-2 將軍測站模式水位與實測天文潮之比對

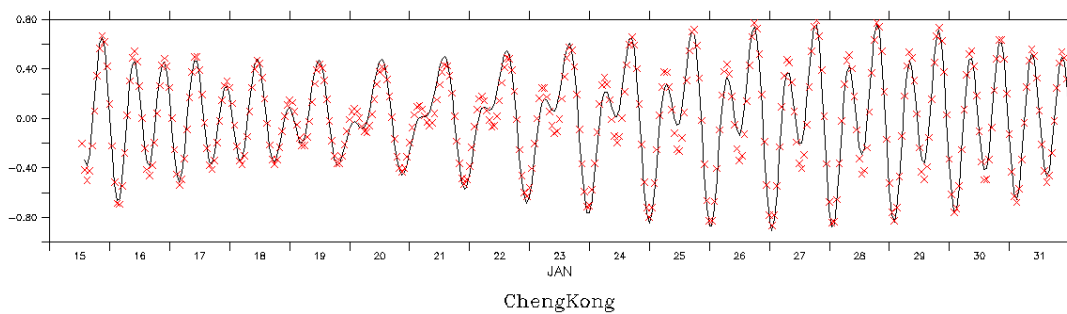


圖 6.2.1-3 成功測站模式水位與實測天文潮之比對

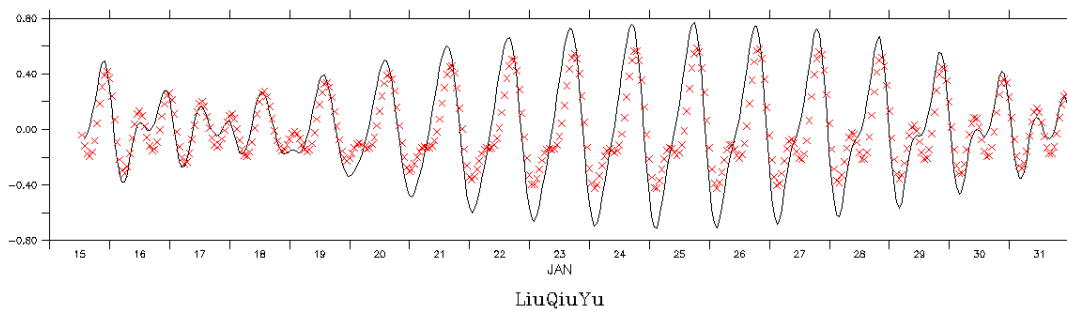


圖 6.2.1-4 小琉球測站模式水位與實測天文潮之比對

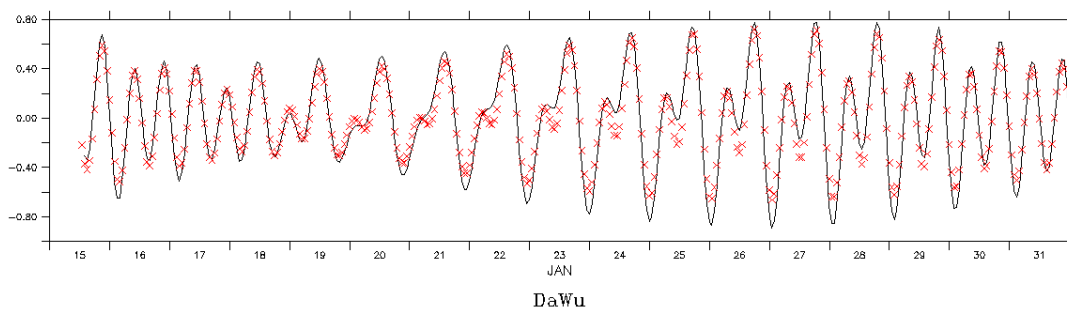


圖 6.2.1-5 大武測站模式水位與實測天文潮之比對

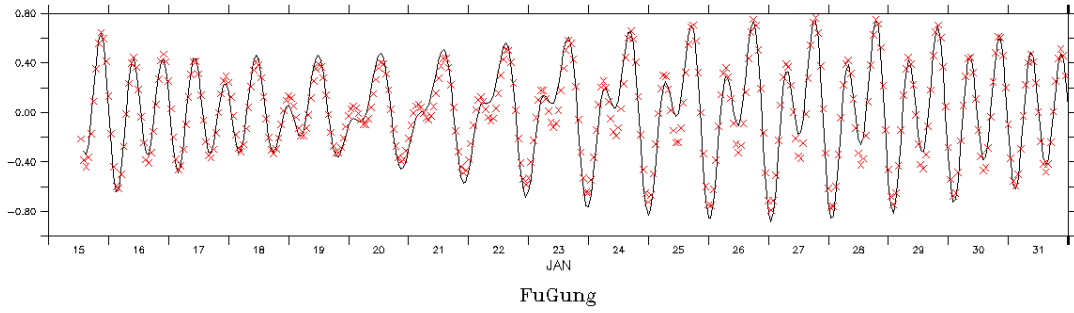


圖 6.2.1-6 富岡測站模式水位與實測天文潮之比對

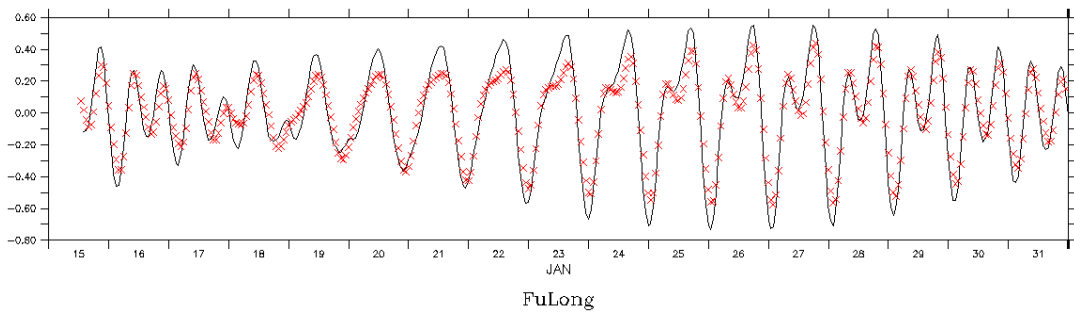


圖 6.2.1-7 福隆測站模式水位與實測天文潮之比對

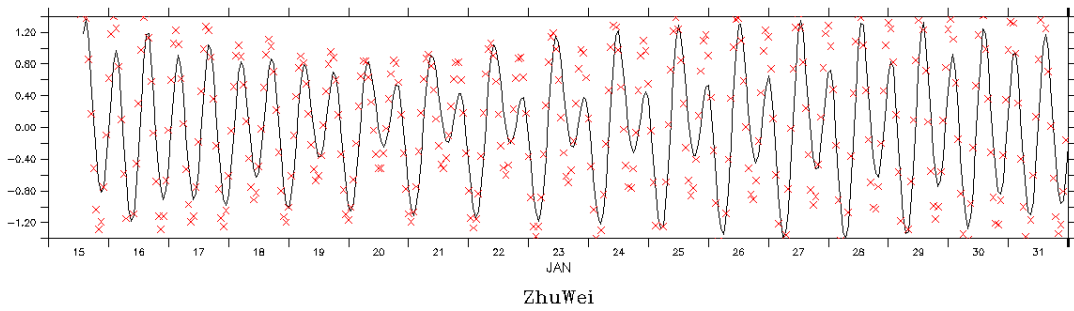


圖 6.2.1-8 竹圍測站模式水位與實測天文潮之比對

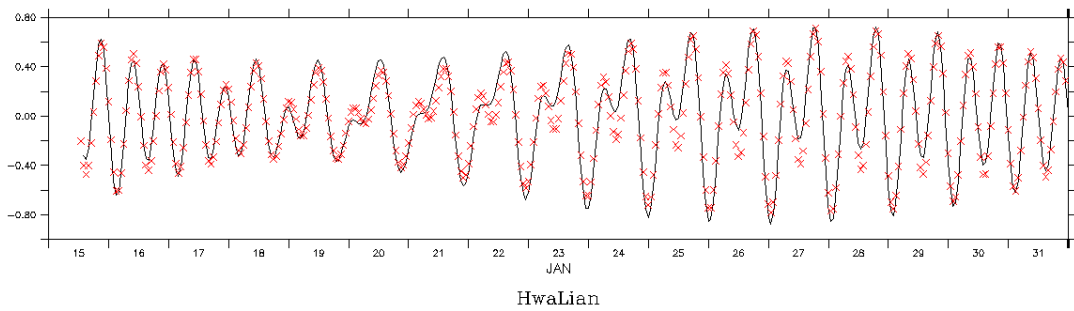


圖 6.2.1-9 花蓮測站模式水位與實測天文潮之比對

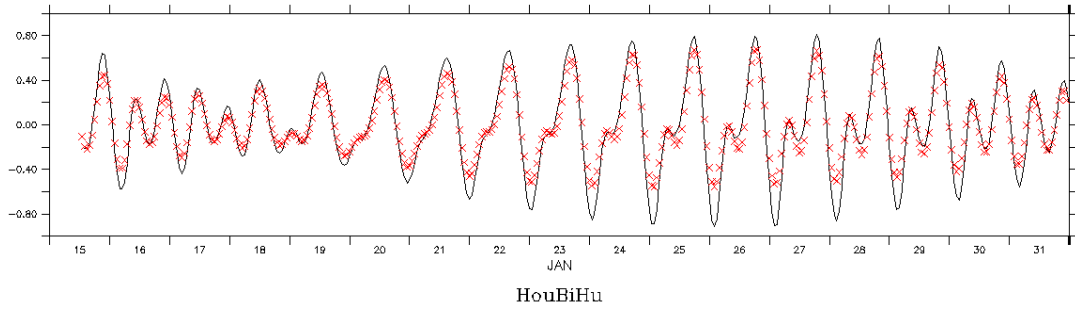


圖 6.2.1-10 後壁湖測站模式水位與實測天文潮之比對

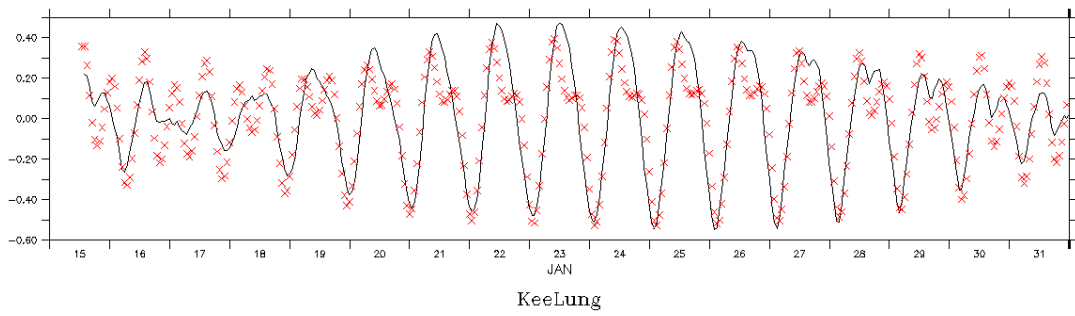


圖 6.2.1-11 基隆測站模式水位與實測天文潮之比對

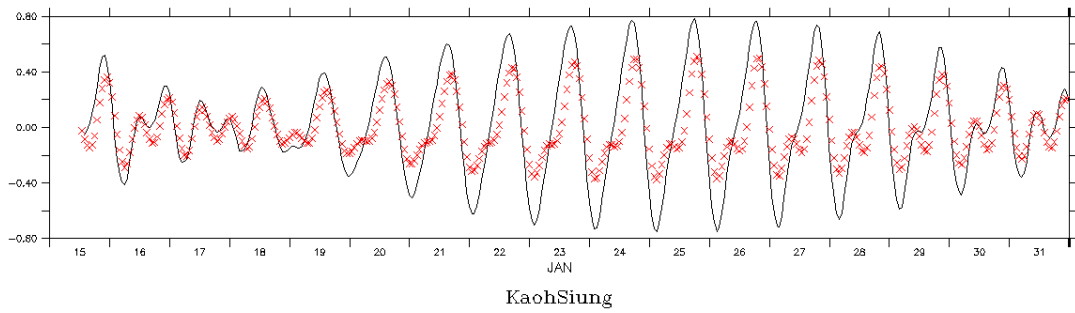


圖 6.2.1-12 高雄測站模式水位與實測天文潮之比對

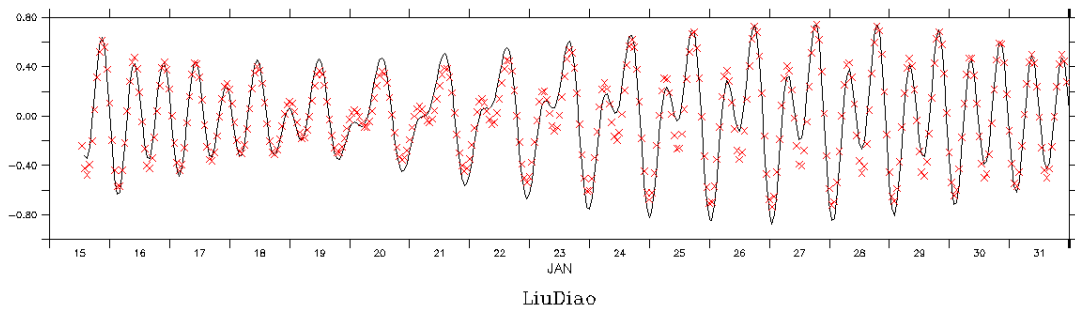


圖 6.2.1-13 綠島測站模式水位與實測天文潮之比對

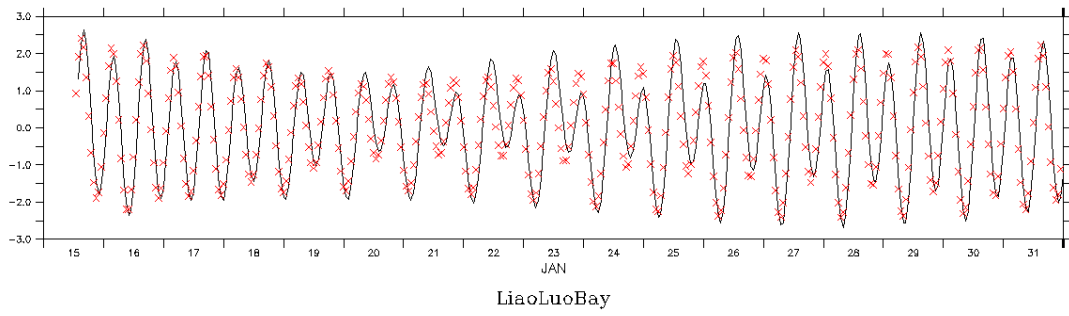


圖 6.2.1-14 料羅灣測站模式水位與實測天文潮之比對

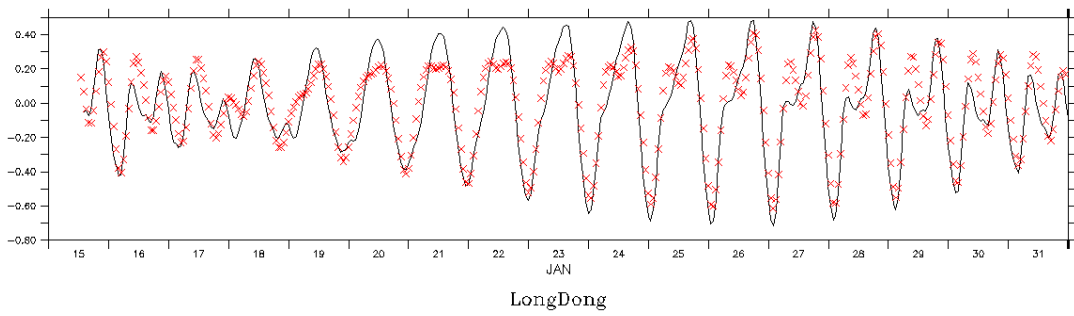


圖 6.2.1-15 龍洞測站模式水位與實測天文潮之比對

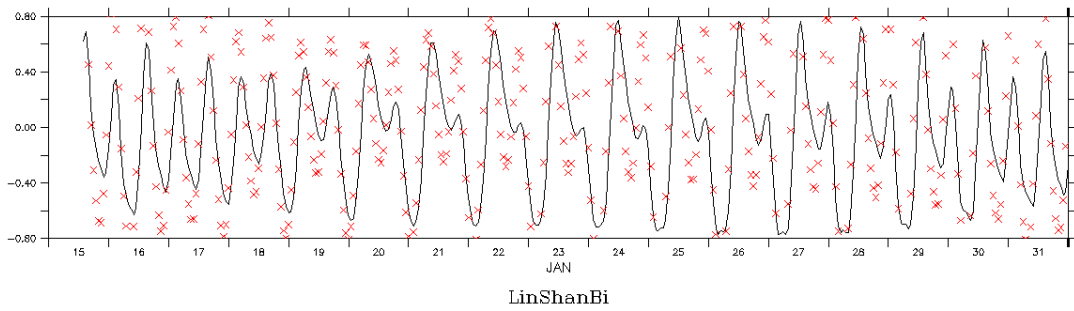


圖 6.2.1-16 麟山鼻測站模式水位與實測天文潮之比對

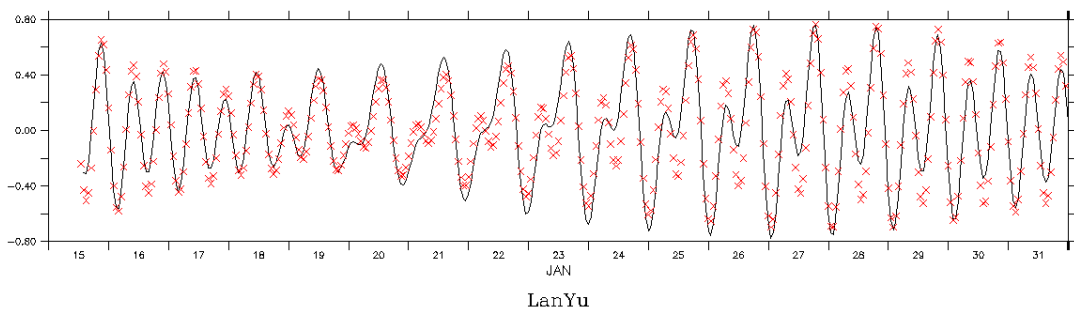


圖 6.2.1-17 蘭嶼測站模式水位與實測天文潮之比對

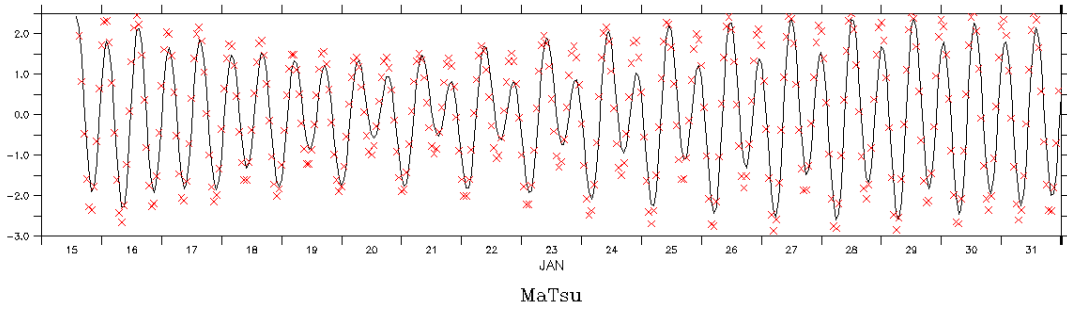


圖 6.2.1-18 馬祖測站模式水位與實測天文潮之比對

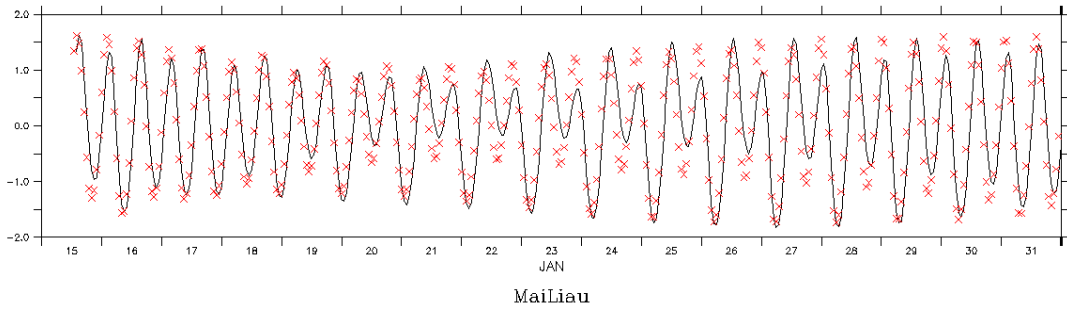


圖 6.2.1-19 麥寮測站模式水位與實測天文潮之比對

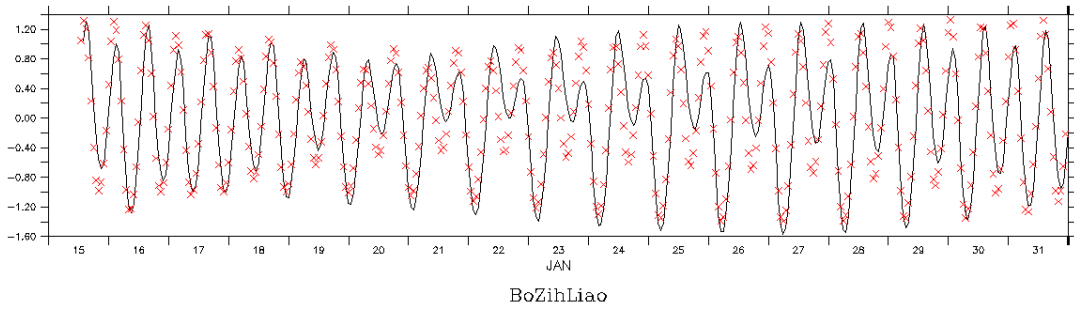


圖 6.2.1-20 箔子寮測站模式水位與實測天文潮之比對

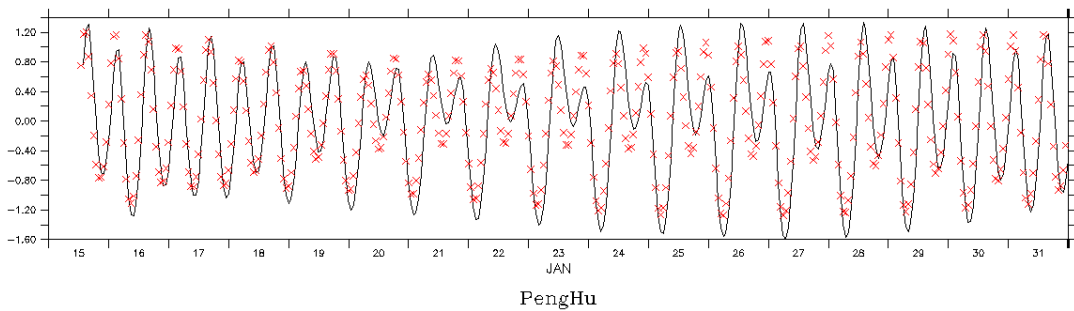


圖 6.2.1-21 澎湖測站模式水位與實測天文潮之比對

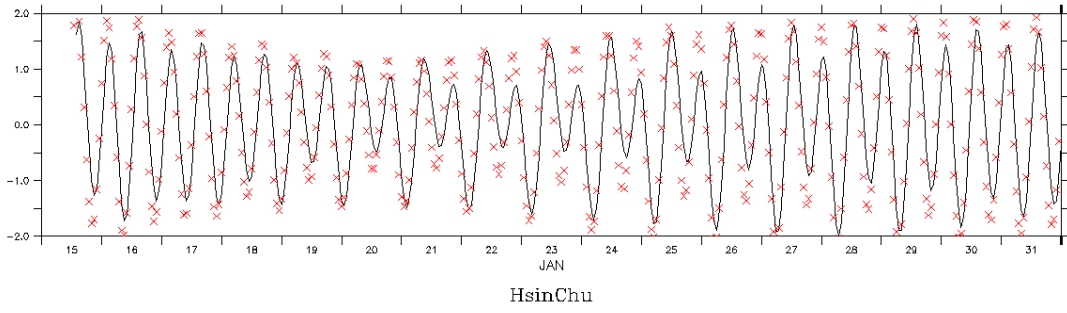


圖 6.2.1-22 新竹測站模式水位與實測天文潮之比對

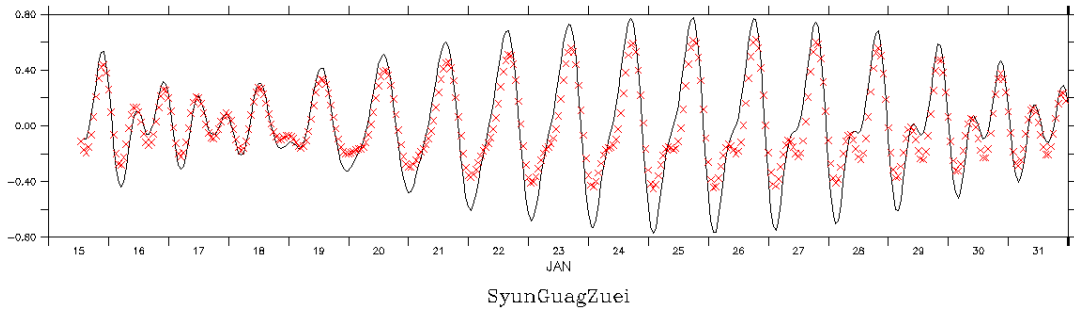


圖 6.2.1-23 蟬廣嘴測站模式水位與實測天文潮之比對

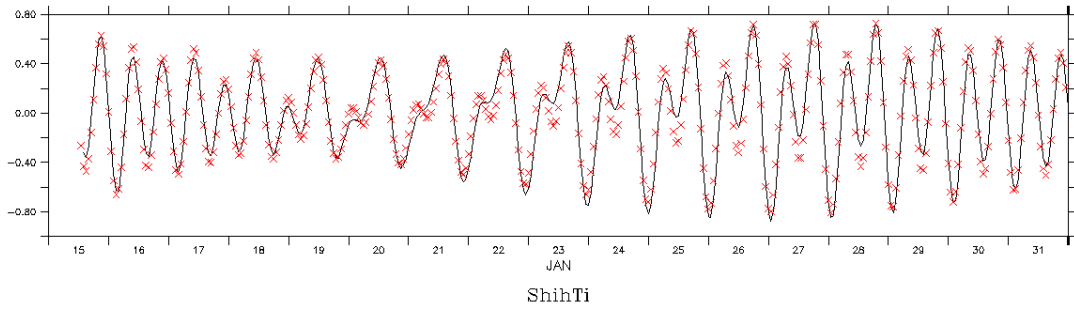


圖 6.2.1-24 石梯測站模式水位與實測天文潮之比對

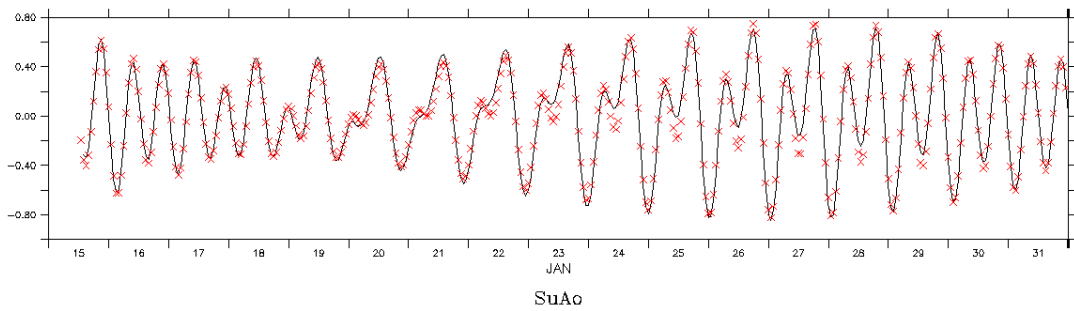


圖 6.2.1-25 蘇澳測站模式水位與實測天文潮之比對

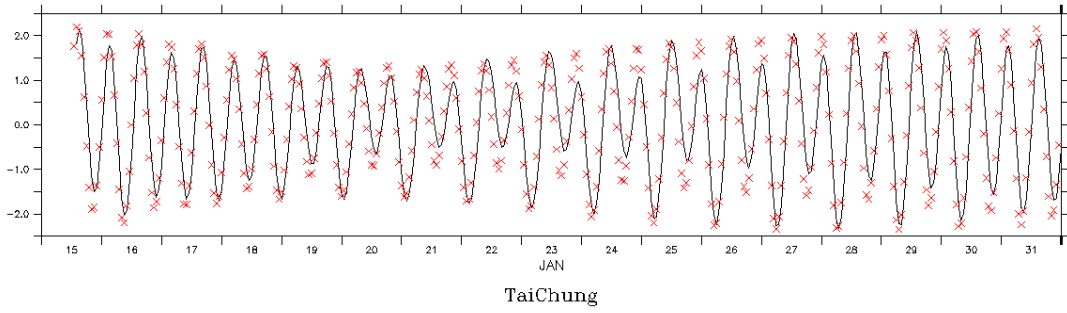


圖 6.2.1-26 台中港測站模式水位與實測天文潮之比對

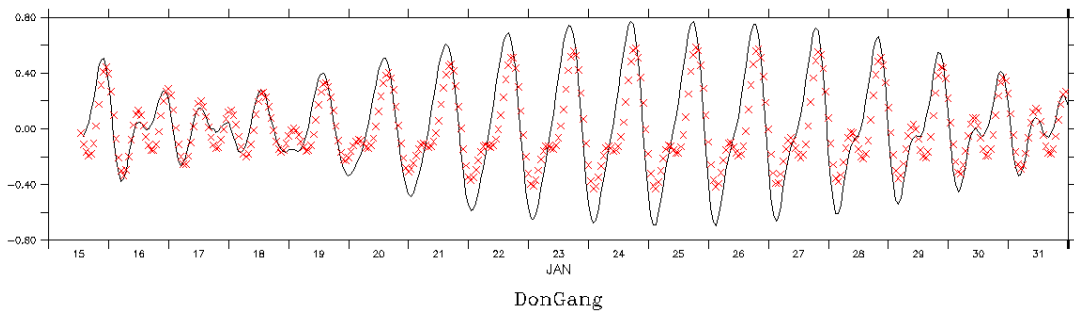


圖 6.2.1-27 東港測站模式水位與實測天文潮之比對

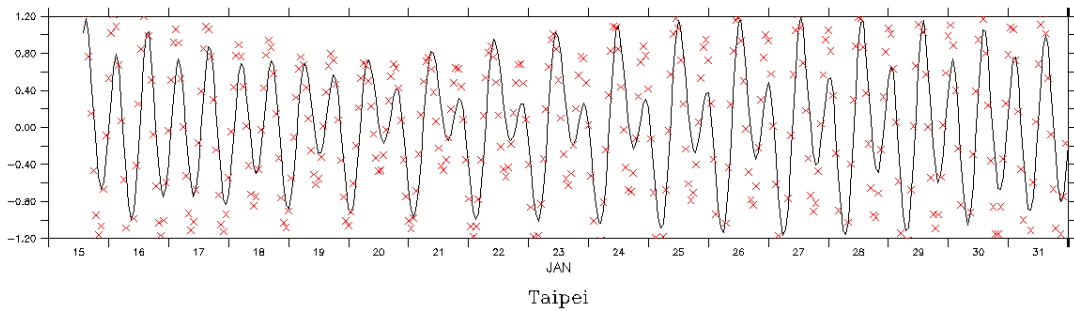


圖 6.2.1-28 台北港測站模式水位與實測天文潮之比對

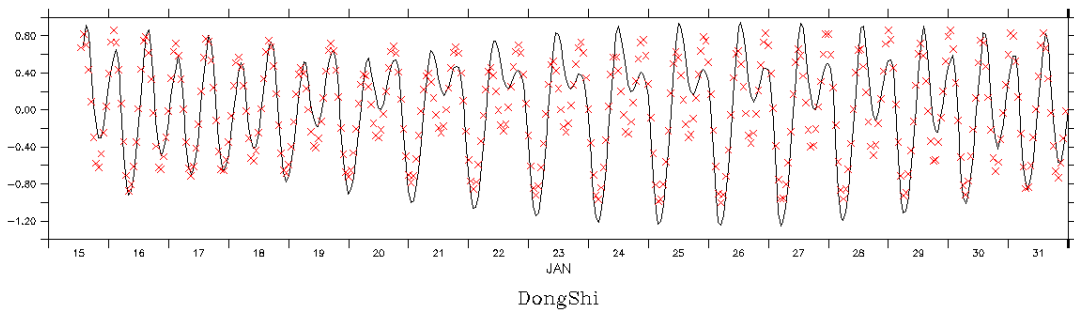


圖 6.2.1-29 東石測站模式水位與實測天文潮之比對

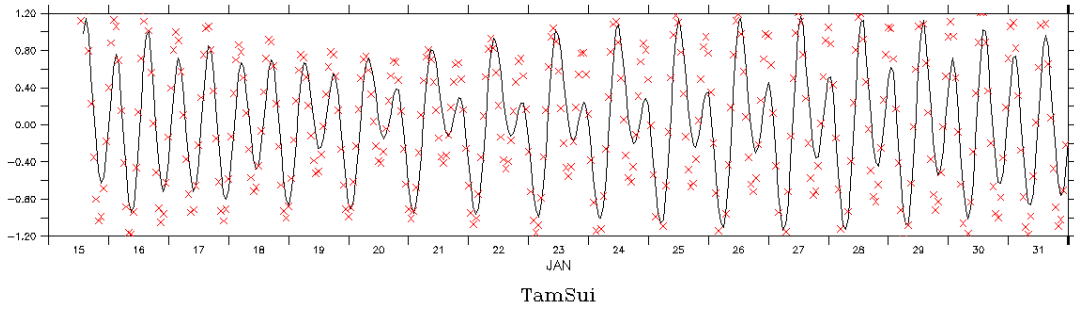


圖 6.2.1-30 淡水測站模式水位與實測天文潮之比對

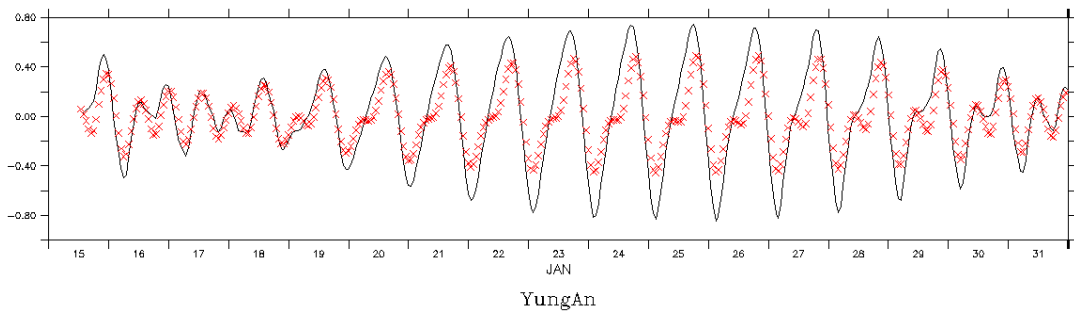


圖 6.2.1-31 永安測站模式水位與實測天文潮之比對

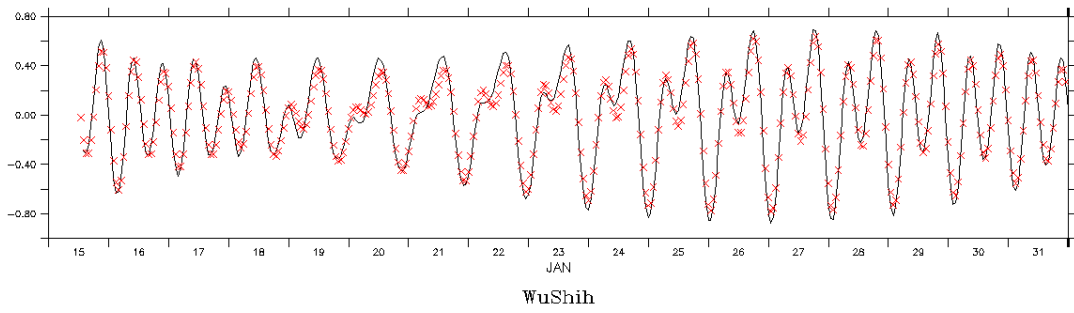


圖 6.2.1-32 烏石測站模式水位與實測天文潮之比對

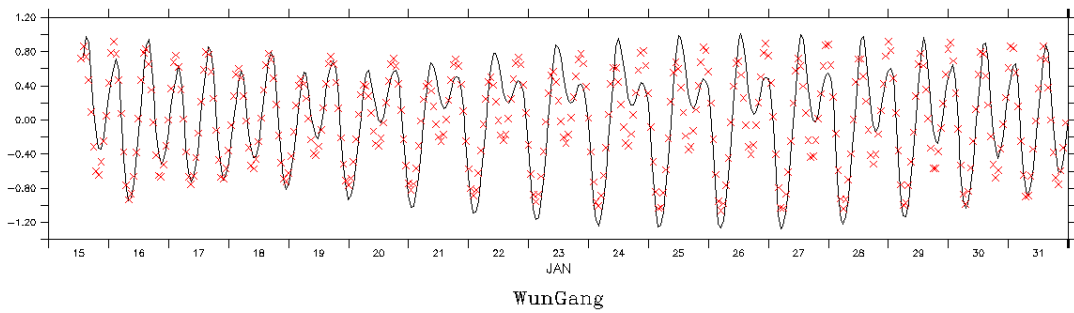


圖 6.2.1-33 塭港測站模式水位與實測天文潮之比對

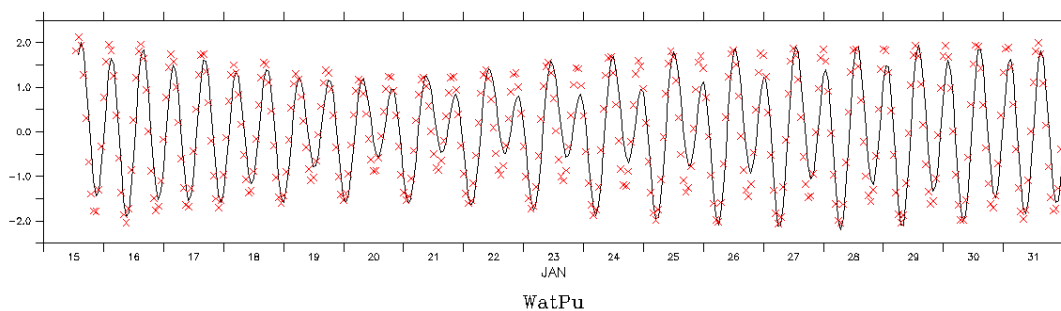


圖 6.2.1-34 外埔測站模式水位與實測天文潮之比對

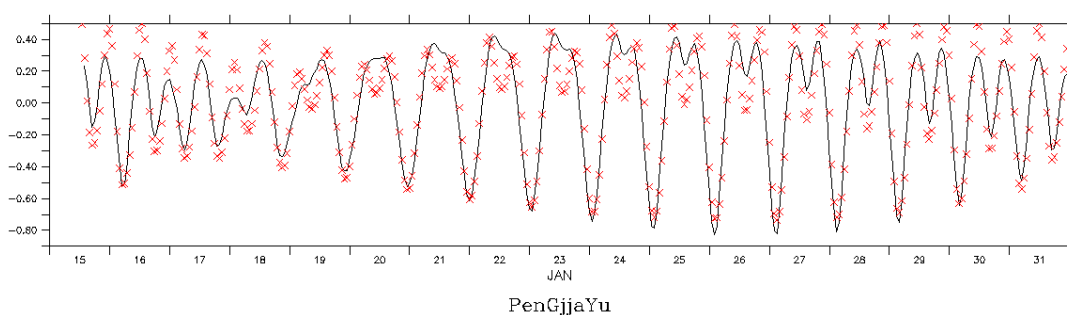


圖 6.2.1-35 彭佳嶼測站模式水位與實測天文潮之比對

6.2.2 調和常數比對

透過調和分析全年水位，模式計算之分潮振幅與相位分布以 M2 及 K1 展示 (圖 6.2.2-1~圖 6.2.2-4)，台灣海峽內部振幅較高，M2 分潮平均約 2 公尺以上，台灣東部則約 0.5 公尺左右，由振幅與相位來看，東海與渤海內部包含 3 個無潮點，對馬海峽北邊亦有 1 無潮點，與大部分之衛星水位發展之潮汐模式結果相符，如 TPXO (Egbert et al., 1994; 2002)、NAO99b (Matsumoto et al., 2000) 等。

各測站之調和常數比對顯示如圖 6.2.2-5~圖 6.2.2-12，半日潮振幅比對大致良好，除麟山鼻、外埔測站(M2 分潮)；大武、富岡、馬祖、新竹、台北港(S2 分潮)；成功、福隆、後壁湖、高雄港、龍洞、新竹、東港(N2 分潮)；大武、富岡、馬祖、新竹、台北、彭佳嶼(K2 分潮)之振幅誤差較大，半日潮相位的部份東岸測站較西岸測站為佳，西岸測站包含台灣海峽內之離島部分，相位比對差異較大。

全日潮振幅部分則顯示模式結果普遍高估於實測，K1 分潮幾乎所有測站之模擬結果約為實測之 2 倍。全日潮相位之比對則較半日潮為佳，除小琉球、高雄港、新竹、東港、外埔、彭佳嶼(K1 與 P1 分潮)；成功、高雄港、新竹、外埔、彭佳嶼(O1 分潮)；大武、高雄港、新竹、石梯、台中港、東港、淡水、外埔、彭佳嶼(Q1 分潮)之相位誤差較大。未來於模式調校過程中，將逐步調整邊界分潮輸入以符合實際水位。

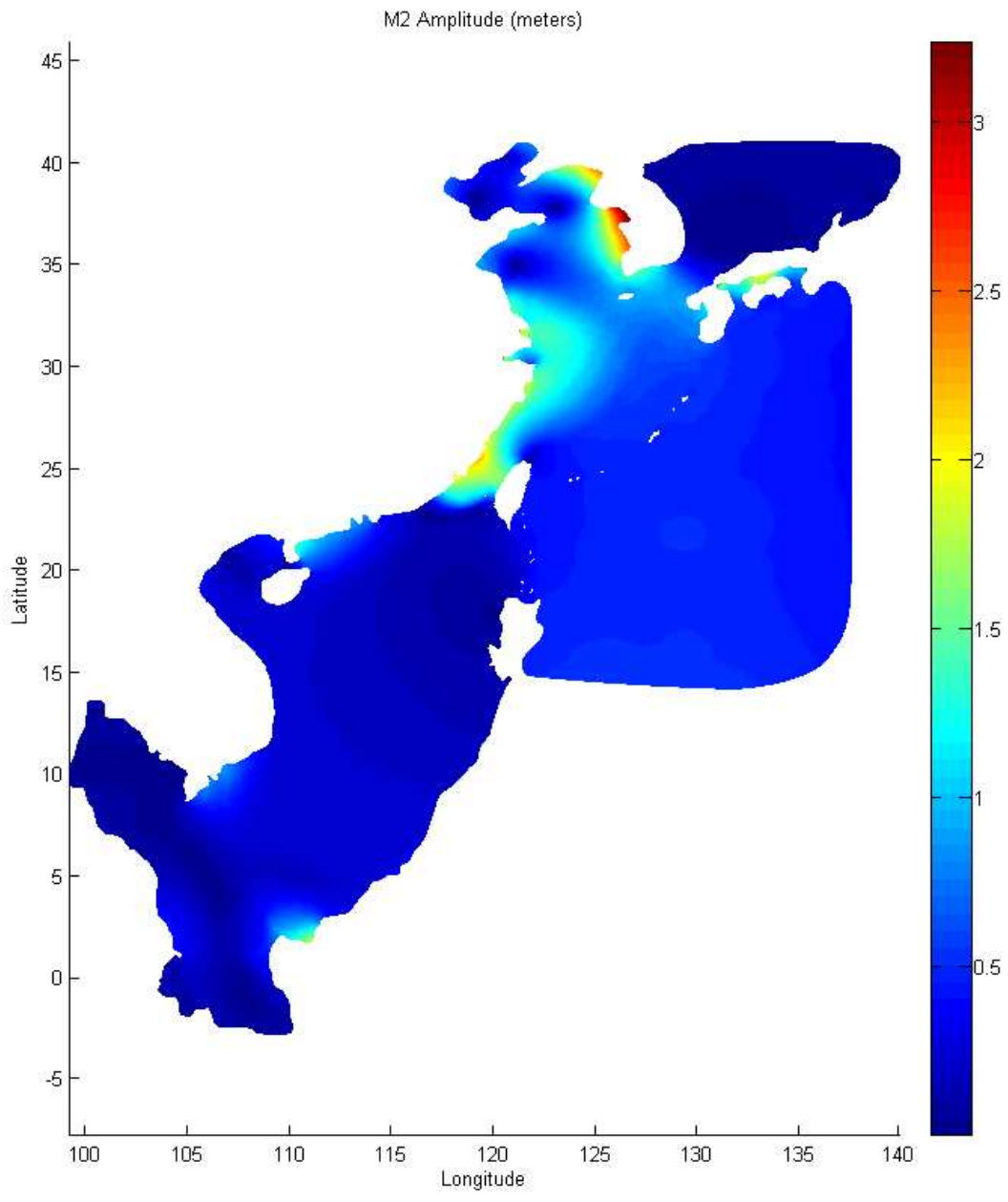


圖 6.2.2-1 模式計算之分潮 M2 振幅分布

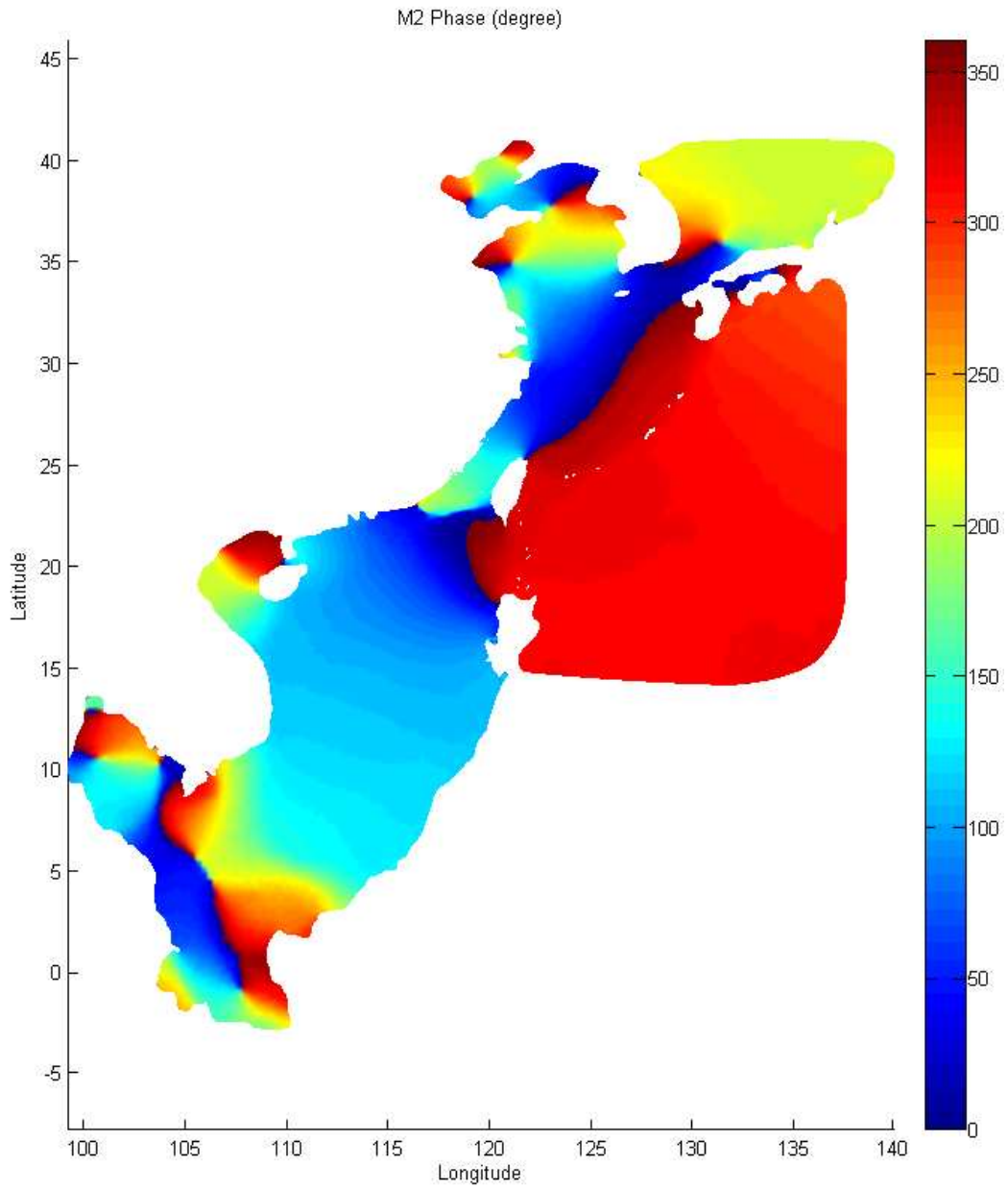


圖 6.2.2-2 模式計算之分潮 M2 相位分布 (以 GMT 為時間基準)

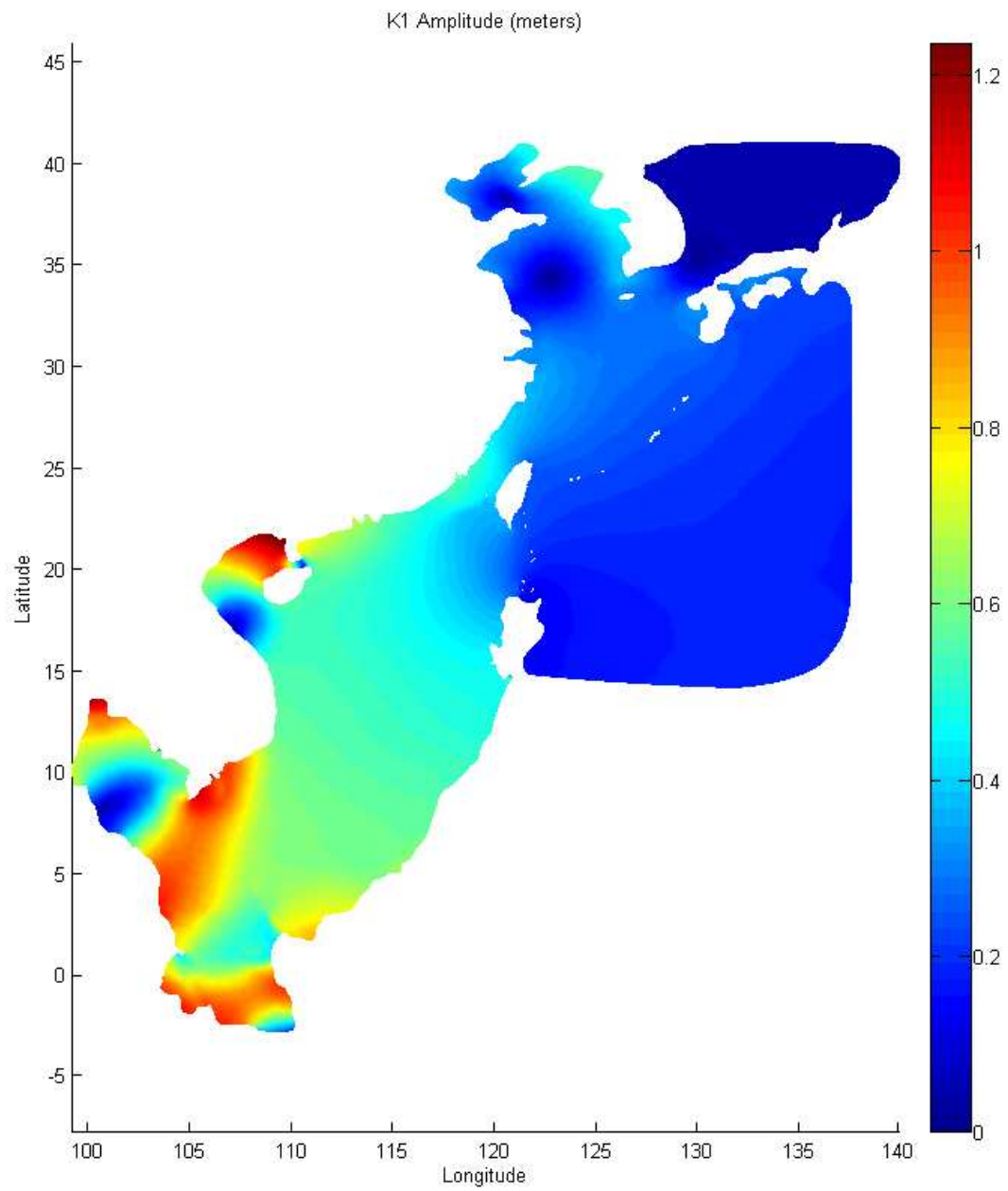


圖 6.2.2-3 模式計算之分潮 K1 振幅分布

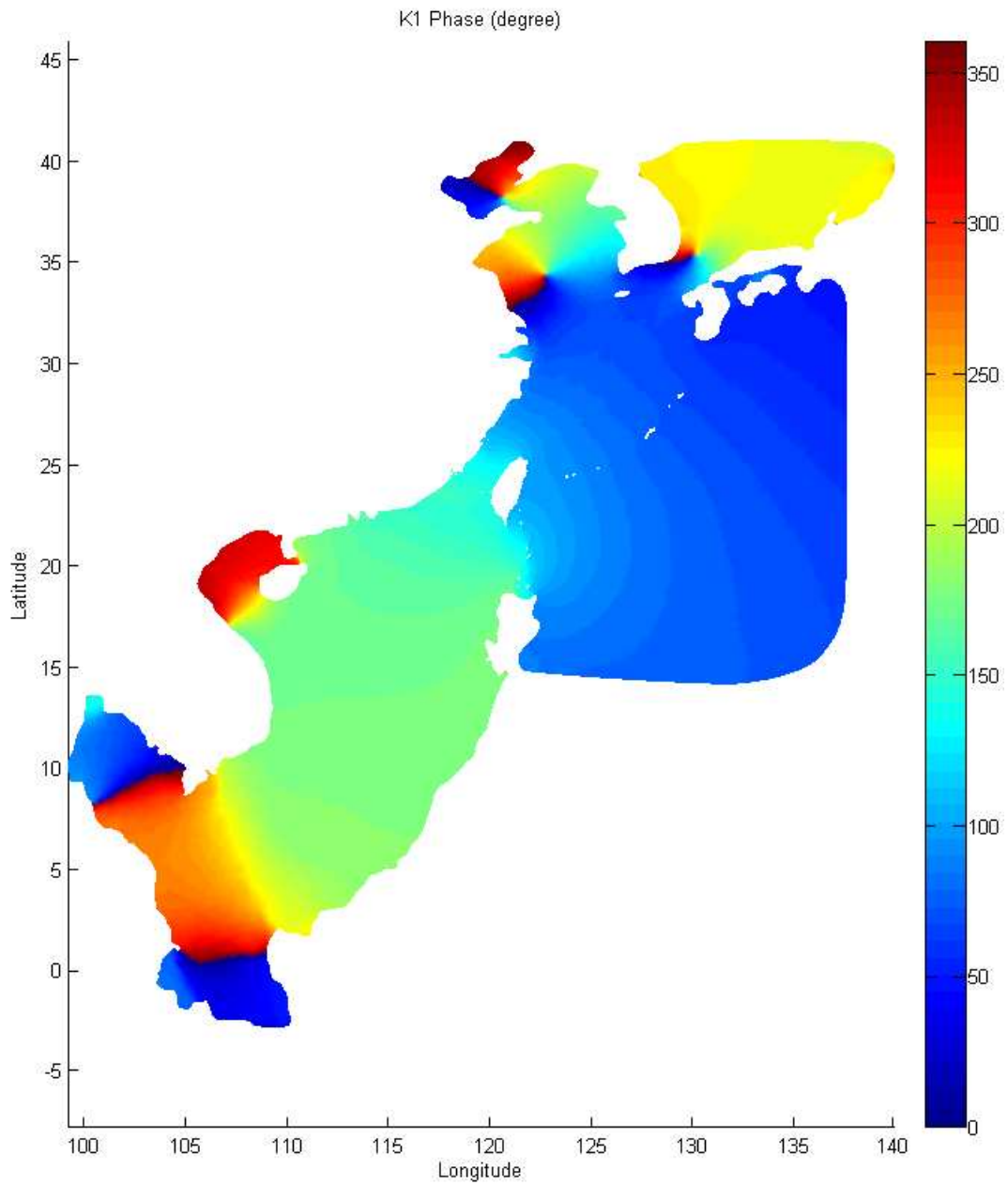


圖 6.2.2-4 模式計算之分潮 K1 相位分布 (以 GMT 為時間基準)

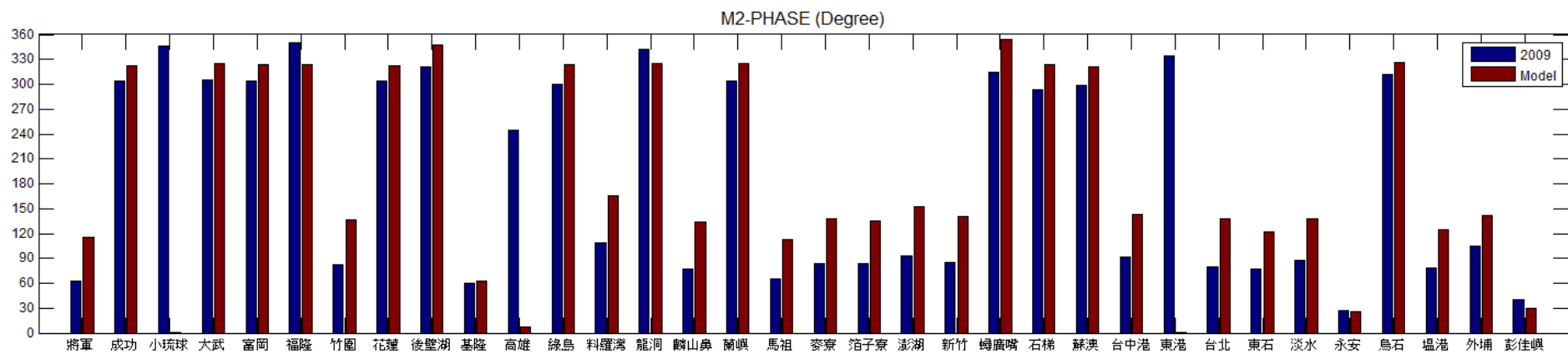
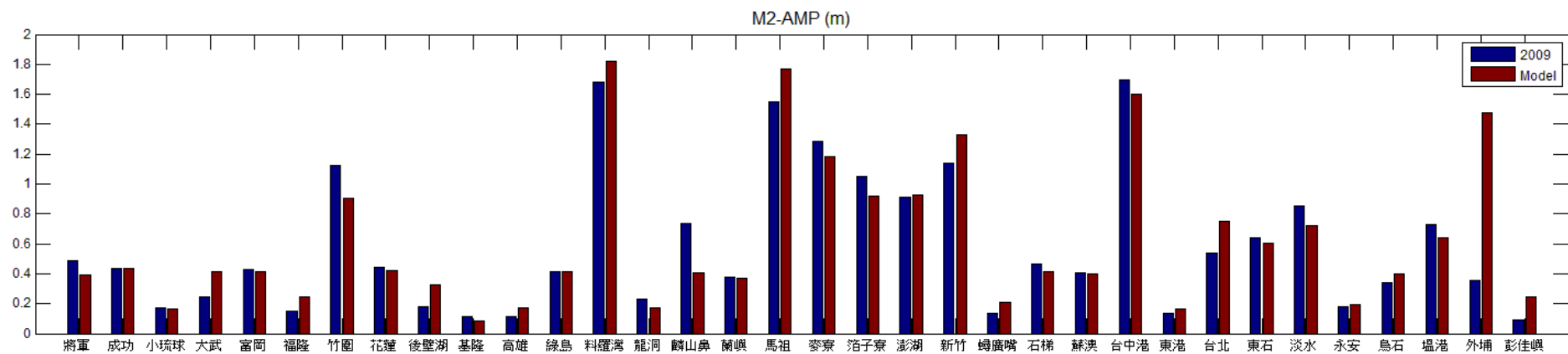


圖 6.2.2-5 模式計算 M2 分潮與實測比對

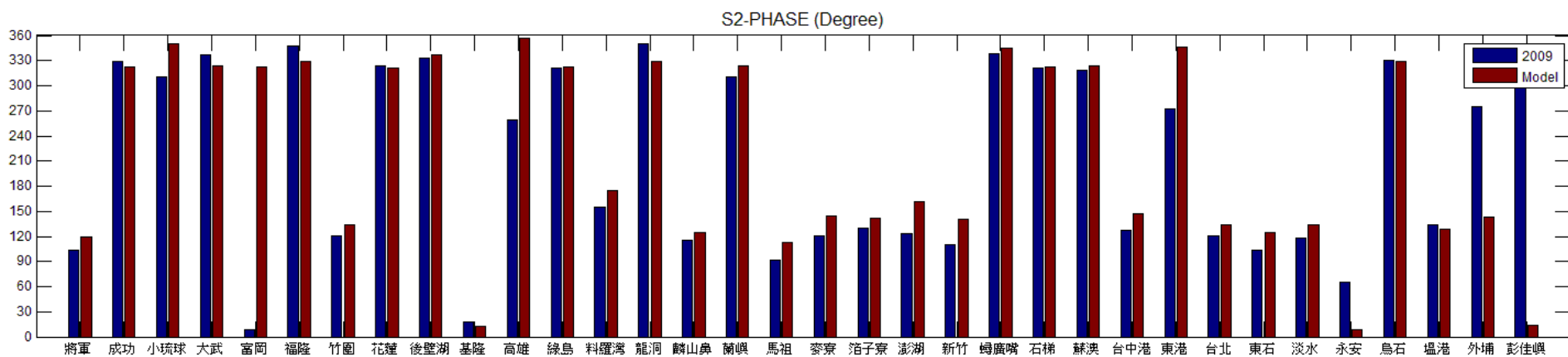
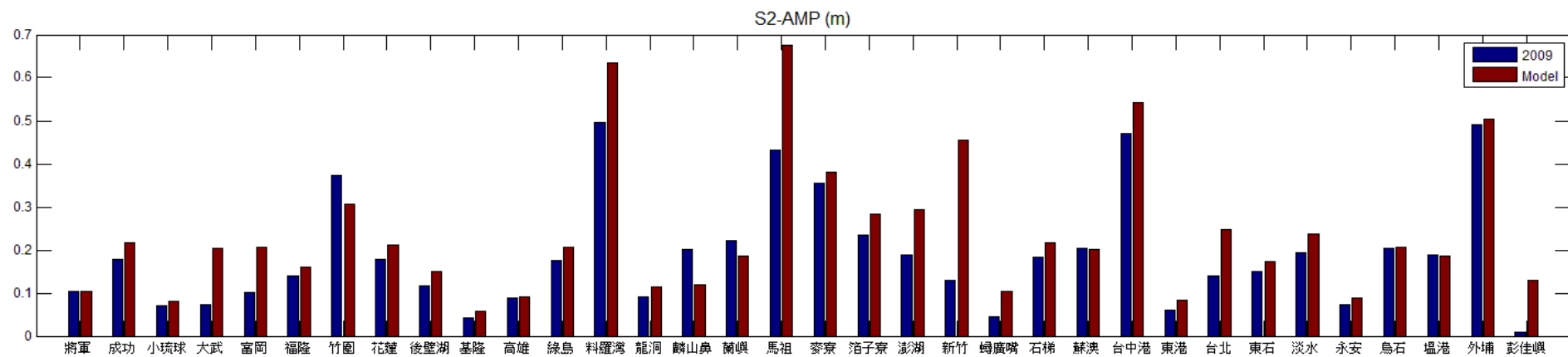


圖 6.2.2-6 模式計算 S2 分潮與實測比對

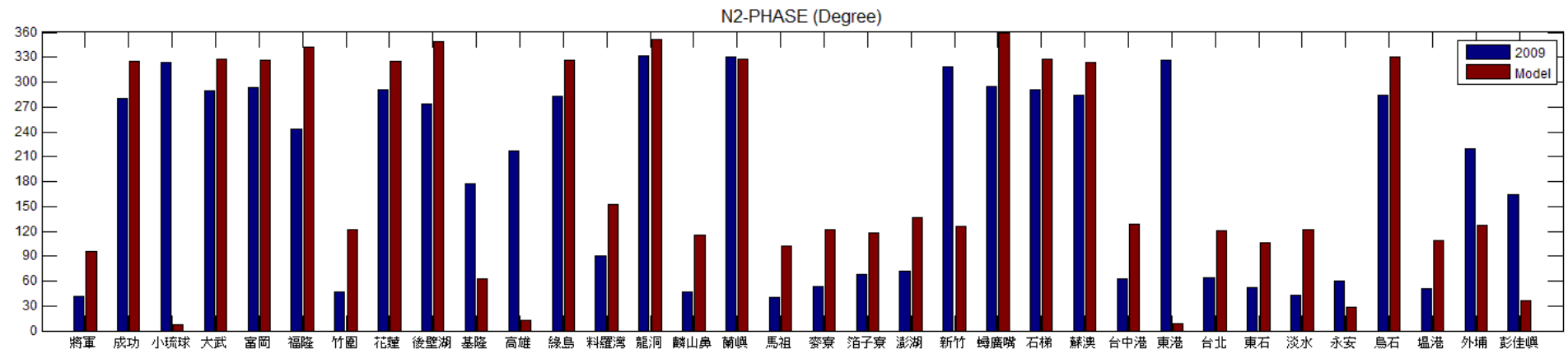
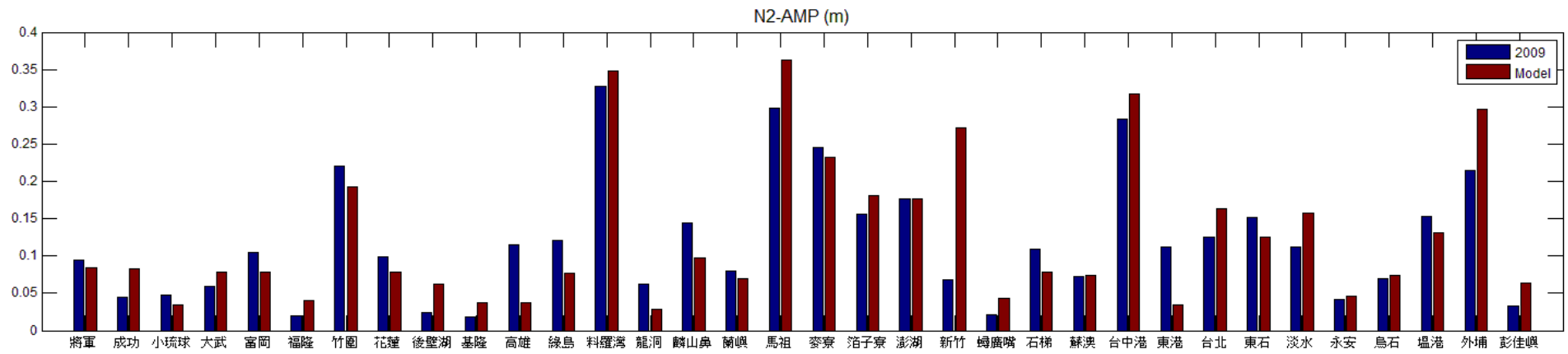


圖 6.2.2-4 模式計算 N2 分潮與實測比對

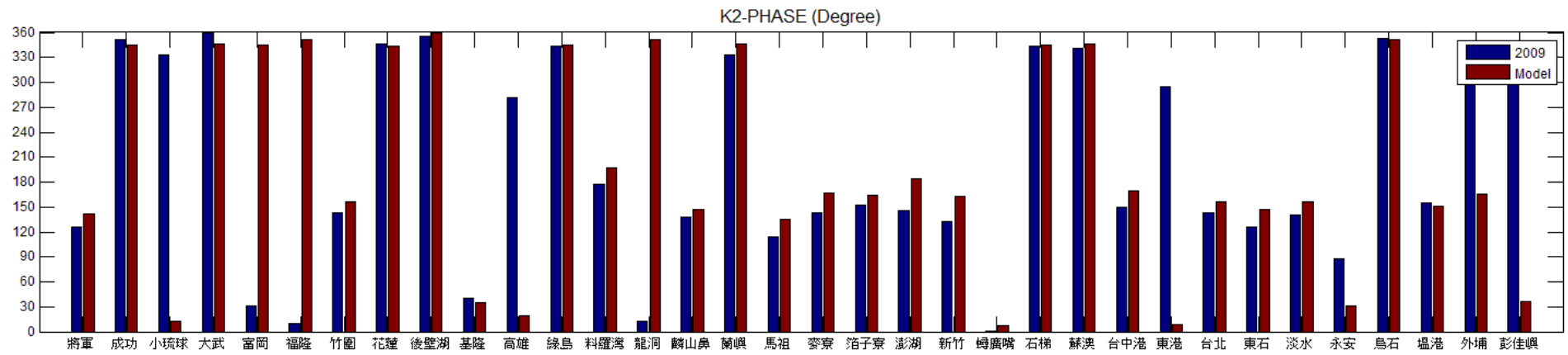
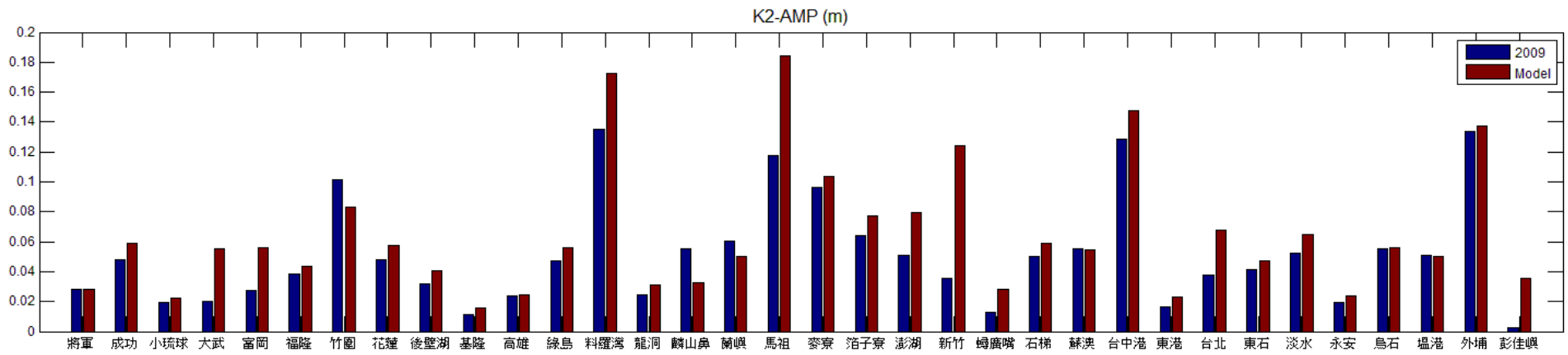


圖 6.2.2-8 模式計算 K2 分潮與實測比對

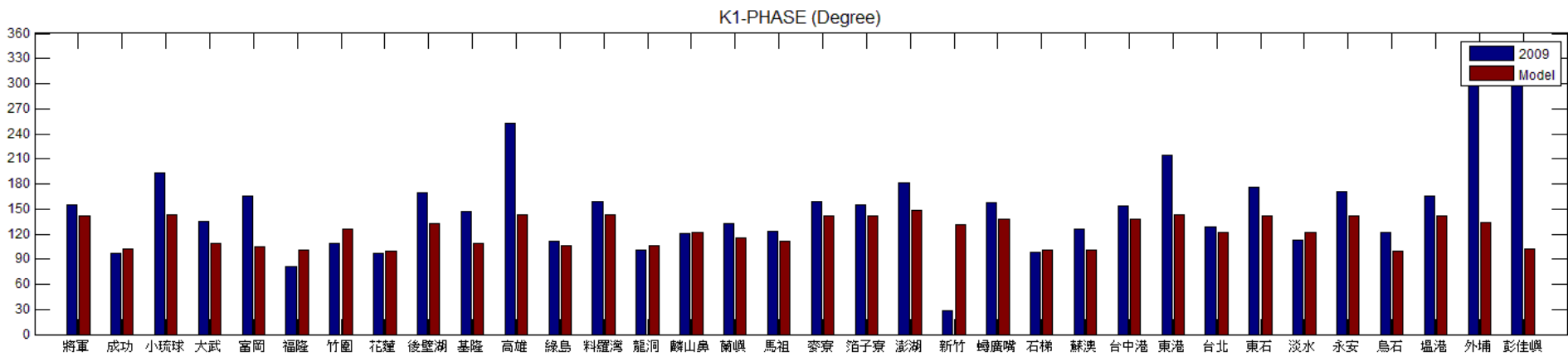
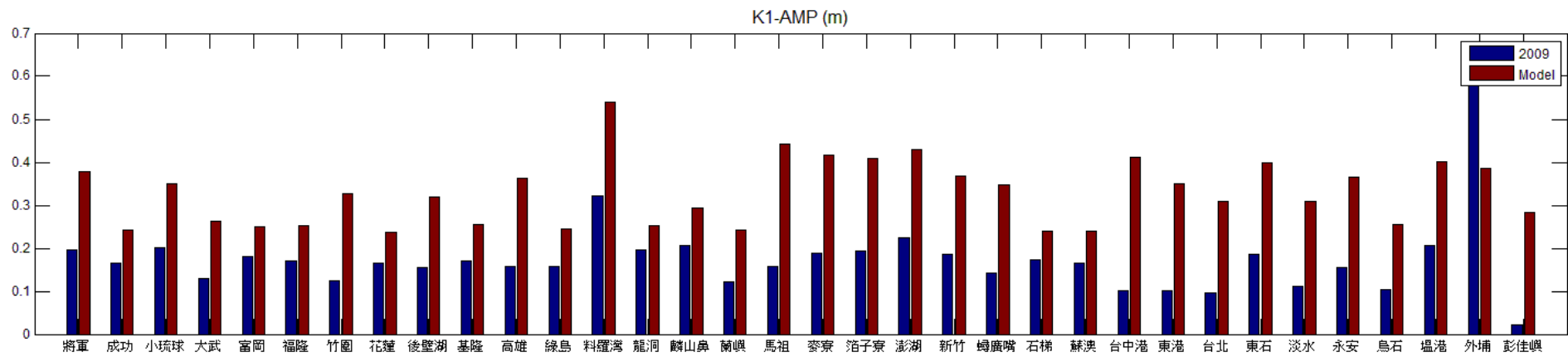


圖 6.2.2-9 模式計算 K1 分潮與實測比對

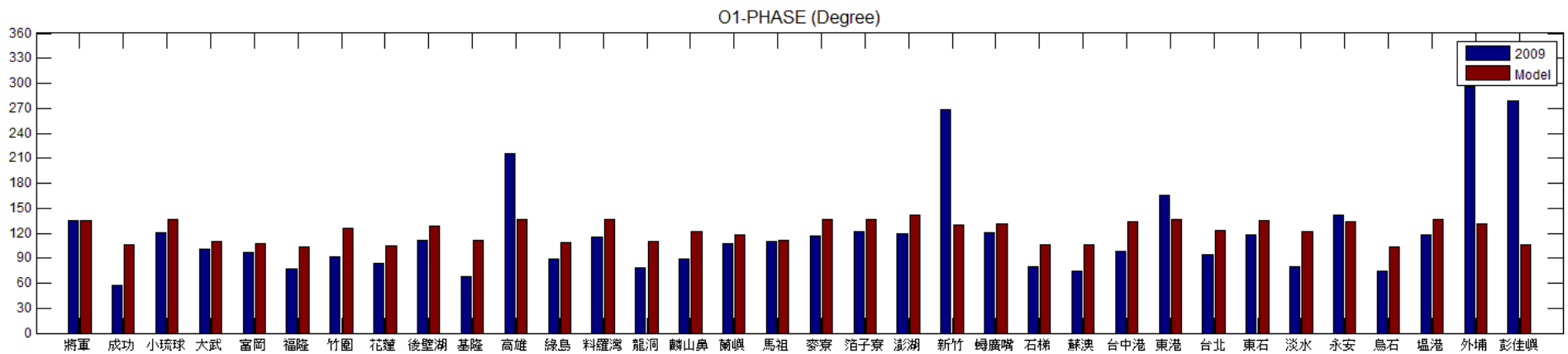
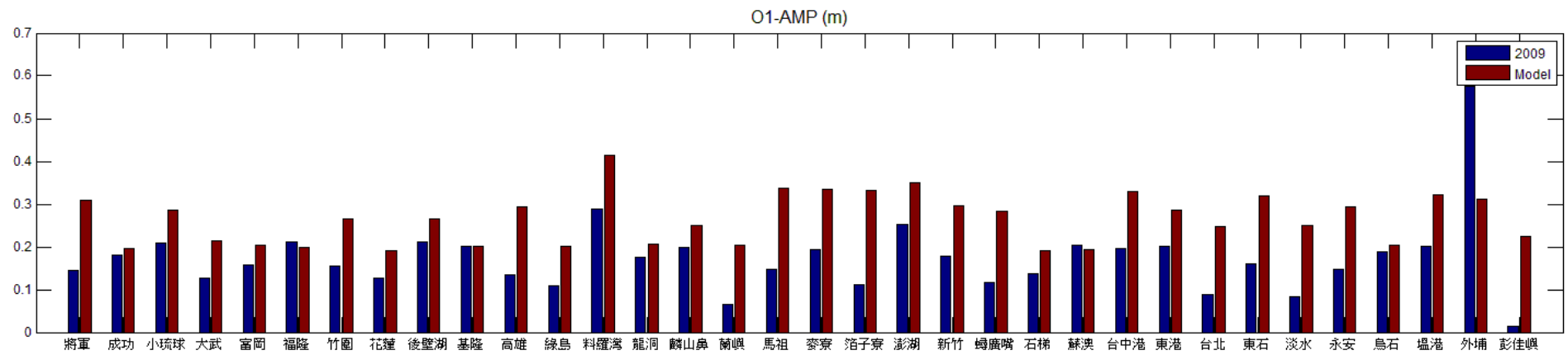


圖 6.2.2-10 模式計算 O1 分潮與實測比對

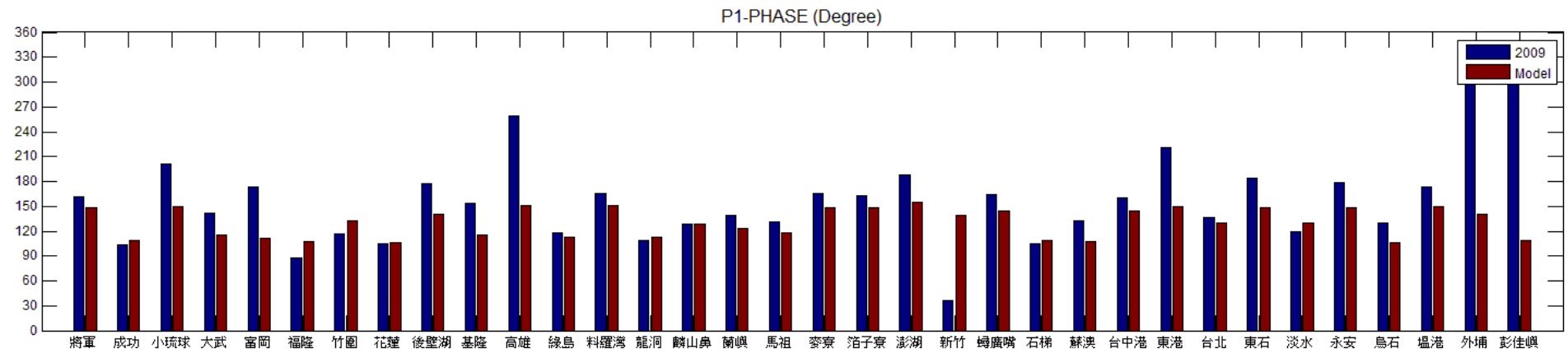
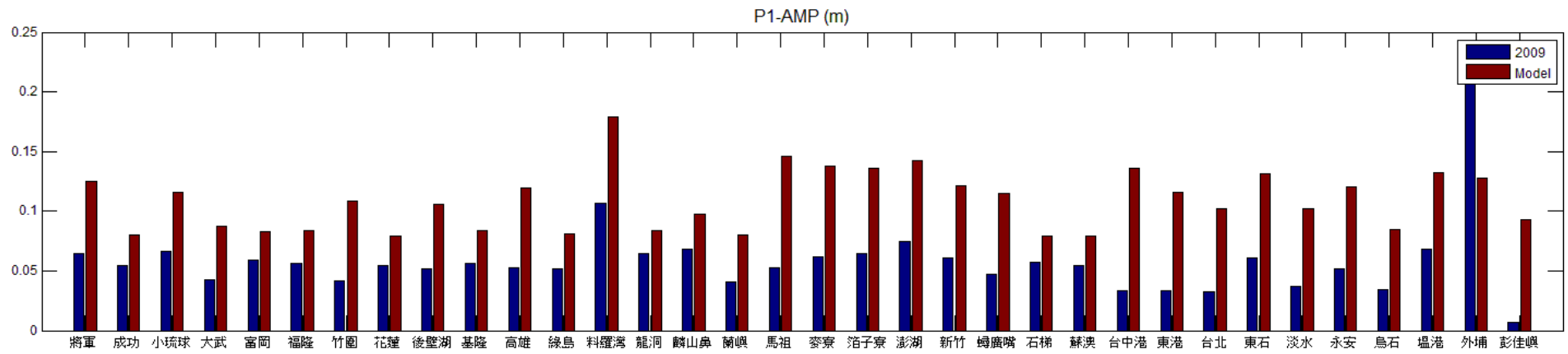


圖 6.2.2-11 模式計算 P1 分潮與實測比對

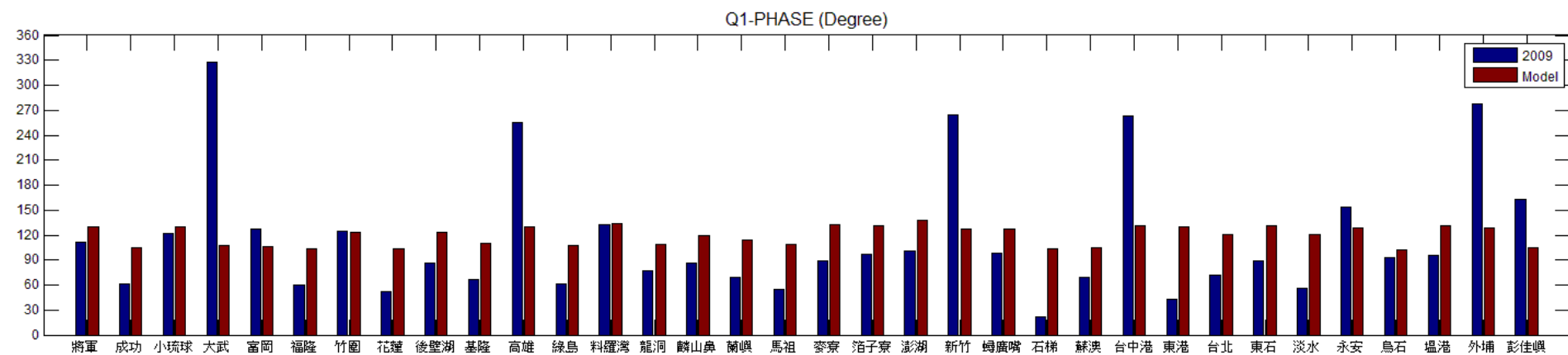
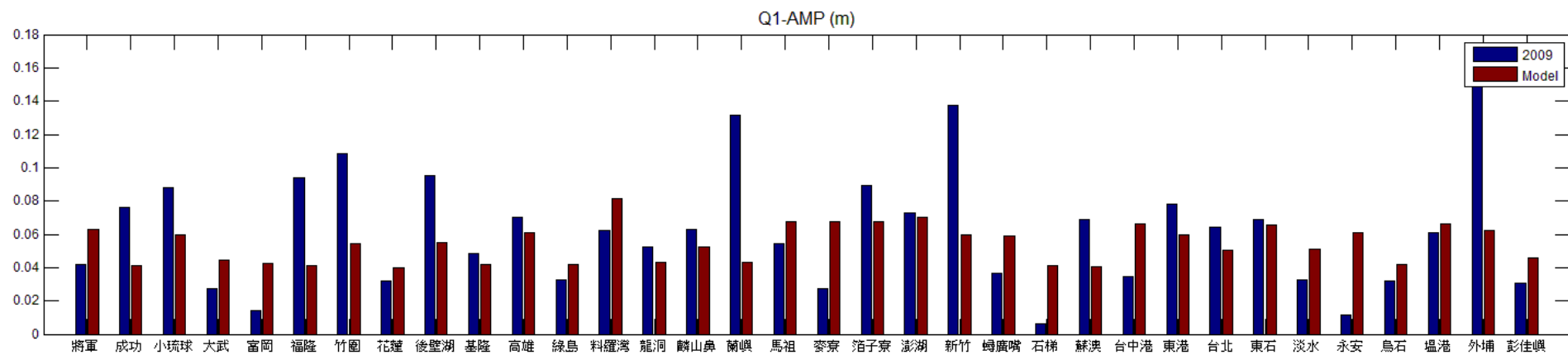


圖 6.2.2-12 模式計算 Q1 分潮與實測比對

6.3 模式模擬範圍調整

由於原始模擬範圍較大，為了避免計算時間過長，同時減少檔案輸出大小，經工作會議討論後，將模擬範圍調整為台灣鄰近海域，並配合地形分布調整網格大小，網格分布如圖 6.3-1 所示，經調整後網格節點為 44776，網格點為 86732，約為原始範圍網格數目之一半。

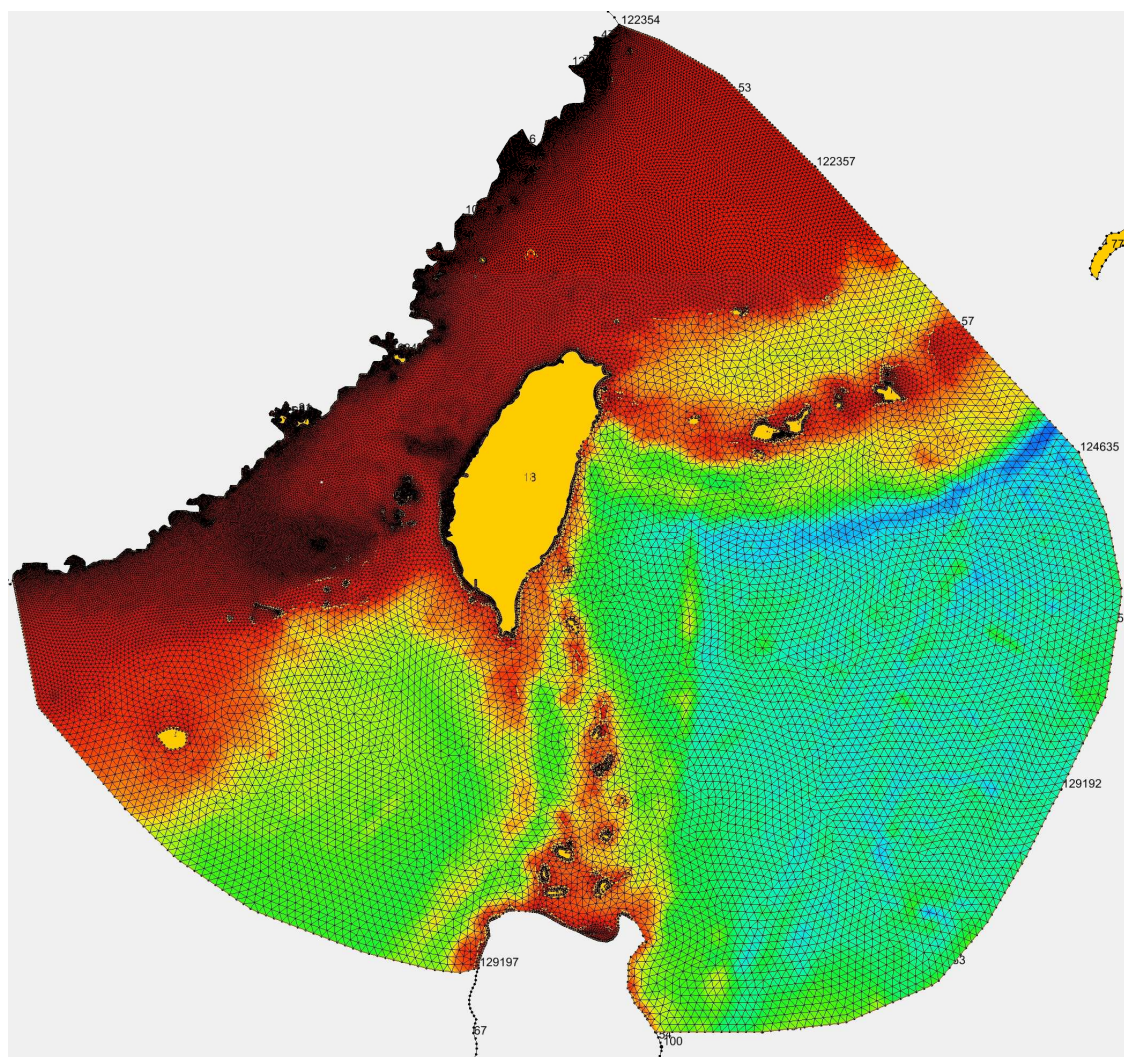


圖 6.3-1 OCM3 模式範圍調整

6.3.1 天文潮

由於模式範圍的縮小，潮汐邊界如以原始設定的 TPXO 作為輸入，其調和常數於陸棚較淺區域較為不佳，因此採用 FES2004 (Lyard et al., 2006) 全球潮汐常數資料庫作為邊界，該資料庫之解析度較佳，由水動力模式配合水位資料同化，對於陸棚區域的預測較 TPXO 為佳，邊界輸入之調和常數組成同樣以 4 個半日潮 (M2、S2、N2、K2) 與 4 個全日潮 (K1、O1、P1、Q1) 為主，潮汐邊界分為兩部分，一為台灣北邊與東邊海域，另一為南邊近南海區域，圖 6.3.1-1 至圖 6.3.1-8 為各

邊界輸入之調和常數。

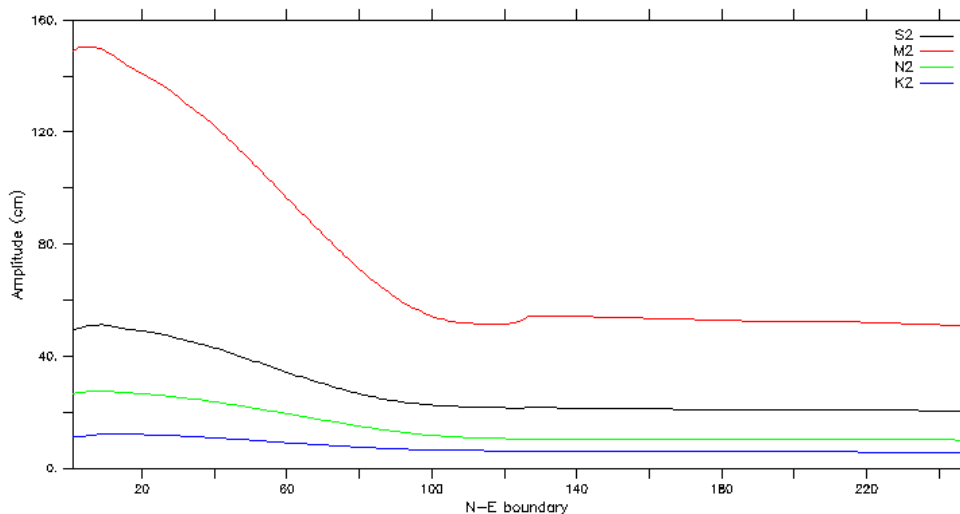


圖 6.3.1-1 北邊與東邊邊界之半日潮振幅

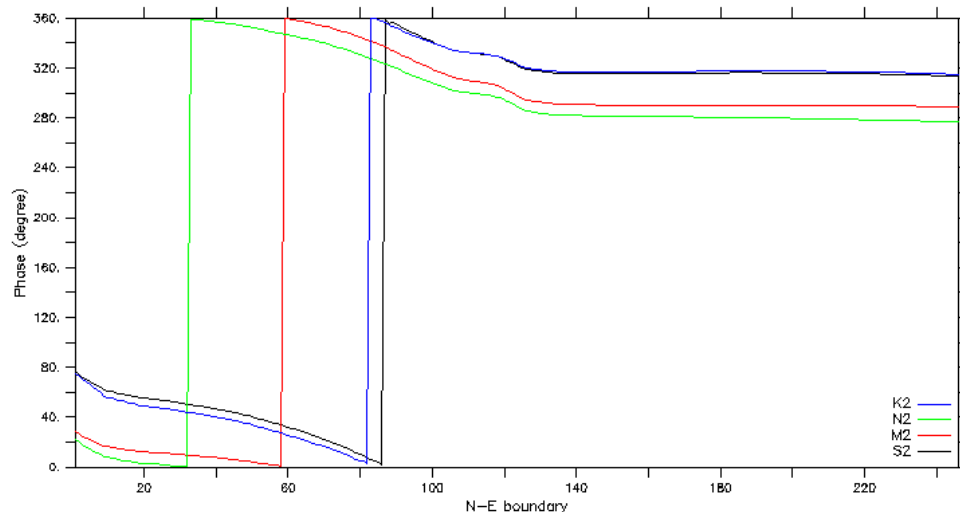


圖 6.3.1-2 北邊與東邊邊界之半日潮相位

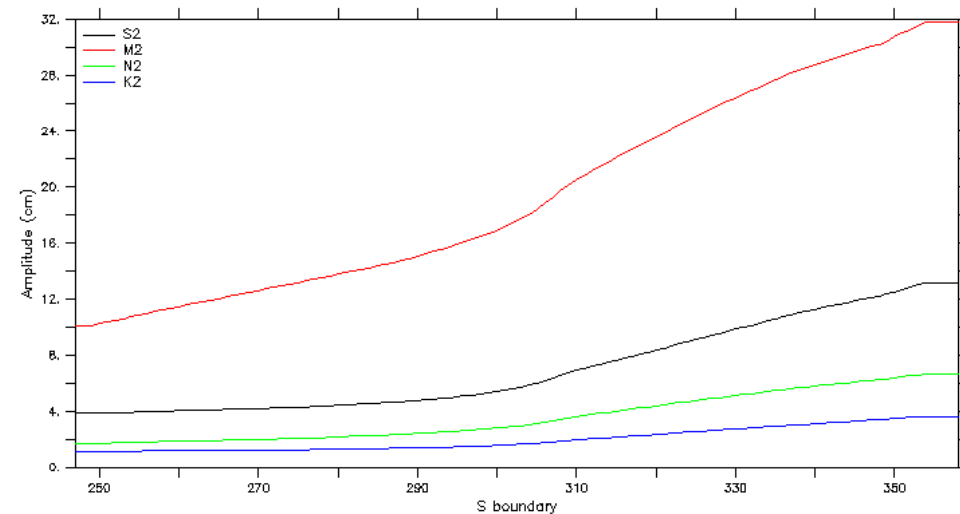


圖 6.3.1-3 南邊邊界之半日潮振幅

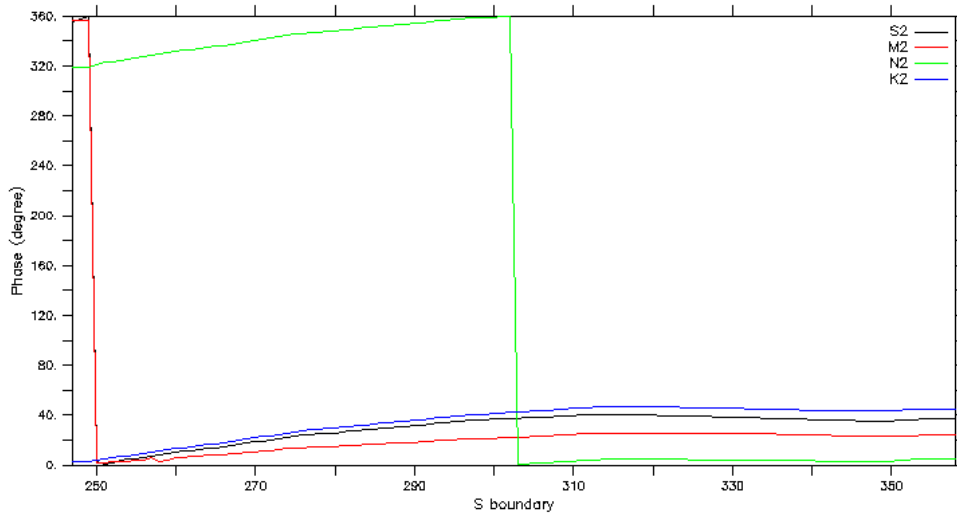


圖 6.3.1-4 南邊邊界之半日潮相位

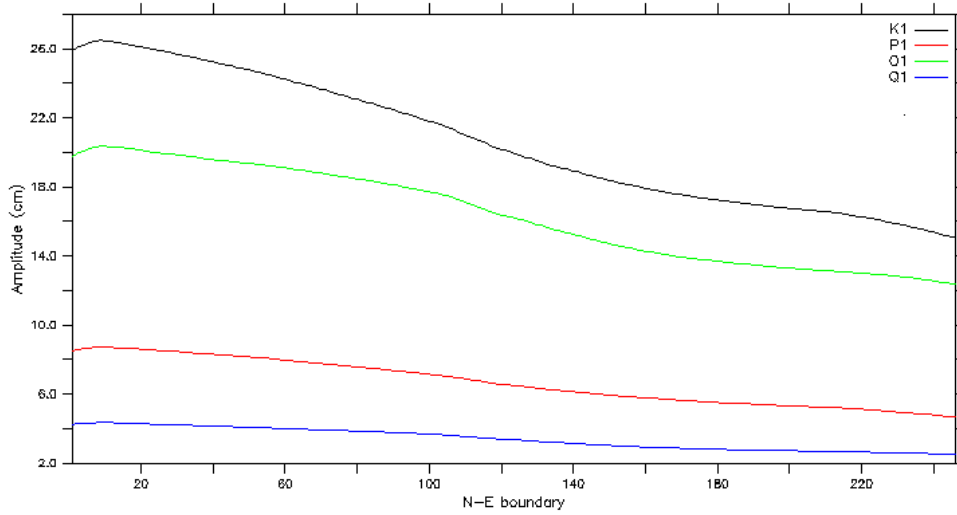


圖 6.3.1-5 北邊與東邊邊界之全日潮振幅

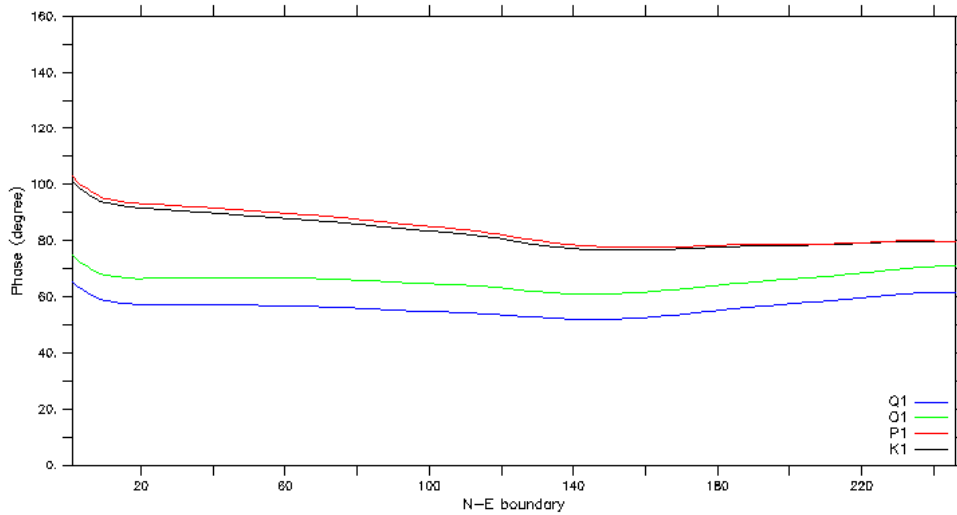


圖 6.3.1-6 北邊與東邊邊界之全日潮相位

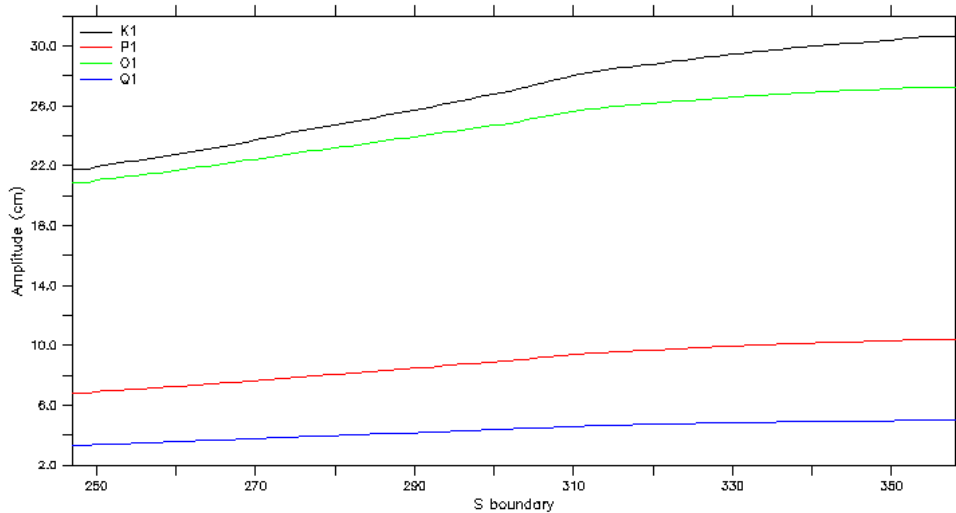


圖 6.3.1-7 南邊邊界之全日潮振幅

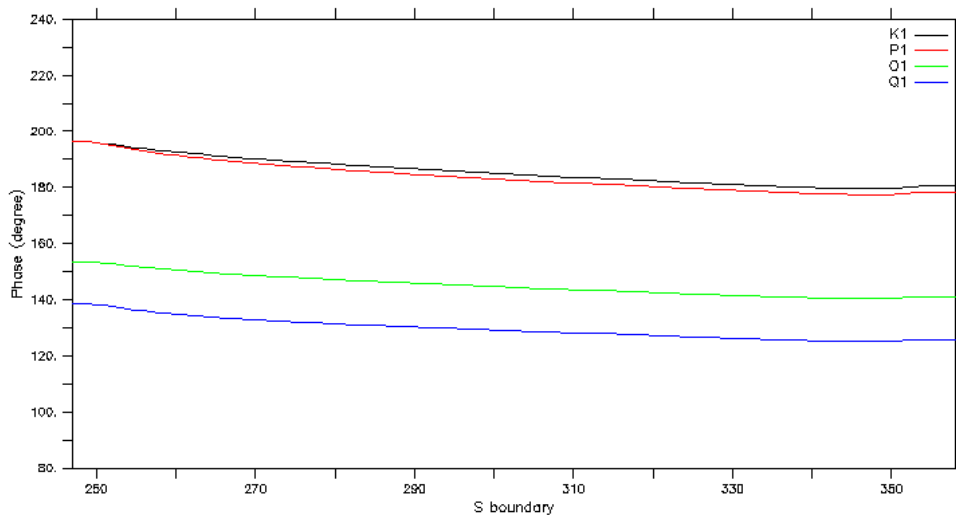


圖 6.3.1-8 南邊邊界之全日潮相位

計算結果同樣以一月時序展示，展示時間與圖 6.2.1-2~圖 6.2.1-35 相同，以利比較，由水位的比對發現，調整範圍後之水位模擬較佳，測站的比對與實測結果更為相符(圖 6.3.1-9~圖 6.3.1-42)，尤以台灣海峽內部測站改善最大，然而東部測站之時序比對則較原先大範圍模式為差，相位些微偏移，需再進行細部微調與網格的增刪來改進。如以全年時序進行均方根誤差的估算(圖 6.3.1-43)，除料羅灣、馬祖、箔子寮、東石、塭港外，其餘測站之誤差皆有明顯改善，尤以新竹、外埔、竹圍、小琉球為最。

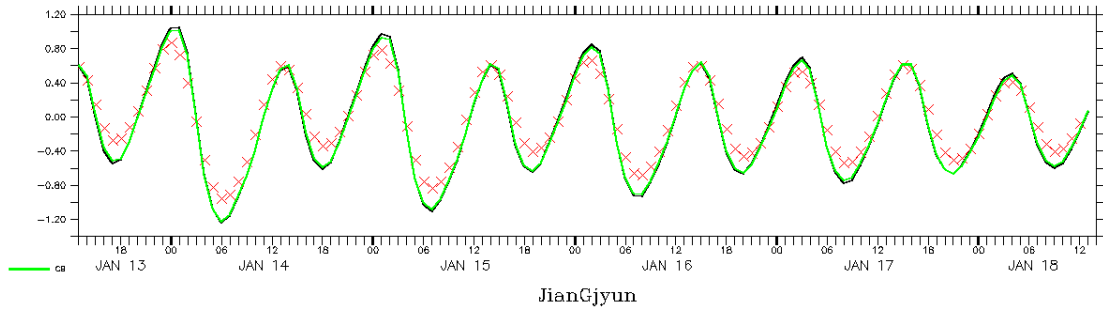


圖 6.3.1-9 調整範圍後，將軍測站模式水位與實測天文潮之比對

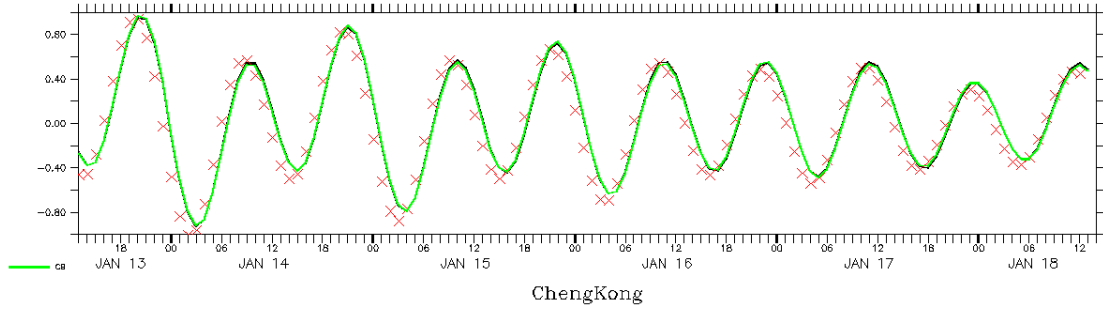


圖 6.3.1-10 調整範圍後，成功測站模式水位與實測天文潮之比對

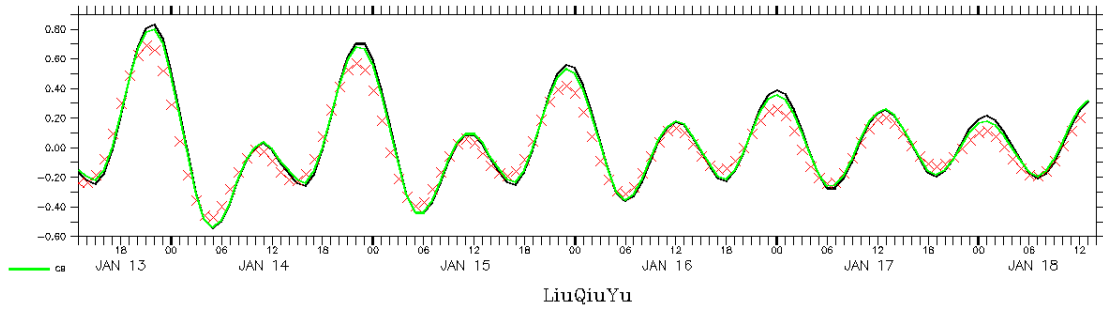


圖 6.3.1-11 調整範圍後，小琉球測站模式水位與實測天文潮之比對

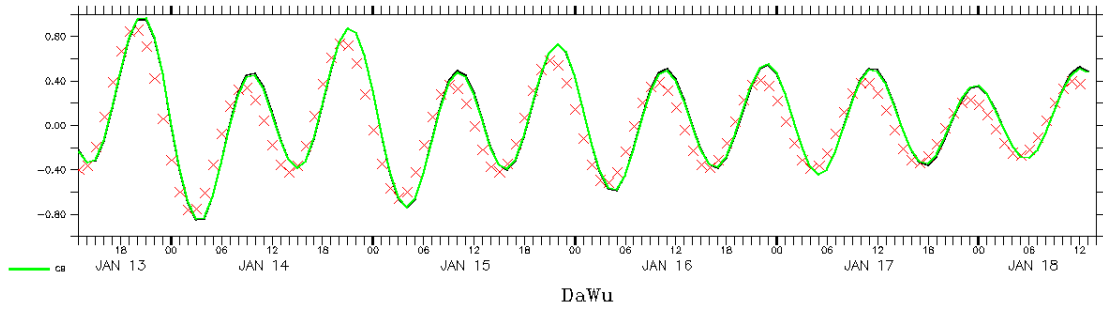


圖 6.3.1-12 調整範圍後，大武測站模式水位與實測天文潮之比對

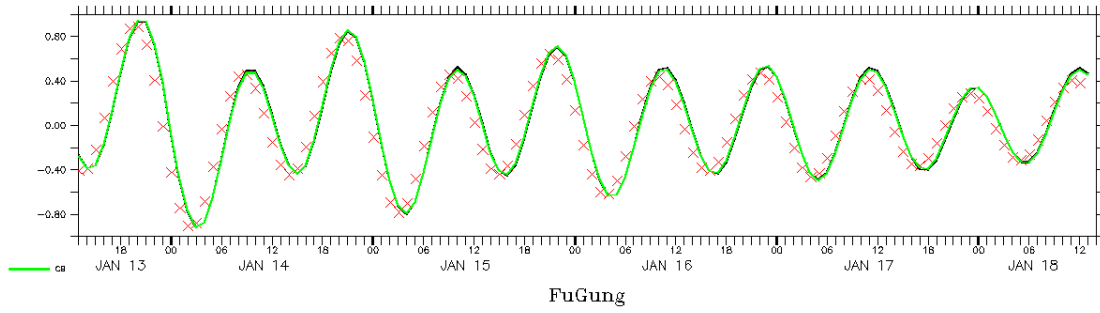


圖 6.3.1-13 調整範圍後，富岡測站模式水位與實測天文潮之比對

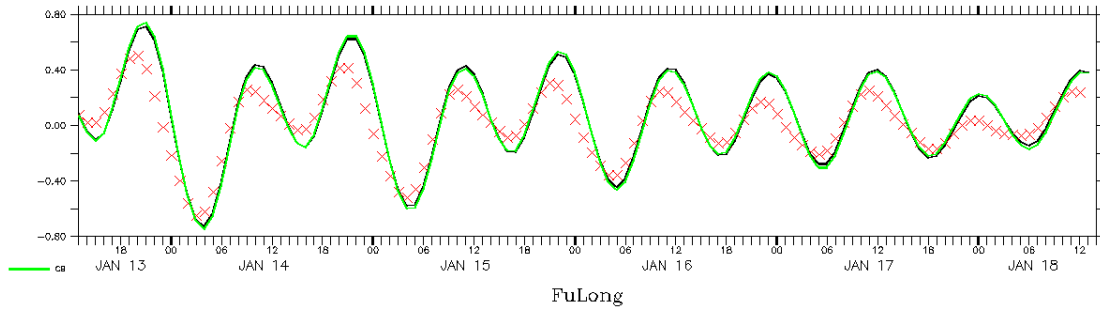


圖 6.3.1-14 調整範圍後，福隆測站模式水位與實測天文潮之比對

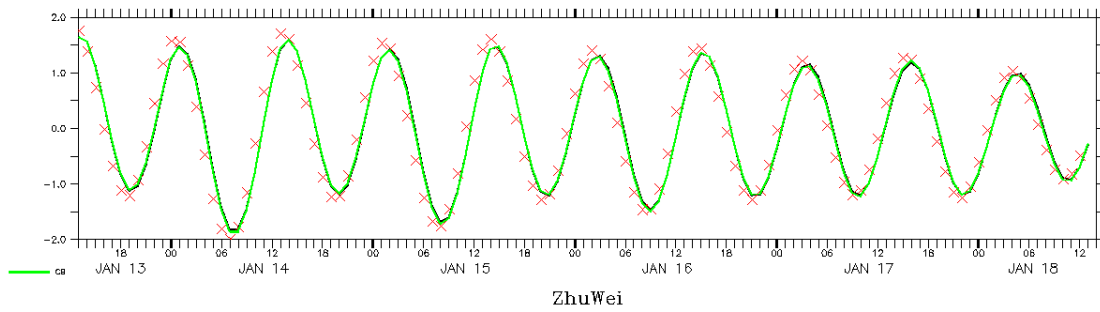


圖 6.3.1-15 調整範圍後，竹圍測站模式水位與實測天文潮之比對

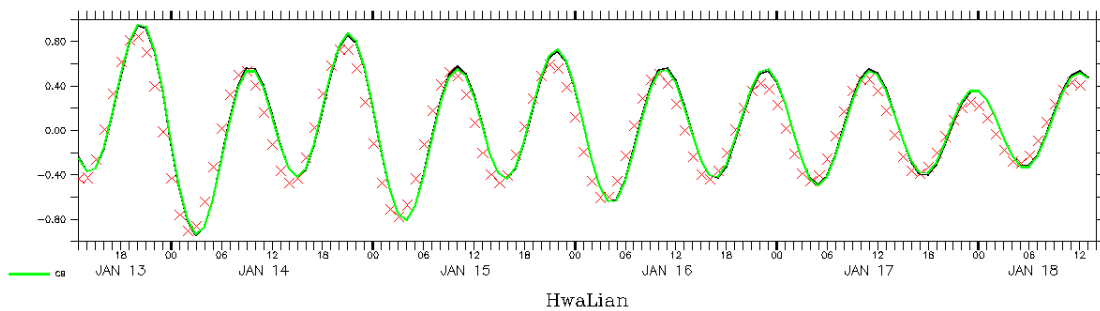


圖 6.3.1-16 調整範圍後，花蓮測站模式水位與實測天文潮之比對

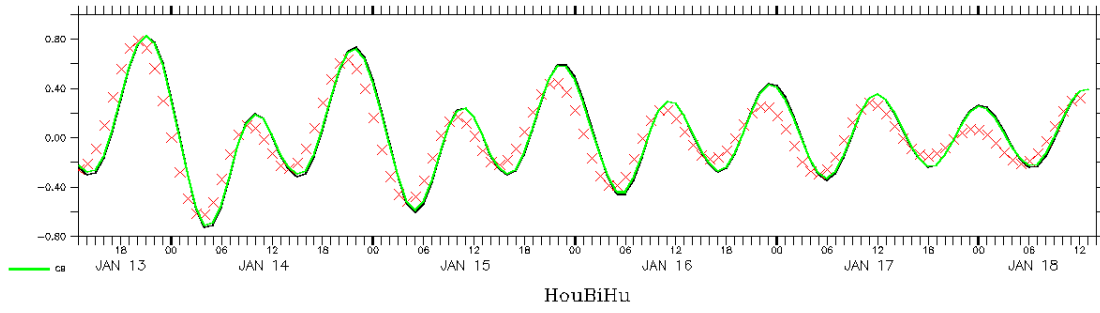


圖 6.3.1-17 調整範圍後，後壁湖測站模式水位與實測天文潮之比對

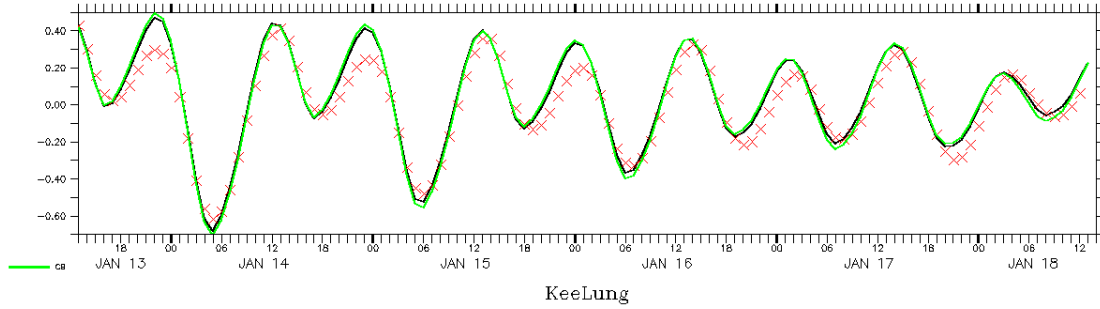


圖 6.3.1-18 調整範圍後，基隆測站模式水位與實測天文潮之比對

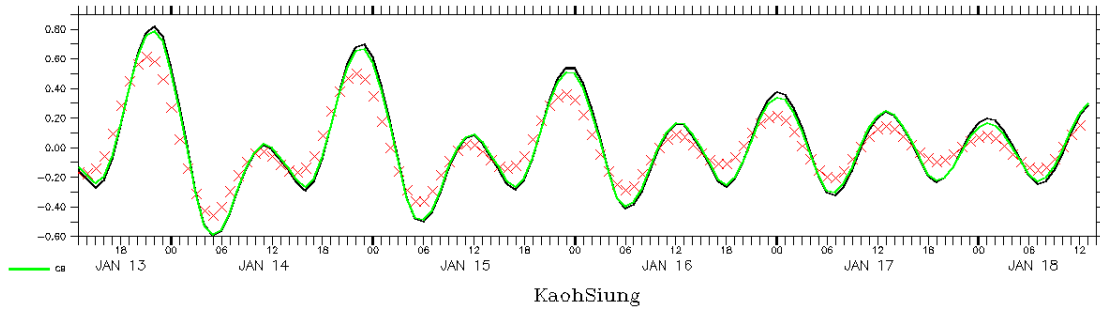


圖 6.3.1-19 調整範圍後，高雄測站模式水位與實測天文潮之比對

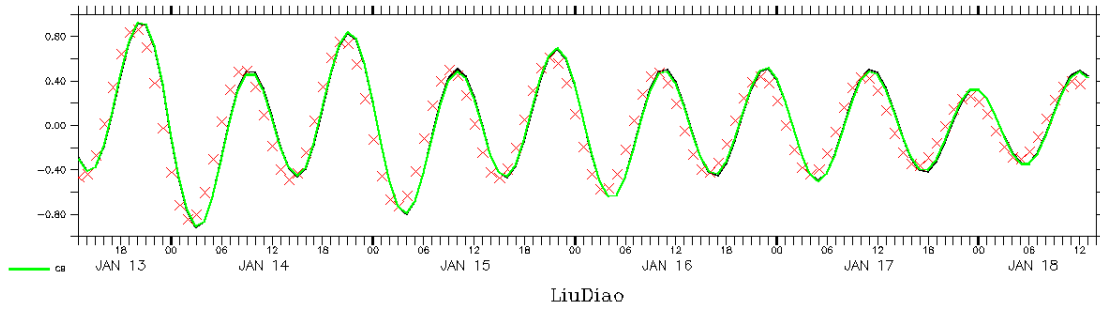


圖 6.3.1-20 調整範圍後，綠島測站模式水位與實測天文潮之比對

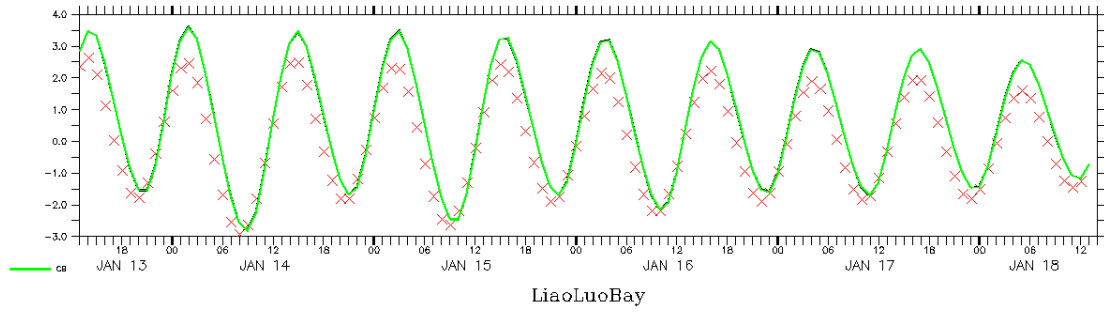


圖 6.3.1-21 調整範圍後，料羅灣測站模式水位與實測天文潮之比對

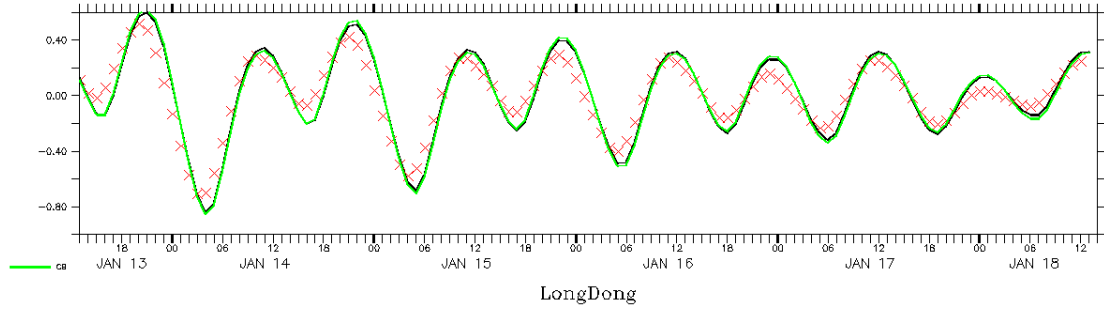


圖 6.3.1-22 調整範圍後，龍洞測站模式水位與實測天文潮之比對

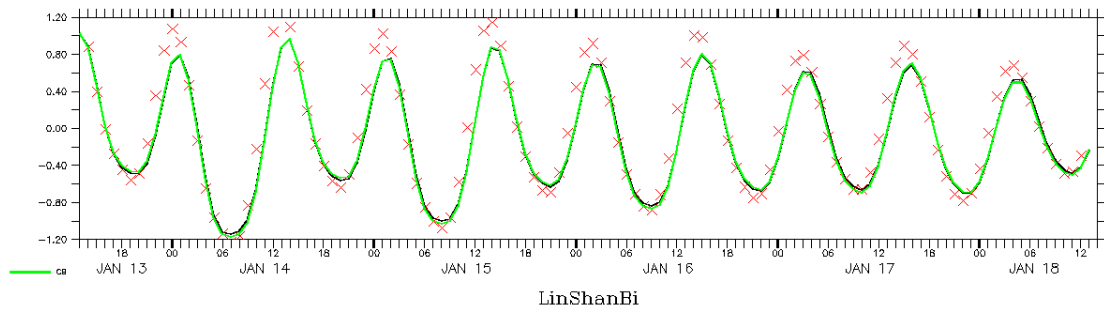


圖 6.3.1-23 調整範圍後，麟山鼻測站模式水位與實測天文潮之比對

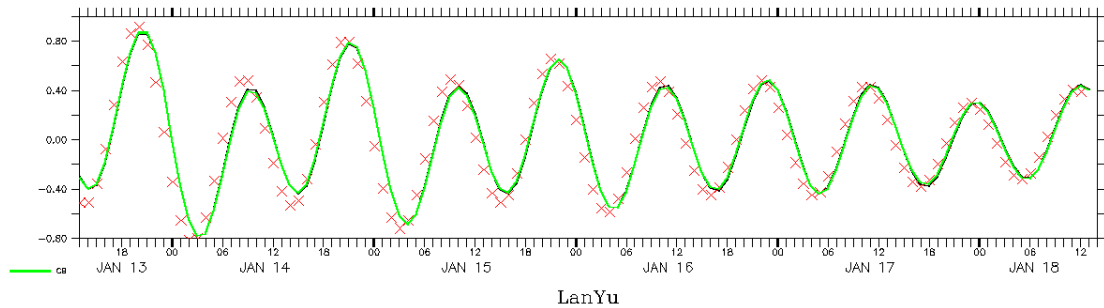


圖 6.3.1-24 調整範圍後，蘭嶼測站模式水位與實測天文潮之比對

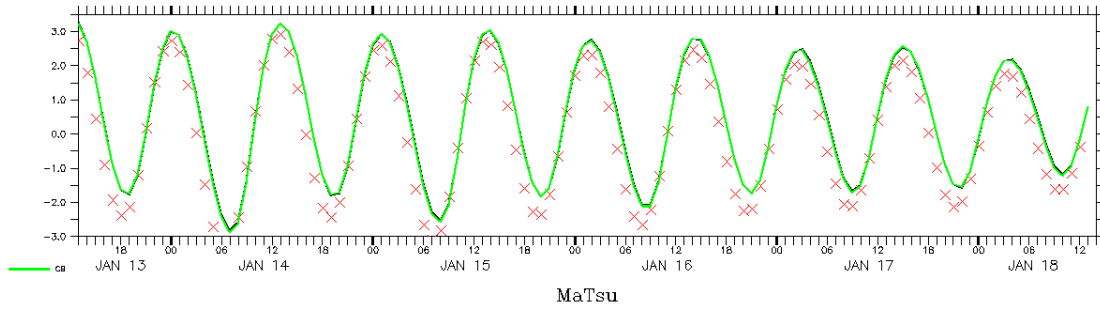


圖 6.3.1-25 調整範圍後，馬祖測站模式水位與實測天文潮之比對

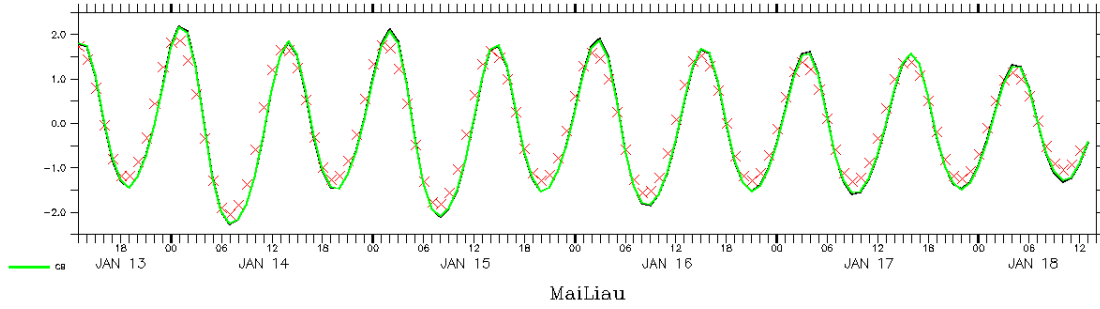


圖 6.3.1-26 調整範圍後，麥寮測站模式水位與實測天文潮之比對

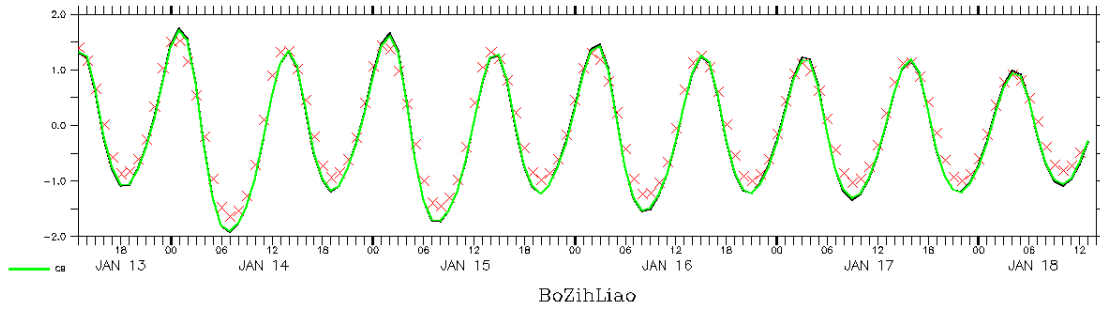


圖 6.3.1-27 調整範圍後，箔子寮測站模式水位與實測天文潮之比對

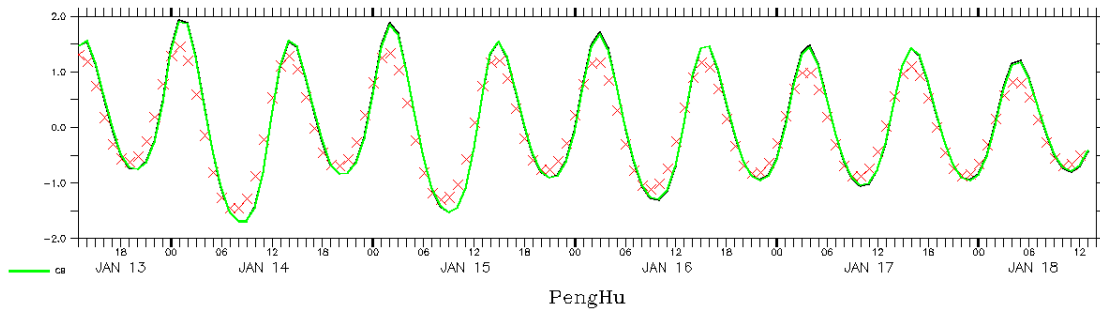


圖 6.3.1-28 調整範圍後，澎湖測站模式水位與實測天文潮之比對

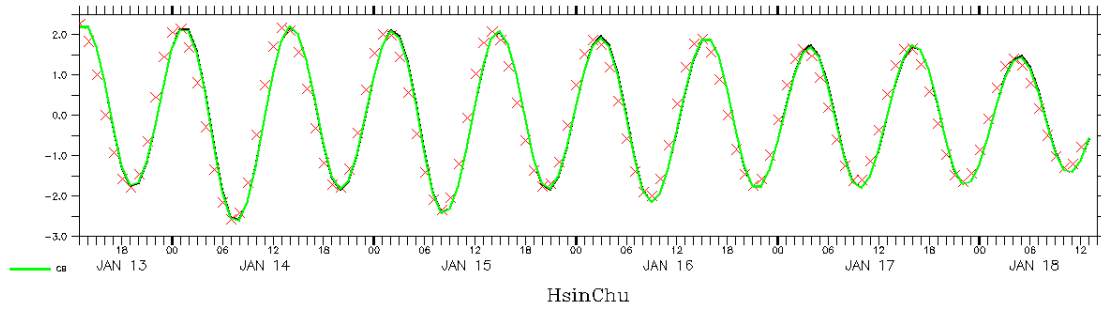


圖 6.3.1-29 調整範圍後，新竹測站模式水位與實測天文潮之比對

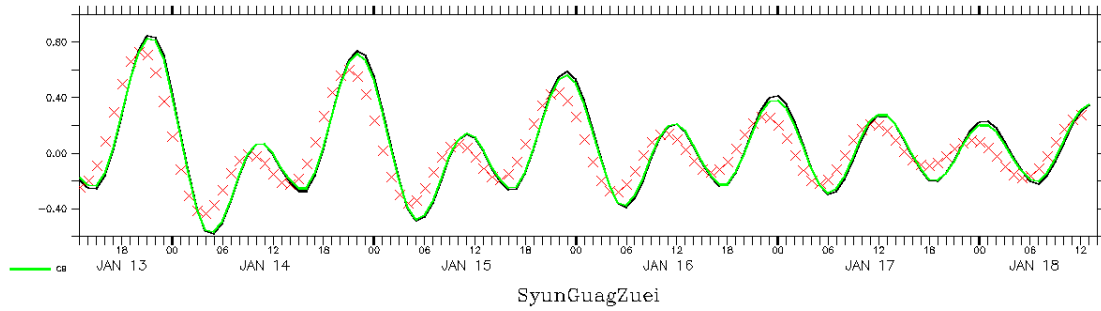


圖 6.3.1-30 調整範圍後，蟬廣嘴測站模式水位與實測天文潮之比對

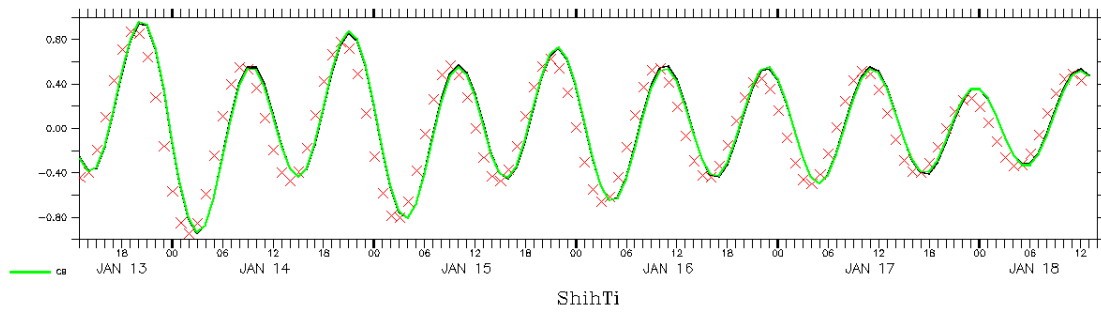


圖 6.3.1-31 調整範圍後，石梯測站模式水位與實測天文潮之比對

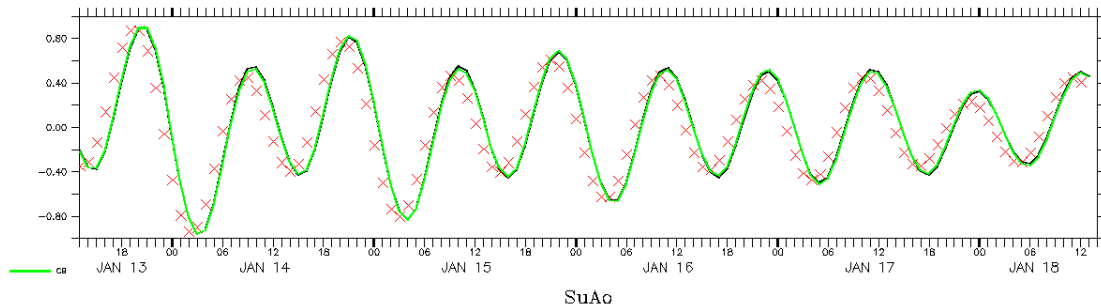


圖 6.3.1-32 調整範圍後，蘇澳測站模式水位與實測天文潮之比對

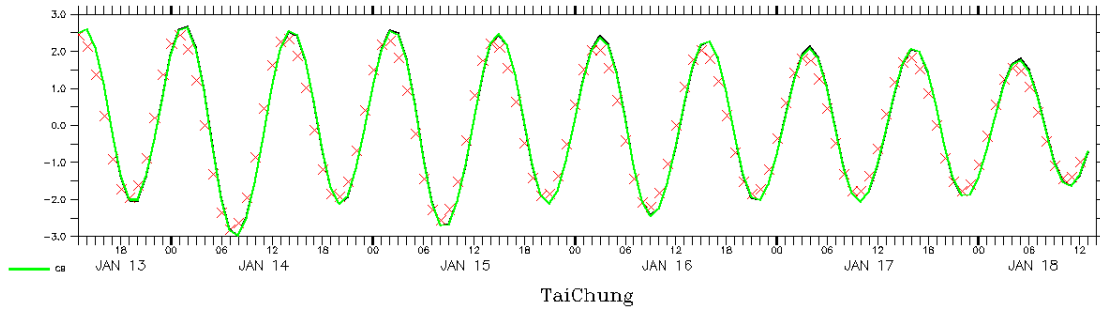


圖 6.3.1-33 調整範圍後，台中測站模式水位與實測天文潮之比對

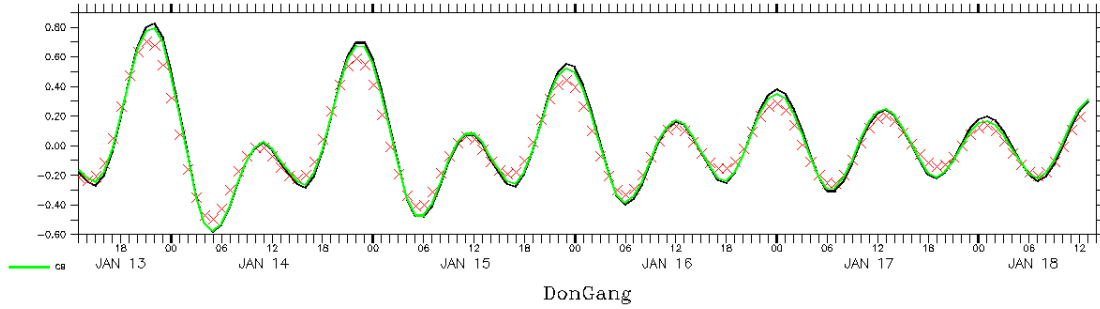


圖 6.3.1-34 調整範圍後，東港測站模式水位與實測天文潮之比對

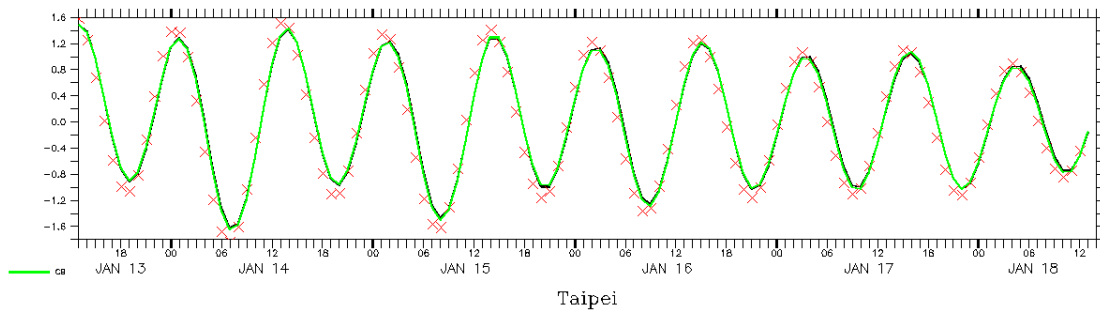


圖 6.3.1-35 調整範圍後，台北測站模式水位與實測天文潮之比對

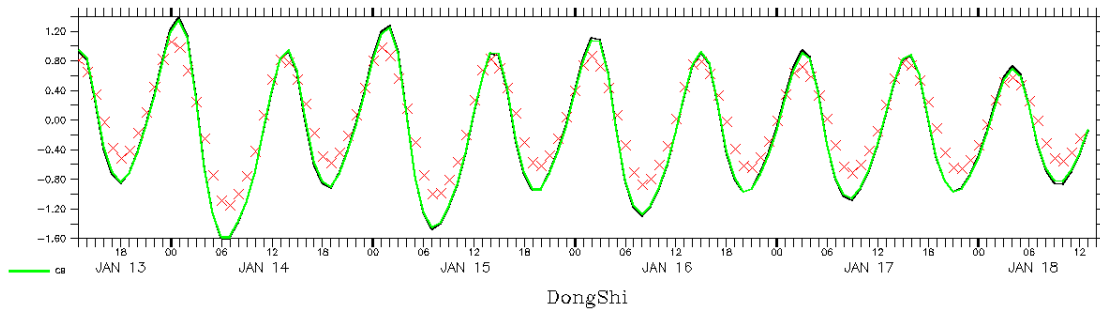


圖 6.3.1-36 調整範圍後，東石測站模式水位與實測天文潮之比對

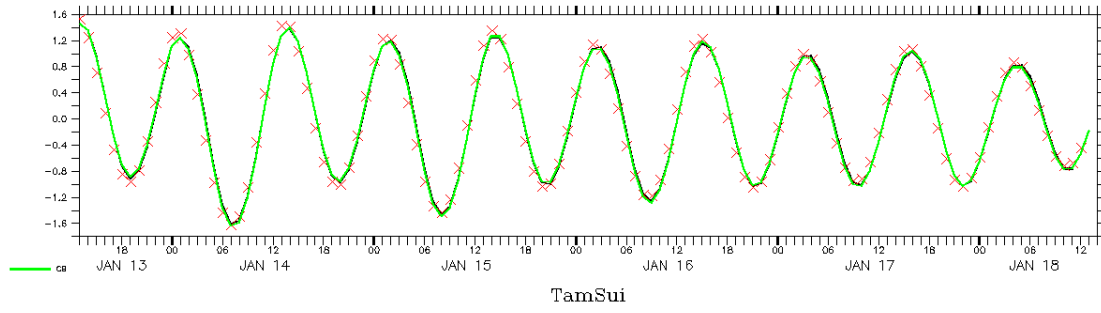


圖 6.3.1-37 調整範圍後，淡水測站模式水位與實測天文潮之比對

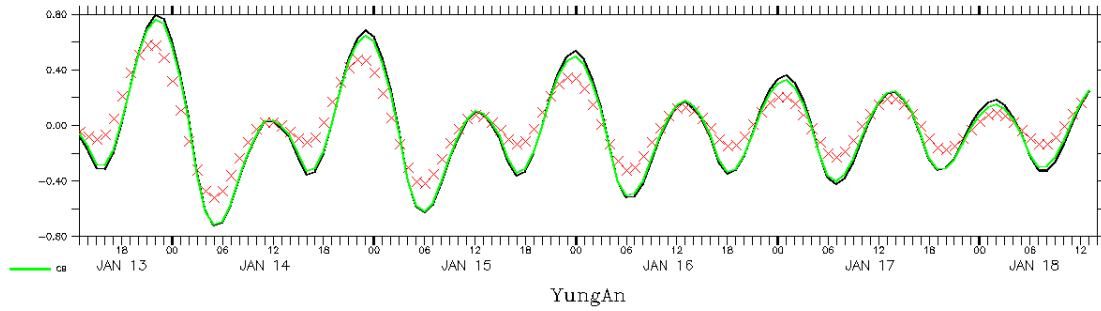


圖 6.3.1-38 調整範圍後，永安測站模式水位與實測天文潮之比對

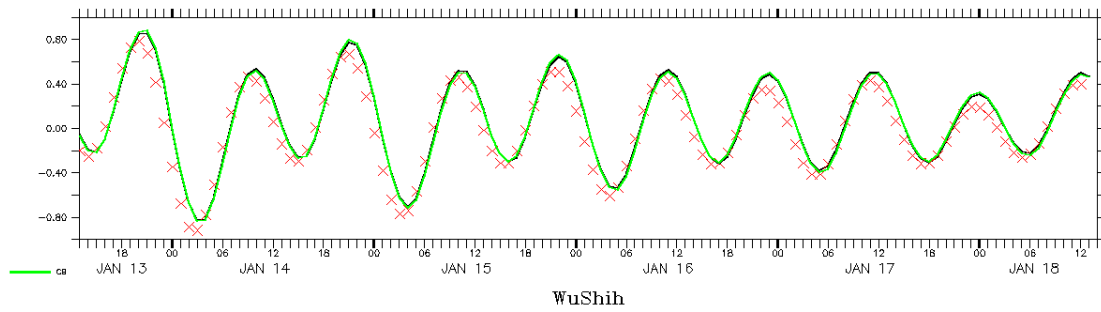


圖 6.3.1-39 調整範圍後，烏石測站模式水位與實測天文潮之比對

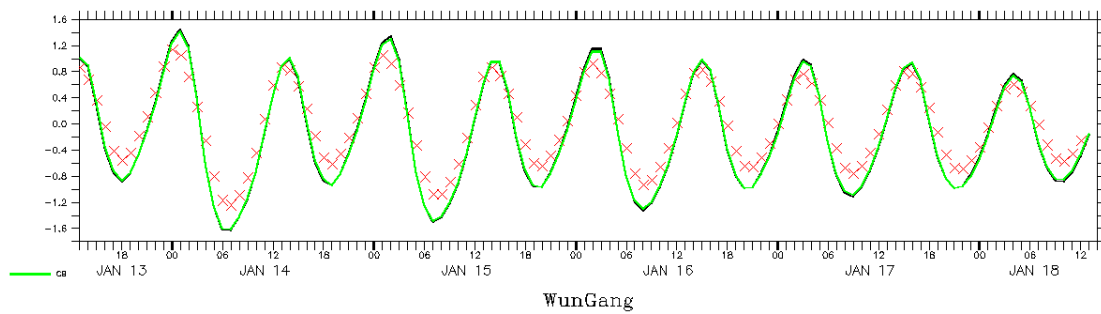


圖 6.3.1-40 調整範圍後，塭港測站模式水位與實測天文潮之比對

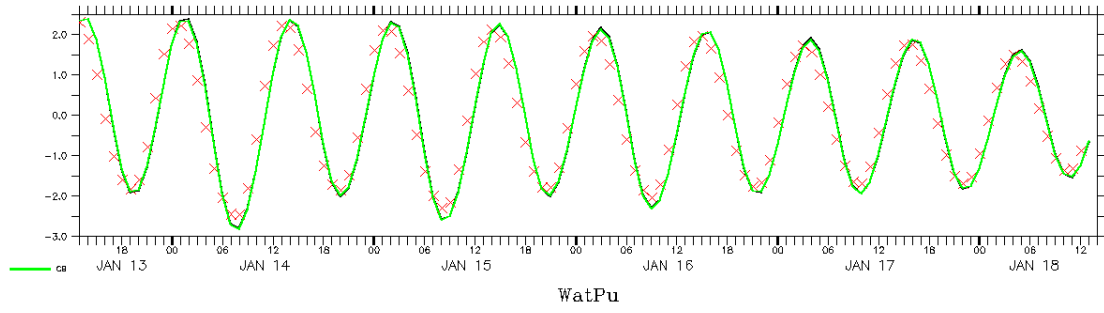


圖 6.3.1-41 調整範圍後，外埔測站模式水位與實測天文潮之比對

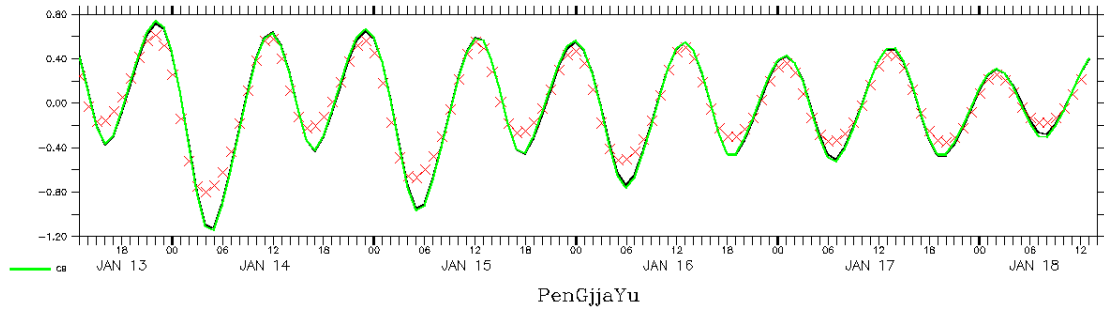


圖 6.3.1-42 調整範圍後，彭佳嶼測站模式水位與實測天文潮之比對

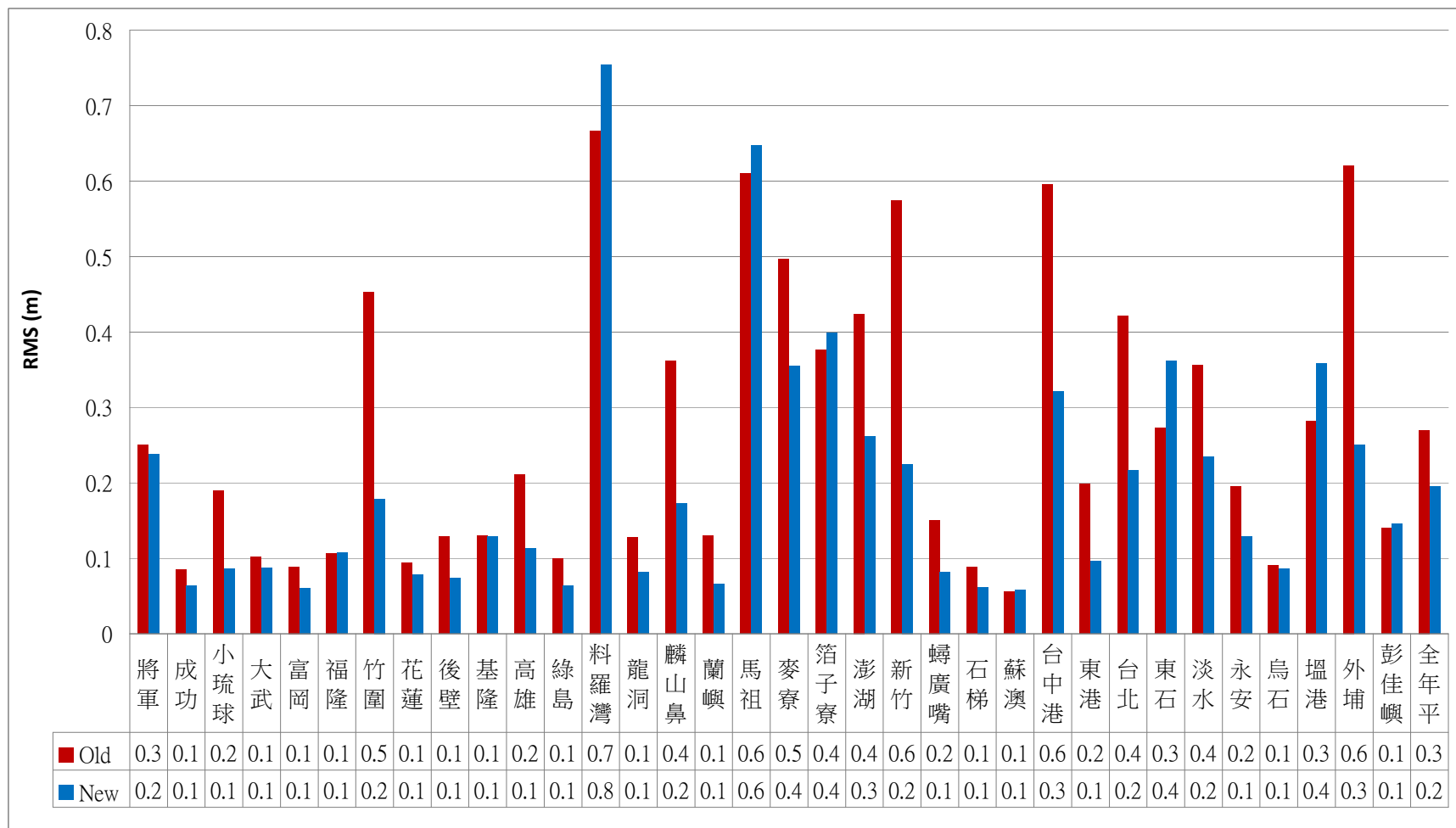


圖 6.3.1-43 2009 年實測資料與不同範圍模式比對之均方根誤差

6.3.2 海流模式

海流模式目前以調整範圍後的網格進行建構，初始場包含水位、流速、溫度、鹽度，以 HYCOM 預報場資料內插至 OCM3 網格，側邊邊界初步設定同樣以 HYCOM 預報場作為輸入，包含項目與初始場相同，由於 HYCOM 為日平均場，模式內之側邊界以時間內插至對應時間點作為輸入，表層驅動力則以氣象局 NFS-RC 風場作為風速與氣壓的輸入，暫時不考慮熱通量、蒸發與降雨、及河流入流之影響，預報時間同樣為三天。

初始場以 2009 年 1 月 1 日作為案例展示，圖 6.3.2-1 至圖 6.3.2-3 為模式之初始場，經由內插後黑潮的主流與鄰近環流現象相當明顯，大陸沿岸亦有一低溫水團往南發展，同時於閩江口有淡水水舌分布的現象。模擬三天的結果展示於圖 6.3.2-4 至圖 6.3.2-12，黑潮主流於模擬期間依然保持其現象，然而其鄰近環流則慢慢消失，可能原因為缺乏熱通量與蒸發降雨的引入，溫度與鹽度的模擬結果則顯示模式於台灣東邊的水深變化過大，於某些地區有湧升的現象而使得水溫降低，如綠島、蘭嶼附近，網格之地形解析需再進一步調整，同時納入河流入流的影響加以改進。

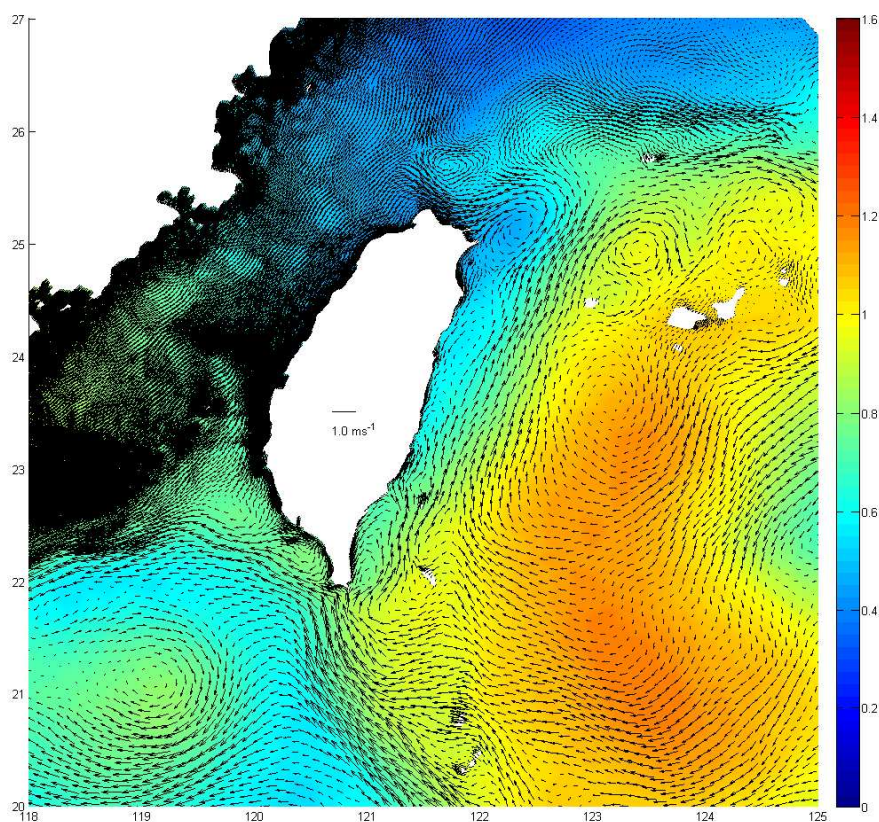


圖 6.3.2-1 海流模式水位與表層流速分布之初始場

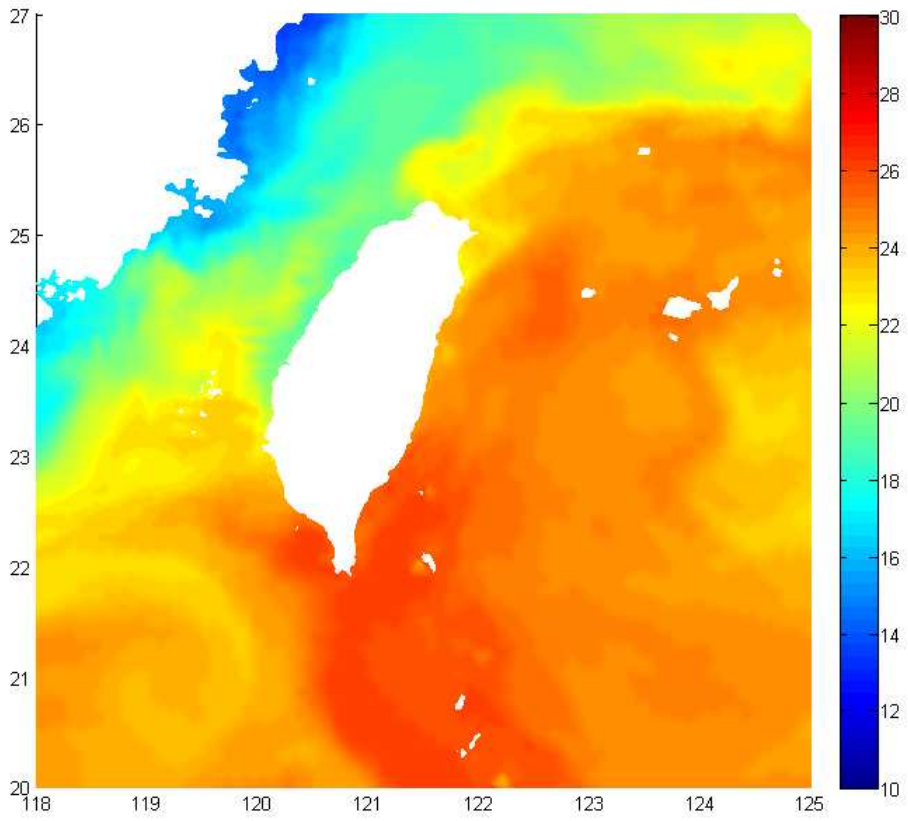


圖 6.3.2-2 海流模式表層溫度分布之初始場

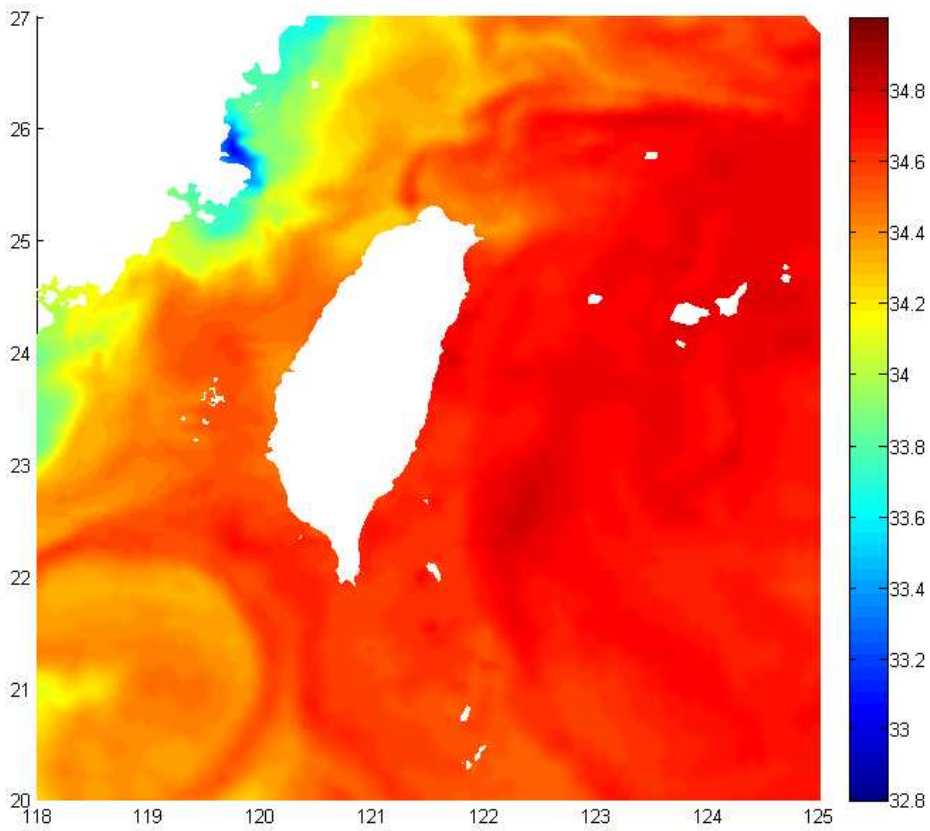


圖 6.3.2-3 海流模式表層鹽度分布之初始場

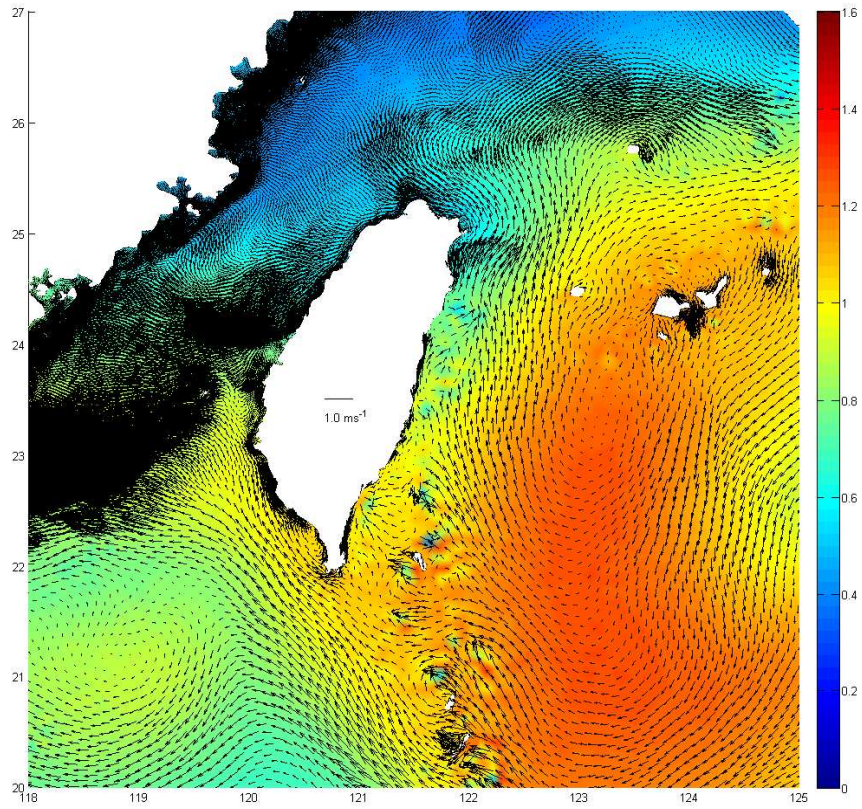


圖 6.3.2-4 海流模式水位與表層流速分布第一天之模擬結果

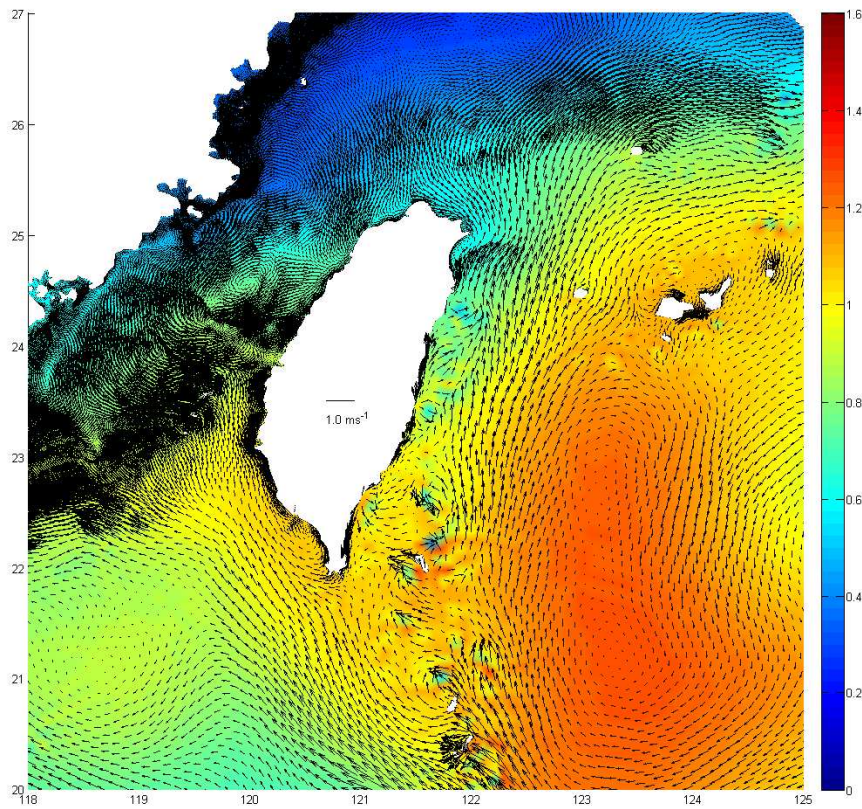


圖 6.3.2-5 海流模式水位與表層流速分布第二天之模擬結果

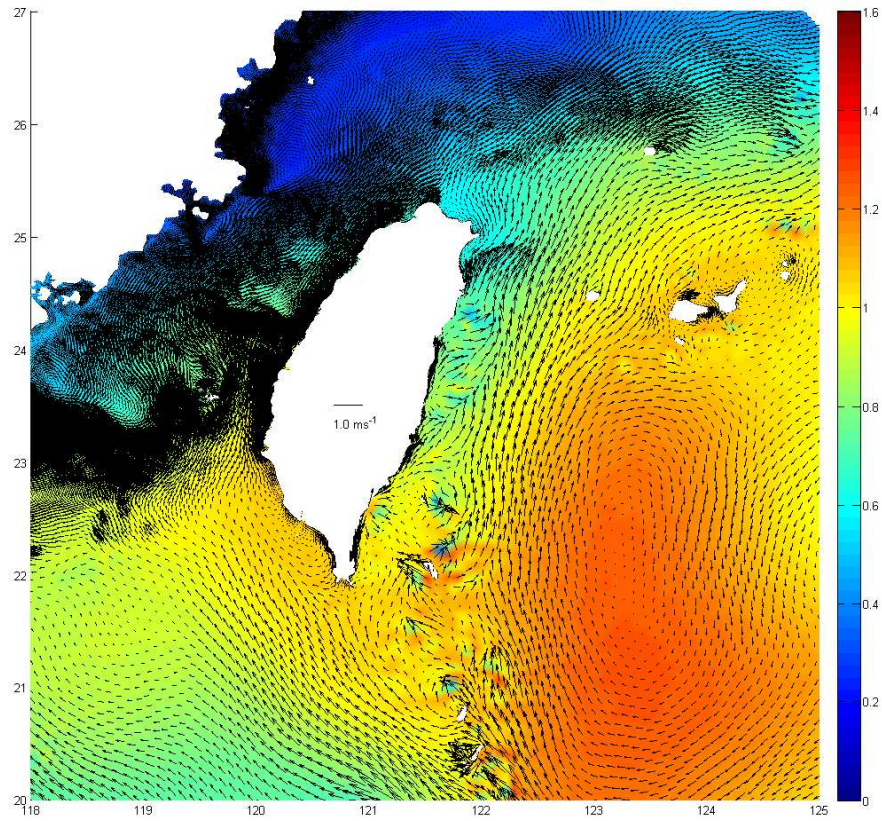


圖 6.3.2-6 海流模式水位與表層流速分布第三天之模擬結果

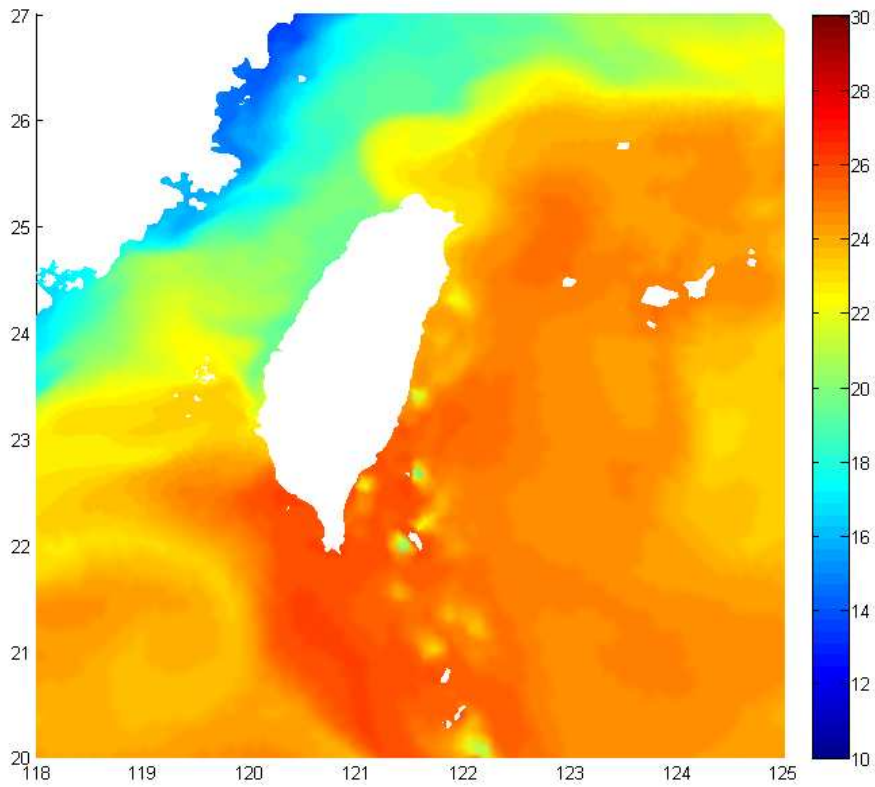


圖 6.3.2-7 海流模式表層溫度分布第一天之模擬結果

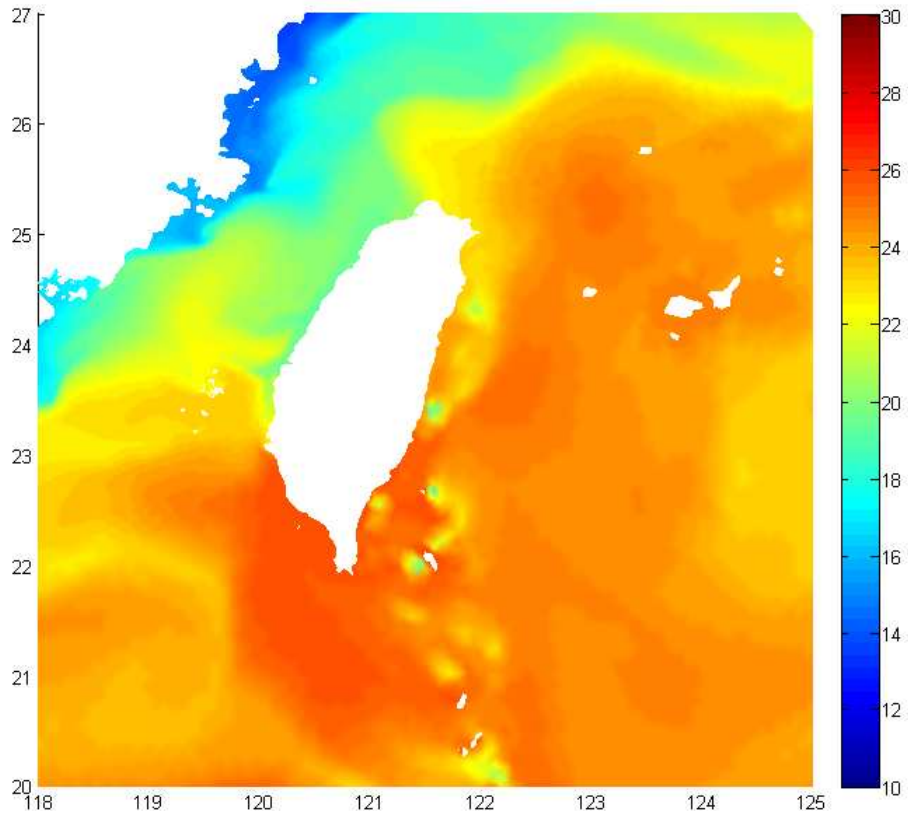


圖 6.3.2-8 海流模式表層溫度分布第二天之模擬結果

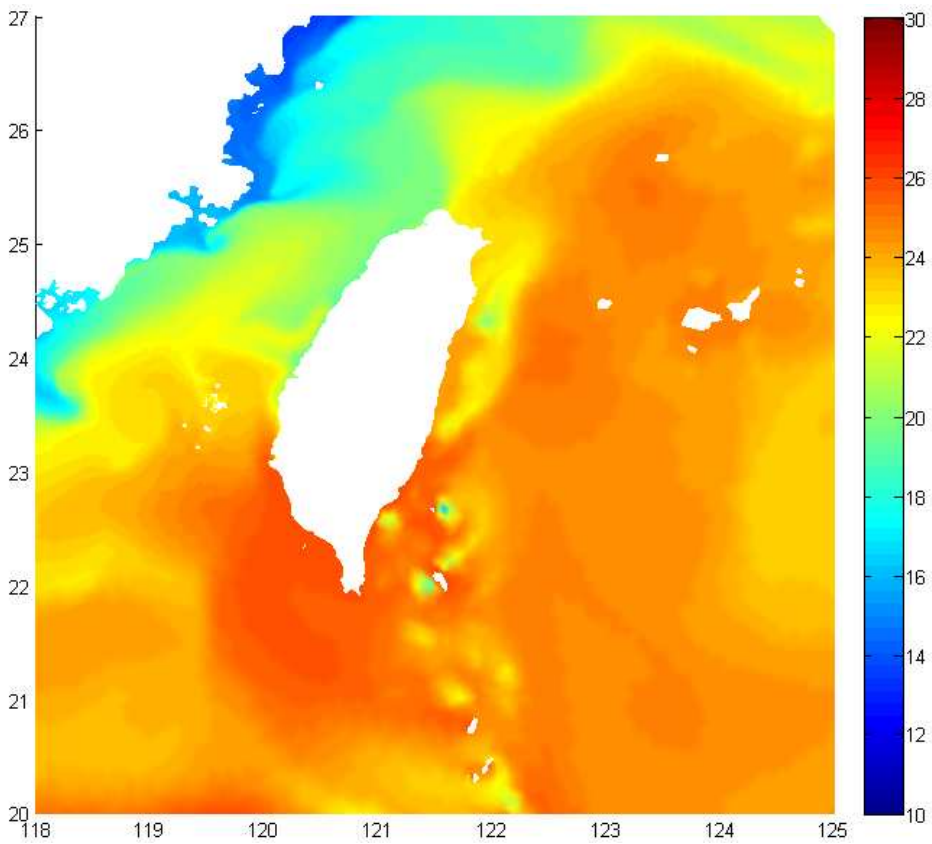


圖 6.3.2-9 海流模式表層溫度分布第三天之模擬結果

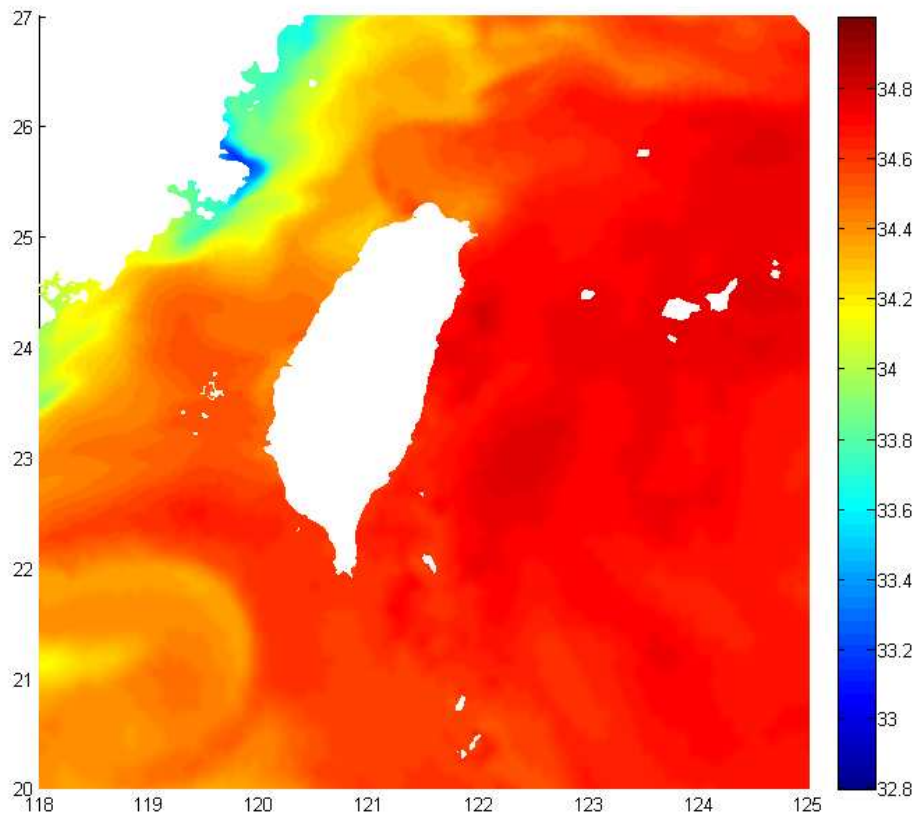


圖 6.3.2-10 海流模式表層鹽度分布第一天之模擬結果

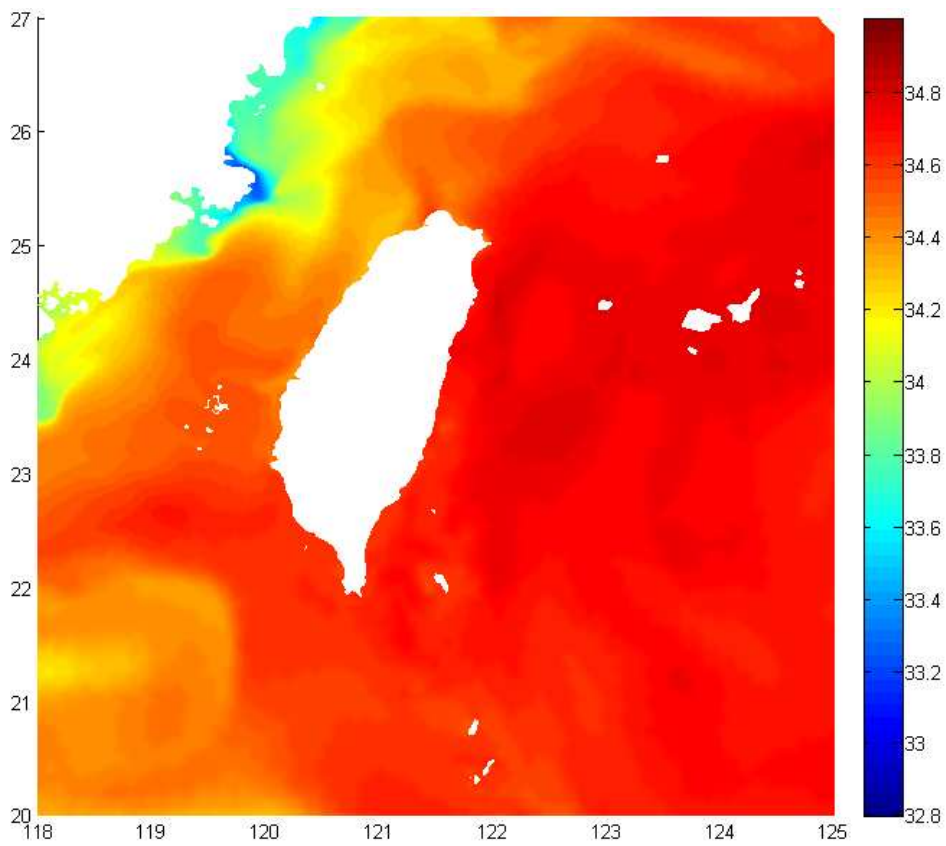


圖 6.3.2-11 海流模式表層鹽度分布第二天之模擬結果

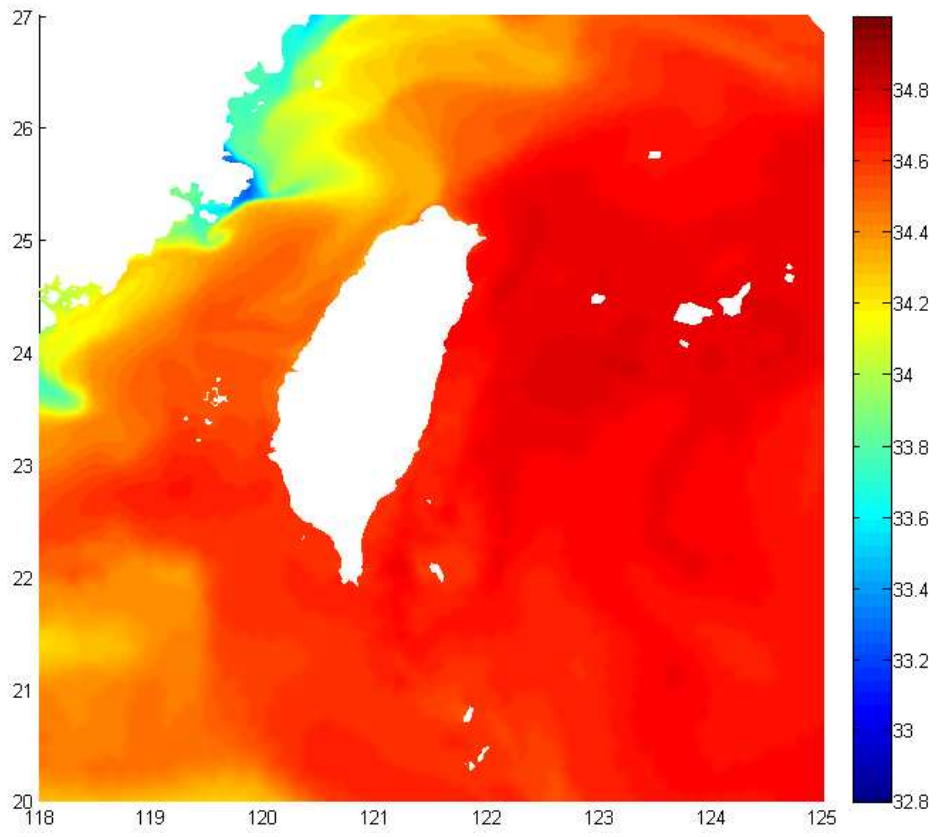


圖 6.3.2-12 海流模式表層鹽度分布第三天之模擬結果

第七章 台灣海洋環流預報系統效率評估

本章節針對現階段海流預報模式運行效能及磁碟空間使用量進行統計，圖 7-1 為台灣海洋環流預報系統執行流程圖。程序執行如下：

- 1 使用 ftp 軟體至 HYCOM data server 及 NOAA NOMADS data server 抓取全球現報日平均資料(包括海表面高、3 維海流、鹽度及溫度)及 GFS 大氣預報資料(預報 180 小時，6 小時一筆資料)
- 2 利用 NCL(Ncar Command Language)讀取 HYCOM 資料並內插出 OCM1 初始場及邊界場資料(海表面高、2 維流速、3 維溫度、鹽度及流速)
- 3 利用 wgrib 程式擷取 GFS 大氣預報資料，使用 NCL 內插出 OCM1、OCM2 及 OCM3 的驅動力場(風速、長短波輻射、氣溫、氣壓、降雨及蒸發量)
- 4 進行 OCM1 計算
- 5 完成 OCM1 計算後，使用 NCL 讀取 OCM1 結果內插出 OCM2 初始場及邊界條件
- 6 進行 OCM2 計算
- 7 完成 OCM2 計算後，使用 NCL 讀取 OCM2 結果內插出 OCM3 初始場及邊界條件
- 8 進行 OCM3 計算
- 9 完成 OCM3 計算後，使用 NCL 或 FERRET 將 OCM1、OCM2 及 OCM3 結果出圖展示

以上為海洋環流預報系統執行步驟，其中使用 NCL 的原因為未來系統需在氣象局 HPC 進行運算，其作業系統為 IBM AIX，而 NCL 可以同時再 AIX 及 Linux 上運行，且兼具出圖其多種數學函式庫功能。

表 7-1 為海洋環流預報系統各模式運行所須要的時間及硬碟空間統計，測試的機器為本團隊自行架設的 PC Cluster 系統，此系統為 8 顆 intel 四核心 cpu 所組成，可提供平行運算最高 32 顆的設定。表中統計使用最高 cpu 數量設定(32 node)，整個作業化(4 天)模式計算時間為 690 分鐘，加上前後處理(內插及出圖)4 個小時，總時間約為 15 小時，在預報時效內，若於 HPC 上運行，可使用更多顆 cpu 進行運算，可在縮減計算時間，按照氣象局目前規劃，在 HPC 上可使用 128 顆 cpu 設定進行運算，因此可在半天內完成所有計算及出圖。

磁碟空間的使用量，以 OCM2 最多，三組模式總和約為 80GB，加上 HYCOM 及 GFS 資料 20GB，系統執行一次空間總使用量為 100GB。

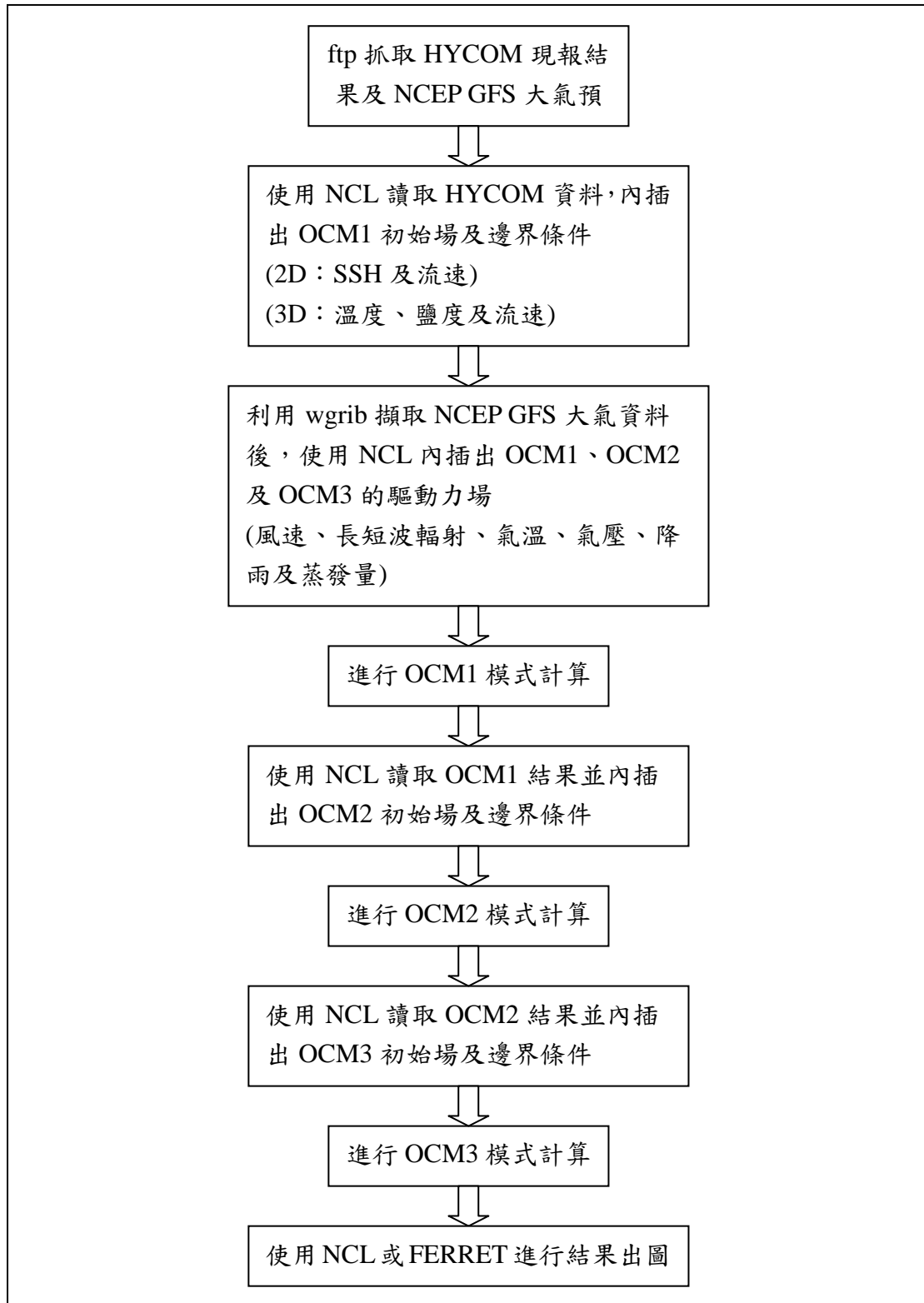


圖 7-1 台灣海洋環流預報系統執行流程

表 7-1 台灣海洋環流預報系統執行時間及空間使用量

	OCM1(4 days)	OCM2(3 days)	OCM3(3 days)
計算時間 (32 node)	80 分鐘	340 分鐘	120 分鐘
輸入檔	驅動力(16 筆)、格點及 邊界: 500MB 重啟檔: 3.5GB(1 筆/日)	驅動力(12 筆)、格點及 邊界: 800MB 重啟檔: 4.2GB(1 筆/日)	驅動力(12 筆)、格 點及邊界: 700MB
輸出檔	日平均: 1.3GB(1 筆/日) 日時序: 10GB(8 筆/日) 重啟檔: 3.5GB(1 筆/日)	日平均: 4.0GB(1 筆/日) 日時序: 30GB(24 筆/日) 重啟檔: 4.2GB(1 筆/日)	日時序: 4GB(1 筆/ 小時) 重啟檔: 200MB

第八章 結論與後續工作

去年度完成 OCM1 及 OCM2 的建置，本年度著重於 OCM1 及 OCM2 的校驗以及 OCM3 的建置工作。由於氣象局 HPC 運算資源不足夠，原始規劃較長的作業化時程實際上無法運作，因此在與氣象局經過數次工作會議討論後，將預報時程改為每日執行，OCM1 每次現報 24 小時，預報 72 小時，OCM2 及 OCM3 皆為預報 72 小時，此規劃本團隊於本年度進行測試，由模擬結果瞭解此方式目前可行，待未來取得更多運算資源，便可再將預報時程拉長。模擬結果由第四章及第五章的比對圖，整體結果不錯，僅部份海域有些微偏差，此部份仍然需要繼續改善。OCM1 長期模擬的部份瞭解模式大約 10 天會開始產生偏移的狀況，此部份對於目前規劃的短期預報沒有影響，但是若之後需要延長作業預報時間，則需要再對模式進行最佳化，並且配合資料同化來降低模式的發散狀況。

OCM3 上半年進行第一次網格設定完成潮汐計算建置，與實測水位比對差異不大，模式運行沒有問題。然此範圍所需運算量較大，因此下半年度進行第二次網格設定，縮小範圍同時配合地形做網格疏密的分佈，在結果比對較第一次設定之網格得到更好的結果，在下一年度則使用此設定持續加入溫度、鹽度及海流等模擬。

目前三層模式建置皆已完成，OCM1、OCM2 及 OCM3 也進行初步的校正，下一年則持續進行 OCM1、OCM2 及 OCM3 模式的細部比對及校驗。在整個海洋環流預報系統方面，於下一年度持續進行三組模式的介面接合。

參考文獻

1. Ocean-modeling 網站 <http://www.ocean-modeling.org/index.php>
2. ROMS/TOMS 論壇 <https://www.myroms.org/forum/index.php>
3. ROMS 網站 <http://www.myroms.org/>
4. SMS online help, <http://www.xmswiki.com/xms/SMS:SMS>
5. TOMS 網站 <http://www.myroms.org/index.php?model=toms>
6. Wiki ROMS 網站
https://www.myroms.org/wiki/index.php/Documentation_Portal
7. Amante, C. and B. W. Eakins, March 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
8. Andrich P., P. Delecluse, C. Lévy and G. Madec, (1988) A multitasked general circulation model of the ocean. In Science and engineering on Cray Supercomputers, Proceedings of 4th International Symposium Minneapolis, Minnesota, Cray Research, Inc. book, pp 407~428
9. Berger MJ, Bokhari SH. (1987) A Partitioning Strategy for Non-uniform Problems on Multiprocessors. *IEEE Transactions on Computers* C-36, 5:570-580.
10. Bleck, R. (1998) Ocean modeling in isopycnic coordinates. Chapter 18 in Ocean Modeling and Parameterization, E. P. Chassignet and J. Verron, Eds., NATO Science Series C: Mathematical and Physical Sciences, Vol. 516, Kluwer Academic Publishers, pp 422~448
11. Bleck, R. (2002) An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. *Ocean Modeling*, Vol. 4, 55-88.
12. Blumberg, A. F., (1994) A primer for Ecom-si. Technical Report of HydroQual, Inc., 66 pp
13. Blumberg, A.F. and G.L. Mellor, (1987) A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In Three-dimensional Coastal Ocean Model, N.S. Heaps, Ed., *Coastal. Estuar. Sci.*, Vol. 4, pp 1~6.
14. Blumberg, A.F. and G. Mellor (1987) A three-dimensional coastal ocean model. Three dimensional models., N.S. Heaps (ed), AGU, 1-16.
15. Bouttier, F. (1994) A dynamical estimation of forecast error covariances in an assimilation system, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 122, pp. 2376-2390.
16. Bratseth, A. M. (1986) Statistical interpolation by means of successive corrections, *Tellus*, 38A, pp. 439-447.
17. Chassignet, E.P., L.T. Smith, R. Bleck and F.O. Bryan, (1996) A model comparison: numerical simulation of the North and Equatorial Atlantic oceanic

- circulation in depth and isopycnic coordinates. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 26, pp 1849~1867.
18. Chen, C., (2000) A modeling study of episodic cross-frontal water transports over the inner shelf of the South Atlantic Bight. *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 30, pp 1722~1742.
 19. Cohn, S. E., and D. F. Parrish (1991) The behavior of forecast error covariances for a Kalman filter in two dimensions, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 119, pp 1757-1785.
 20. Cousins, S. and H. Xue (2001) Running the Princeton Ocean Model on a Beowulf cluster. 2001 Terrain following coordinates workshop, Boulder, august 20-22, 2001.
 21. Daley, R. (1985) The analysis of synoptic scale divergence by a statistical interpolation procedure, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 113, pp 1066-1079.
 22. Daley, R. (1993) Atmospheric Data Analysis, Cambridge University Press, ISBN 9780521458252, pp 6-24
 23. Egbert, G.D., A.F. Bennett and M.G.G. Foreman (1994), "TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model", *Journal of Geophys. Res.*, 99, 24,821-24,852.
 24. Egbert, G.D., and S.Y. Erofeeva (2002), "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides", *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19(2), 183-204.
 25. Ezer T., H. Arango and Alexander F. Shchepetkin, (2002) Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects. *Ocean Modelling*, Vol. 4, pp249~267.
 26. Foreman, M. G. G. (1977), Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction, Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Science, Patricia Bay, Sidney, BC, pp.97.
 27. Haidvogel, D. B., H. Arango, Kate Hedstrom, Aike Beckmann, Paola Malanotte-Rizzoli, and Alexander F. Shchepetkin, (2000) Model evaluation experiment in the North Atlantic Basin: simulation in nonlinear terrain-following coordinate, *Dynamic of Atmospheres and Oceans*, Vol. 32, pp239~281
 28. Haidvogel, D.B., H. Arango, W.P. Budgell, B.D. Cornuelle, E. Curchitser, E. Di Lorenzo, K. Fennel, W.R. Geyer, A.J. Hermann, L. Lanerolle, J. Levin, J.C. McWilliams, A.J. Miller, A.M. Moore, T.M. Powell, A.F. Shchepetkin, C.R. Sherwood, R.P. Signell, J.C. Warner and J. Wilkin. (2008) Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Journal of Computational Physics*, Vol. 227, pp3595~3624
 29. Hansen, D. V. and Poulain, P. M., (1996) Processing of WOCE/TOGA drifter data, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 13, pp. 900-909

30. Hansen, R.B., H.W. Ducklow and J.G. Field, (1999) The changing ocean carbon cycle, a midterm synthesis of Joint Global Ocean Flux Study. IGBP Programme Book Series, 5, Cambridge University Press.
31. Halliwell, G. (2002) HYCOM Overview.
32. Halliwell, G.R., Jr., (1997) Simulation of decadal/interdecadal variability the North Atlantic driven by the anomalous wind field. Proceeding, Seventh Conference on Climate Variations, Long Beach, CA, pp 97~102
33. Halliwell, G.R.m Jr., (1998) Simulation of North Atlantic decadal/multi-decadal winter SST anomalies driven by basin-scale atmospheric circulation anomalies. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 28, pp 5~21
34. Halliwell, G.R, Jr., R. Bleck and E. Chassignet, (1998) Atlantic Ocean simulations performed using a new hybrid-coordinate coean model. EOS, Fall 1998 AGU Meeting
35. Halliwell, G.R., R. Bleck, E.P. Chassignet and L.T. Smith, (2000) mixed layer model validation in Atlantic Ocean simulations using the Hybrid Coordinate Ocean Model(HYCOM). EOS, 80, OS034
36. Holt, J.T. and I.D. James, (1999b) A simulation of the southern North Sea in comparison with measurements from the North Sea Project. Part 2: Suspended Particulate Matter *Continental Shelf Research*, Vol. 19, pp 1617~1642
37. Hurlburt, H.E., M.J. Bell, G. EVENSEN, C.N. Barron, A. HINES, O.M. SMEDSTAD and D. STORKEY,, (2002) Operational Global Ocean Prediction Systems. "En route to GODAE", 13-15 juin/june 2002, Biarritz, France, pp 97~105
38. Hu, D., (1996) On the sensitivity of thermocline depth and meridional heat transport to vertical diffusivity on OGCMs. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 26, pp 1480~1494
39. Hu, D., (1997) Global-scale water masses, meridional circulation, and heat transport simulated with a blobal isopycnic ocean model. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 27, pp 96~120
40. Ishikawa, Y., T. Awaji and N. Komori (2001) Dynamical initialization for the numerical forecasting of ocean surface circulations using a variational assimilation system. *J.P.O.*, Vol. 31, pp 75~93.
41. Jazwinsky, A. H. (1970) Stochastic Processes and Filtering Theory, Academic Press, pp. 376.
42. Ji, M., R.W. Reynolds and D. Behringer(2000) Use of TOPEX/Poseidon sea level data for ocean analysis and ENSO prediction: Some early results. *J. Climate*, Vol. 13, pp 216~231.
43. Kalman, R. E. (1960) A new approach to linear filtering and prediction problems,

- Trans. ASME, Ser. D, J. Basic Eng., Vol. 82, pp 35-45.
44. Kanarska, Y., A. Shchepetkin and J.C. McWilliams. (2007) Algorithm for non-hydrostatic dynamics in the Regional Oceanic Modeling System. *Ocean Modelling*, Vol 18, pp 143~174
 45. Kara, A.B., E.J. Metzger, H.E. Hurlburt and A.J. Wallcraft, (2007) An Eddy-Resolving Ocean Model for Pacific Ocean: Part 1: Deep Convection and Its Relation to SST Anomalies. *Journal of Geophysical Research*, Submitted.
 46. Kara, A.B., E.J. Metzger, H.E. Hurlburt and A.J. Wallcraft, (2007) An Eddy-Resolving Ocean Model for Pacific Ocean: Part 2: Daily and Monthly SST Variability from 1990 to 2004. *Journal of Geophysical Research*, submitted.
 47. Karypis, G. and Kumar, V. (1998) METIS* A Software Package for Partitioning Unstructured Graphs, partitioning Meshes, and Computing Fill -Reducing Orderings of Sparse Matrices. Version 4.0. University of Minnesota, Department of Computer Science/ Army HPC Research Center Minneapolis.
 48. Large, W.G., J.C. Mc Williams and S.C. Doney, (1994) Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Rev. Geophys.*, Vol. 32, pp 363~403
 49. Large, W.G., G. Danabasoglu, S.C. Doney and J.C. McWilliams, (1997) Sensitivity to surface forcing and boundary layer mixing in a global ocean model: annual-mean climatology. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 27, pp 2418~2447
 50. Lorenc, A. C. (1988) Optimal nonlinear objective analysis, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 114, pp. 205-240.
 51. Lorenzo, E.D., (2003) Seasonal dynamics of the surface circulation in the Southern California Current System. *Deep-Sea Research II*, Vol. 50, pp2371~2388
 52. Lynch, D. R. and C. E. Naimie, (1993) The M2 tide and its residual on the outer banks of the Gulf of Maine, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 23, pp 2222~2253.
 53. Marchesiello, P., James C. McWilliams and Alexander Shchepetkin, (2003) Equilibrium Structure and Dynamics of the California Current System, *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 33, pp753~783
 54. Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman and C. Heisey (1997) A finite volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers. *J.G.R.* 102, 5753-5766.
 55. Matsumoto, K., Takanezawa, T., Ooe, M. (2000), "Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan", *Journal of Oceanography*, 56, 567-581.
 56. Moore, A.M., E. di Lorenzo, H.G. Arango, C.V. Lewis, T.M. Powell, A.J. Miller

- and B.D. Cornuelle (2005) An adjoint sensitivity analysis of the southern California Current circulation and ecosystem, *J. Phys. Oceanogr.*
57. Naimie, C. E. (1996) Georges Bank residual circulation during weak and strong stratification periods: prognostic numerical model results. *J. Geophys. Res.*, Vol. 101(C3), pp 6469~6486.
 58. Parent, L., J.M. Brankart, O.M. Smedstad, A.J. Wallcraft, T.L. Townsend, P. Brasseur, H.E. Hurlburt, G.A. Jacobs and E.P. Chassignet, (2006) A data assimilative 1/12 degree North Atlantic hindcast experiment using HYCOM: towards a reduced Kalman filter approach. *Ocean Dynamics*, submitted.
 59. Parrish, D.F. and J. Derber (1992) The National Meteorological Center's spectral and statistical interpolation analysis system, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 120, pp. 1747-1763
 60. Pawlowica, R., Beardsley, B. and Lentz, S. (2002), "Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB Using T_TIDE", *Computers & Geosciences*, Vol. 28, pp. 929-937.
 61. Penven, P., C. Roy, G.B. Brundrit, A. Colin de Verdière, P. Fréon, A.S. Johnson, J.R.E. Lutjeharms and F.A. Shillington, (2001) A regional hydrodynamic model of upwelling in the Southern Benguela, *South Africa Journal of Science*, Vol. 97, 4pp.
 62. Price, J.F., A. Weller and R. Pinkel, (1986) Diurnal cycling: Observation and models of the upper ocean response to diurnal heating, cooling and wind mixing. *J.G.R.*, Vol. 91, pp 8411~8427
 63. Shchepetkin, A.F. and James C. McWilliams. (2005) The regional oceanic modeling system(ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, Vol. 9, pp 347~404
 64. Shriver, J.F., H.E. Hurlburt, O.M. Smedstad, A.J. Wallcraft and R.C. Rgodes, (2007) 1/32° real-time global ocean prediction and value-added over 1/16° resolution. *Journal of Marine Systems*, Vol. 65, issues 3, pp 3~26
 65. Smedstad, O.M., H.E. Hurlbut, E.J. Metzger, R.C. Rhodes, J.F. Shriver, A.J. Wallcraft and A.B. Kara, (2003) An operational Eddy resolving 1/16° global ocean nowcast/forecast system. *Journal of Marine Systems*, Vol. 40-41, pp 341~361
 66. Smagorinsky, J., General circulation experiments with the primitive equations, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91:99-164, 1963.
 67. Thacker, W.C., (2003) Data-model-error compatibility. *Ocean Modeling*, Vol. 5, pp 233~247.
 68. Thiébaux, H. J., and M. A. Pedder (1987) Spatial Objective Analysis with

Applications in Atmospheric Science, *Academic Press*, pp 299

69. Wei, Eugene and Manchun Chen, (2001) Hydrodynamic Model Development for the Port of New York/New Jersey Water Level and Current Nowcast/Forecast Model System. NOAA Technical Report NOS OCS 12.
70. Wei, Eugene and Manchun Chen, (2002) NOS EXPERIMENTAL NOWCAST/FORECAST SYSTEM FOR THE PORT OF NEW YORK?NEW JERSEY(NYEFS) : REQUIREMENTS,OVERVIEW, and SKILL ASSESSMENT. NOAA Technical Report NOS OCS 15.

附錄 1 九十九年度計畫驗收標準

計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究 (3/4)

工作項目	驗收標準
校驗太平洋環流模式	由報告內容驗收。
校驗西北太平洋環流模式	由報告內容驗收。
建置及校驗台灣海域海流模式	廠商應於99年9月底前將台灣海域海流模式建置於海象測報中心指定電腦。
訂定模式校驗及驗證年份，並收集相關資料	由報告內容驗收。
氣象局高速電腦計算測試	由報告內容驗收。
編寫模式操作手冊	「台灣海域海流模式」操作手冊1本。
依契約書第8條規定，乙方須配合甲方不定期之查訪	甲方將不定期對乙方進行工作進度查訪，乙方至少每2個月應向甲方報告工作進度（簡報或會議型式）。

備註：以上交付項目中所訂定之驗收標準，需經過審查委員審查核可後始得通過。

附錄 2 期中審查意見回覆

藤主任春慈

1. 研究所有使用的工具是否有需要氣象局購置，如果有，是否已提請氣象局準備或是另有其他安排
2. 是否有比較不同解析度，現報與預報的差異應該在期末報告補充
3. 報告符合計畫內容，完成海流模式的執行以及初步驗證通過

廠商回覆：

1. 目前使用的工具皆已轉換至氣象局 HPC 上已有安裝的軟體
2. 謝謝委員建議，此部份於期末報告補充
3. 謝謝委員，本團隊會持續努力

翁副教授文凱

1. 本次期中報告成果應已達到本計畫之期程與計畫目標
2. 在預報系統三個層次中，前兩層模式相同，但在小範圍台灣區附近卻另用一模式，其使用介面及理論假設是否相容(海洋環流模式與河口海洋模式)
3. p2-6 頁中，模式輸出說明中，將規劃觀測資料的結果引入模式同步計算，以修正模式輸出的結果，以此方式如何進行預報
4. 台灣地區模擬目前驗證水位，以台灣東部較佳，其原因為何
5. 部份文字誤值，建議修正

廠商回覆：

1. 謝謝委員，本團隊會持續努力
2. 海洋環流模式與河口海洋模式的基本理論相同，在網格分割及使用的數值方法不同
3. 此方式為未來規劃之資料同化部份，目前此技術本團隊仍在發展中，並不是本階段的計畫內容，屬於先期發展，為下階段計畫精進的主要工作
4. 台灣東部水位驗證結果較佳是因為此區位於太平洋邊緣且水深較深，較不受地形影響
5. 謝謝委員，會將誤值的文字修正

鄭主任明典

1. 模式運作結果合理，符合規劃進度
2. 海洋模式本就不易發散，似乎應有更長時間的積分，比較容易分析模式特性

廠商回覆：

1. 謝謝委員，本團隊會持續努力
2. 謝謝委員建議，本團隊會持續進行長時間的模擬，測試比較差異

莊教授甲子

1. 模式各層次預測結果分析中之比對項目甚多，如何確立各影響因子之正確性宜加驗證
2. 溫鹽等對模式影響程度建議加以探討
3. 大域計算結果做微小域輸入條件會否造成累積誤差宜加注意
4. 全文敘述宜以中文為主，英文為輔
5. 期末報告建議增加各專有名詞或英文縮寫簡稱的中英文對照表

廠商回覆：

1. 謝謝委員建議，本團隊會持續進行測試分析，找出最重要相關因子並加以驗證
2. 謝謝委員建議，本團隊會持續對模式校驗比對，瞭解溫鹽整體的影響程度
3. 謝謝委員建議，本團隊會持續注意
4. 謝謝委員建議，未來撰寫報告會加以修正
5. 謝謝委員建議，會於期末報告增加此項目

蔡研究員立宏

1. 太平洋環流模式(OCM1)與西北太平洋環流模式(OCM2)執行結果，在現報日及預報日上，與 HYCOM 資料有所差異，請問造成差異的原因？又如何判別哪一個模式較為準確
2. 報告中模式執行結果，分析圖形中以不同色階方式表達，為了顯示差異的多寡，是否能以量化圖形加以比較。今後預計做的校驗工作為何？
3. 本年度執行速度及時間受限於氣象局 HPC 的資源(cpu 數量及磁碟空間)，故修正原本規劃的預報時程，此造成原因為氣象局的設備未達預期估計？抑或模式本身執行速度與當初預估時有所出入？原來為現報一星期及預報未來兩星期變為現報一日預報三日共四日，是否符合氣象局要求？
4. 目前用貴團隊 PC Cluster 執行需 690 分鐘加上前後處理約 15 小時，若用 HPC 使用 128 顆 cpu 約半天，亦是模擬四天所需結果，若要達到原來預期模擬天數，氣象局 HPC 設置應該做如何增置改善
5. 台灣海域模式(OCM3)目前只針對水位變化做比對，未來還預計做哪些實測資料之比對
6. p6-9 表中標題需註明為”水位”比對結果？p6-1 表 6.1-1 σ 需註明？p2-16”u”及”v”方程式需定義清楚

廠商回覆：

1. 目前推測差異為兩者的解析度不同，因此在內插的過程就已產生誤差，目前誤差量化程式然再持續發展，未來會使用量化的數字來評斷模式的精確度
2. 謝謝委員建議，本團隊會改善呈現的方式，未來會持續進行黑潮區域流速、

溫度及鹽度的比對

3. 模式在未實際運算前，在效率的評估上本就較為困難，由於現階段氣象局無法提供足夠的運算資源，因此未能達成原本預期的長期預報目標，經數次工作會議決議，將目前的預報規劃為短期，但是三層均每日執行，下階段待氣象局 101 年計算資源更新後，討論訂定下階段的預報目標。
4. 氣象局在下一個階段會增加 HPC 的數量，計算速度也會增加，本團隊也提出計算量需求，期待未來海象中心能夠取得足夠的資源進行預報作業
5. OCM3 未來同樣會對流速、溫度及鹽度的項目進行比對
6. 謝謝委員，已於內文中修正

附錄 3 成果報告審查意見處理情形表

中央氣象局 99 年度委託研究計畫
期中 期末]成果報告審查意見處理情形表

計畫名稱	三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)
計畫編號	MOTC-CWB-99- O -01
計畫主持人	于嘉順
執行單位	國立中山大學

審查委員姓名	審查意見	執行機構處理情形	本局計畫承辦單位 審查(處理)意見
郭一羽	模式驗證由實測值相當困難，可利用其他模式的比對來建立本模式的可靠性	謝謝委員建議，本團隊目前本團隊已使用HYCOM 模式結果進行比對，雖然使用實測資料比對困難度較高(時間空間解析度較不足)，本團隊在下一年度仍會嘗試使用實測值進行模式比對。	審查通過
	河川流量用年平均流量是否合適？預報時是否用河川預報資料	謝謝委員建議，目前並無河川流量預報，因此本團隊會嘗試利用統計方式，希望可將降雨量與河川流量的關係找出來，如此便可透過預估的雨量推估河川流量。	審查通過
鄭明典	本年度工作成果內容符合計畫書之規劃	謝謝委員肯定。	審查通過
	本年度測試結果有改善。建議應提供系統性誤差的說明	謝謝委員肯定，本團隊會於明年度提出更詳盡的誤差說明。	審查通過
莊甲子	資料蒐集所得所代表之意義、特性與其對於本研究海洋模式之模擬所可能產生之影響狀況，除現況描述外，建議盡可能加以補充詳述	謝謝委員建議，本團隊會於下一年度實際使用後，於報告中詳細說明。	審查通過
	目前太平洋環流模式使用的 3 維時間步長 (time step) 為 100 秒，2 維時間步長則為 5 秒，此是否為最佳模式運算條件，建議略加探討定論	謝謝委員建議，目前模式持續校驗中，再最後校驗確定後，會加以說明。	審查通過

	實測與模式水位比對之均方根誤差(RMS)有多處偏高，經調整後期改善趨勢不一致，建議能加以進一步探討	謝謝委員建議，由於近岸地形變化複雜，因此對於每一個測站修正會有不同的幅度，本團隊會持續進行修正，增加模式的精確度，並於報告中說明。	審查通過
	報告內容中針對過去三年已完成工作項目及所獲結果部份宜加補充以彰顯研究成果	謝謝委員建議，本團隊會增加文字說明。	審查通過
	整體而言，本期末報告個海洋模式作業化運作成果合理，可謂已達到本計畫之期程與目標	謝謝委員肯定。	審查通過
翁文凱	OCM1 與 HYCOM 計算結果大致相同，但仍有部份差異，其原因為何？哪一個正確是否能清楚？	OCM1 與 HYCOM 再部份區域會有差異，本團隊推測為 HYCOM 模式解析度較高且有經過資料同化，因次計算結果是可以信任的，可以用來作為模式的比對依據。	審查通過
	在台灣區附近水位模擬結果相當接近，是否需以經驗修正係數，對未來預測是否有不穩定的影響	目前天文潮係數修正完畢後，變不需要在做任何更動，也不會造成未來預測不穩定。	審查通過
	主要理論仍以水位方程式為主，因此大致上水位變化應可較流場得到較佳成果，未來流場或鹽溫度如何校驗？	在流場的校驗方式，本團隊會嘗試利用通量計算及虛擬浮標來進行校驗；鹽度及溫度則利用衛星資料、世界各國的觀測資料網及氣象局測站進行 RMS 誤差比對。	審查通過
蔡立宏	OCM1 與 OCM2 與 HYCOM 比較結果具差異性，可知其造成差異原因？日後如何做修正。	由於 HYCOM 模式的解析度比較高，再加上其有經過資料同化的修正，準確度會較 OCM1 及 OCM2 高，本團隊再本階段完成模式建置及校驗後，未來也會考慮加入資料同化的機制，如此便能更接近實際的結果。	審查通過
	OCM3 目前只針對水位	未來還會利用流速、溫	審查通過

	做校驗，未來會再利用 哪些現場資料作校驗	度及鹽度資料進行比 對。	
	前置作業時間有包括 抓取儲存應用資料時 間？	目前評估的作業時間 並未包含抓取資料的 時間。已目前操作的測 試，約需 400 分鐘，唯 資料下載時間仍須由 當時網路及伺服器的 負荷決定，所以建議作 業期使時間提早 12 時。	審查通過
	相位分佈圖 0 度與 360 度速接建議取相同	謝謝委員建議，本團隊 未來在呈現方式會加 以修正。	審查通過
滕春慈	計畫發展系統已建置 在氣象局作業系統 上，且完成個案模擬， 預報符合驗收條件	謝謝委員肯定。	審查通過
	建議日後比較時，可以 用差異圖以利審查	謝謝委員建議，本團隊 在未來比對過程，會加 以修正。	審查通過
	日後校驗應該增加觀 測資料比對，平均流場 和觀測平均場比對	謝謝委員建議，本團隊 在未來比對時會增加 此項目。	審查通過

附錄 3 績效指標

請選擇合適計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破

(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)

屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	B 研究團隊養成	1	形成海洋環境計算實驗室	
	C 博碩士培育	3	江朕榮、尤皓正及陳沛宏攻讀博士學位	
	D 研究報告	2	期中成果報告及期末成果報告	
	F 形成教材	1	台灣海域海流模式使用手冊	
	I 技術活動	2	發表於 99 年度天氣分析研討會及第 32 屆海洋工程研討會	

附錄 5 佐證資料表

佐證資料表

(請選擇合適之佐證資料表填寫，超過1筆請自行插入列繼續填寫，未使用之指標資料表請刪除)

計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)

【A 學術成就表】

中文題名	第一作者	發表年 (西元年)	文獻類別
台灣海域多尺度三維海流預報作業模式建置	江朕榮	2010	e
台灣海域多尺度三維海流預報作業模式	江朕榮	2010	e

註：文獻類別分成 a 國內一般期刊、b 國內重要期刊、c 國外一般期刊、d 國外重要期刊、e 國內研討會、f 國際研討會、g 著作專書

【B 研究團隊表】

團隊名稱	團隊所屬機構	團隊性質	成立時間 (西元年)
海洋環境計算實驗室	中山大學	e	2005

註：團隊性質分成 a 機構內跨領域合作、b 跨機構合作、c 跨國合作、d 研究中心、e 實驗室

【C 培育人才表】

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
江朕榮	a	國立中山大學海洋環境及工程學系	于嘉順
尤皓正	a	國立中山大學海洋環境及工程學系	于嘉順
陳沛宏	a	國立中山大學海洋環境及工程學系	于嘉順

註：學歷分成 a 博士、b 碩士

【F 製作教材表】

教材名稱	教材類別	發表年度 (西元年)	出版單位
台灣海域海流模式操作手冊	a	2010	氣象局

註：教材類別分成 a 文件式、b 多媒體、c 軟體、d 其他

附錄 6 績效報告

政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)

(群組) (領域)

主管機關：交通部中央氣象局

執行單位：國立中山大學

第二部分：政府科技計畫成果效益報告

壹、科技施政重點架構圖：

貳、基本資料：

計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)

主持人：于嘉順

審議編號：

計畫期間(全程)：97年 月 日至100年12月31日

年度經費：4,100千元 全程經費規劃：16,900千元

執行單位：國立中山大學

參、計畫目的、計畫架構與主要內容

一、計畫目的與預期成效：

台灣海域為東亞航運必經之地，近年來的經濟快速開發，台灣對外的航運更趨頻繁，尤其是石化工業的興起，油品及化學品的進出口更增加了海域遭受船難與污染的危機，阿馬斯號的油污染以及韓籍化學輪三湖兄弟號在新竹外海沈沒所造成的長期影響更是深遠。由於台灣附近海流經過所形成的生態系統豐富，亦是漁產豐盛的海域，近年興起的海面箱網養殖漁業與政府為保護漁業資源在台灣海域投擲大量的人工魚礁，更是易遭受污染的傷害。即時的海流預報作業，不但可以提供航運業者與航管單位即時的海流預報資訊，更可以提供做為早期預警與管理的工具，一旦船難發生時，亦可有立即的海流預報資訊，提供緊急應變單位預測油污染或化學品污染的漂移方向及擴散區域。此外，緊急的海難救助之搜尋工作，亦亟需詳盡的全域三維海流資訊，以提供救難單位即時預測評估搜救對象的可能地點，減低搜尋資源投入的成本，確保搜尋作業時效，因此即時海流預報作業確為緊急應變不可或缺的重要資訊。

近年來，世界各地的氣象及海洋學者積極研究全球氣候變遷的問題，尤其是海流及海水溫度對海象及氣象的影響，海流的預報與長期模擬分析更是廣泛的被討論著。台灣附近海域的海流極為複雜，北太平洋環流-「黑潮」流經台灣東部海域，除了強盛的海流亦帶來高溫與高鹽度的海水環境，進入琉球海溝時亦有部分進入台灣北部海域，與來自台灣海峽的海流結合進入東海，每年東北季風期又會阻擾部分的表層洋流而促成黑潮的支流經過台灣南部海域進入南海北部及台灣海峽的南部。除了黑潮洋流的影響，秋冬的東北季風及夏季的西南季風均對台灣附近的海流有相當的影響。在台灣海峽及東海等大陸棚海

域，潮汐又是 1 個主導海流的動力，季節變動所造成的溫度與河水排放的淡水亦會影響海流的分布，颱風所造成的擾動期間雖然不長，但是可以造成非常劇烈的局部影響，因此，1 套涵蓋大範圍、多尺度、能夠達成預報時效的海流即時預報模式是海象預報作業極為重要的工作。

海流預報作業一直是海象(洋)預報作業中最为艱鉅的一項工作，亦是近年歐美先進國家中 1 項積極發展及改進的項目。一方面提供即時預報海流作為航運、遊憩、漁業等公私部門做為規劃管理及作業之參考，另一方面並可隨時提供救難與緊急應便之需。應用現代高速電腦之計算與儲存技術之提高，運用在預報作業的時效與精度，提供有效的即時預警。研發多尺度台灣海域的海洋預報作業模式是急需完成的重點工作。

海象測報中心目前已開發使用多尺度作業化潮汐及暴潮水位模式預報範圍，將颱風自形成開始的影響完整的包含在內的大尺度 (115° E- 125° E, 20° N- 30° N) 水動力數值模式，模式解析度改進為 1/20 度之精度及 1/60 度的台灣沿海模式，並包含深海平均潮、天文潮、大氣壓力及風場之影響。因此本局希望結合國內外三維海流預報模式專家共同建立 1 套多尺度的臺灣海域海流即時預報作業化模式，模式範圍至少須涵蓋東經 105 度到 150 度，北緯 15 度到 42 度，大部分侵台的颱風影響即可在形成初期納入預報，一方面增加提前預報的時效，另一方面亦可將滯留颱風對台灣海域海流的影響納入預報，為求較為精準的區域模式計算邊界，更大範圍的模式將無可避免。同時在模式發展建置完成後，必須利用本局之相關衛星資料、台灣沿岸及浮標等實際量測資料進行校驗。預報模式系統亦必須配合本局新近建制之高速計算電腦系統 (IBM P5) 達成使用至少 256 組 CPU 的平行計算能力，以便達成每日預報時效。

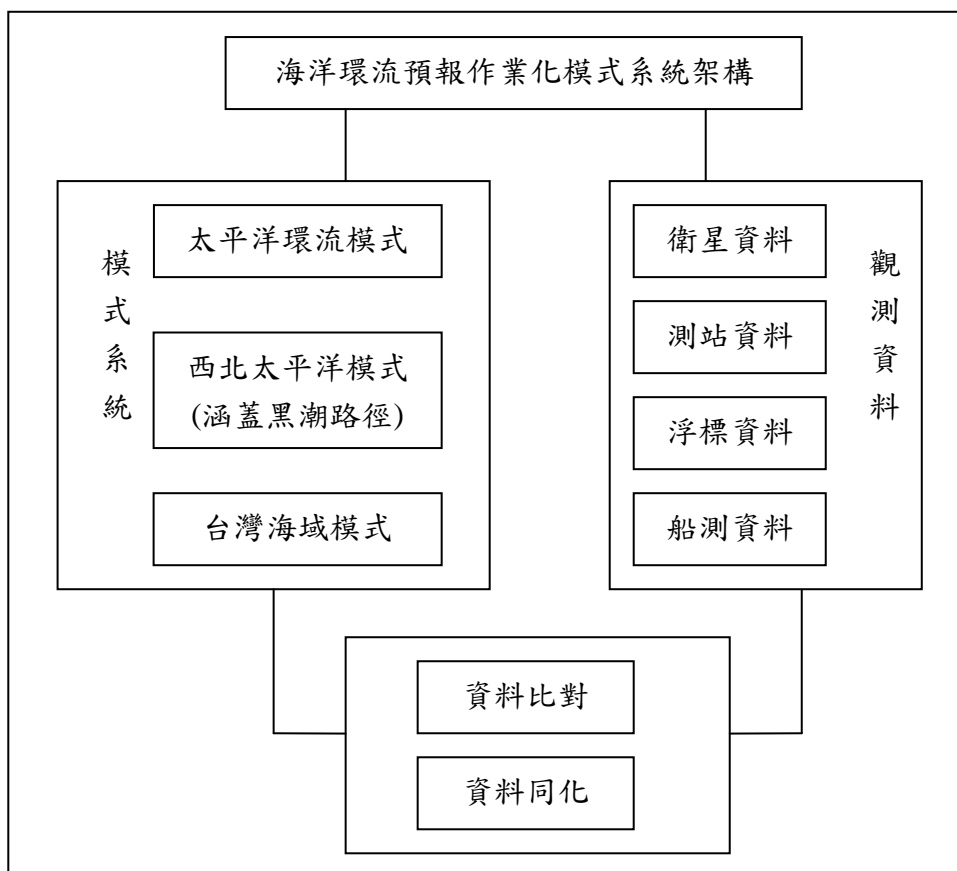
預期的成果如下

1. 多尺度台灣海域即時海流預報作業模式將有能力提供高解析度且較準確的海域海流即時資訊予各級政府或民間單位，以規劃各種相關的國防、建設、觀光、資源開發、緊急應變、救援任務與污染防治等政策。
2. 長期海流模擬分析將可提供海洋開發、航運安全、漁業資源及遊憩活動之設計及管理決策之依據。
3. 海流模式在未來可以和大範圍波浪數值預報模式結合做更具有整體性的波浪預報。
4. 海流模式亦可在未來和氣象數值預報模式結合做大氣海洋整體性結合預報。

二、計畫架構(含樹狀圖)：

本計畫建置海洋環流系統，擬分四年進行：(第一年) 台灣海域即時海流預報作業模式建置可行性評估，訂定未來分年必須達成之工作目標與成果，並收集分析相關文獻與資料，(第二年)建立太平洋環流模式及西北太平洋環流模式(包含黑潮路徑)，(第三年)建立台灣沿海及台灣海峽細格點模式(1/60 度解析度或非正交網格) 與校驗，(第四年)建立模式接合介面，將各種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，提升預報的精度與效率，巢式接合模式平行化作業，中央氣象歷年

潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄之分析，長期模擬分析，作業化模式上線參與每日預報作業。



三、計畫主要內容

本研究規劃台灣海域海流預報作業化模式系統，整體海洋環流預報作業化模式系統架構，主要分為兩個部份，一為模式系統，包括太平洋環流模式、西北太平洋模式及台灣海域模式，另一部份則為觀測資料系統，包括衛星資料、測站資料、浮標資料及船測資料，用以讓模式進行資料比對，並且未來可與模式進行資料同化，得到更精確的模式結果。

影響海流的因素相當多，而且各因素的尺度也不同，有全球尺度的大氣因子、洋流及潮流，中尺度的渦流系統，也有受到海岸線及區域地形影響的小尺度因子。為了要將大尺度的影響因素包含進來，模式的模擬範圍需要擴大，而為了解析區域因素，模式網格的精度需要增加，如此條件下，計算的網格數會以數十倍甚至數百倍增加，以目前現有的電腦計算架構，並無法達成此一目標，利用單一網格來模擬海流的狀況是不可能的，因此最好的方式就是利要巢式網格系統，所以在模式系統的部份，本團隊設定了三個階層的網格系統。

第一層太平洋環流模式，利用全球大氣模式結果作為驅動條件，進行太平洋洋流(北太平洋環流及南太平洋環流系統)系統的模擬，結果可作為下一層模式的

邊界條件。第二層西北太平洋模式則在將範圍縮小，精度提高，並使用太平洋模式的模擬結果作為邊界條件輸入，模擬此區的流場狀況，如此可將洋流的影響帶入，並且可以模擬黑潮路徑及中尺度的渦流系統。第三層則是解析度最密的台灣海域模式，以潮汐動力為基礎並利用西北太平洋模式的結果當成邊界輸入，將洋流及渦流的影響帶進此系統，而解析度小可以解析更細部的海岸線及海底地形，透過此巢狀網格的機制，可以得到更精確的台灣海域海流狀況。

模式系統建置完成，需要實測資料進行模式效驗及比對，因此海洋環流預報作業化模式系統架構包含了觀測資料系統。由於模式系統涵蓋的範圍從全球範圍到區域範圍，因此所需要的資料量相當龐大，包括衛星資料（大範圍）、測站資料（區域）、浮標資料（區域）及船測資料（區域）。取得的資料除了進行模式的比對之外，未來也會建立一套資料同化的方式，以增加模式作業化預報的精確度。

註：請依原綱要計畫書上所列計畫目的、架構、主要內容填寫

肆、計畫經費與人力執行情形

一、計畫經費執行情形：(可以下列表格表達)

(一) 計畫結構與經費

細部計畫		研究計畫		主持人	執行機關	備註
名稱	經費	名稱	經費			

(二)經資門經費表

會計科目	項目	預算數 / (執行數)			備註	
		主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		
				金額(元)		占總經費%
一、經常支出						
	1.人事費	2466948	0	2466948	60	
	2.業務費	689074	0	689074	16	
	3.差旅費	571250	0	571250	14	
	4.管理費	372728	0	372728	10	
	5.營業稅	0	0			
	小計		0			
二、資本支出						
	小計		0			
合計	金額	4100000	0	4100000	100	
	占總經費%	100	0	0	0	

或僅以人事費、業務費(研究設備費、材料與雜費)管理費分類

經費項目		主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		備註
				金額	%	
人事費						
業務費	研究設備費					
	材料與雜費					
管理費						

與原計畫規劃差異說明：

(三)計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力 (人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(3/4)	原訂	6.1	0.9		5.2	
	實際	6				
	差異	0				
	原訂					
	實際					
	差異					

(四) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
于嘉順	主持人	計畫監控投入 11 個月	學歷	比利時魯汶大學博士
			經歷	中山大學海洋環境及工程學系助理教授
			專長	海洋環境數值模擬系統

與原計畫規劃差異說明：

伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)

本計畫執行至現階段，主要成果為

1. 太平洋環流模式
2. 西北太平洋環流模式
3. 台灣海域海流模式
4. 各個模式操作手冊

陸、主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

請依前述重要成果及重大突破說明在學術成就上價值與貢獻度如：

- 一、學術成就(科技基礎研究)(權重 50 %)
- 二、技術創新(科技整合創新)(權重 50 %)
- 三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 %)
- 四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 %)
- 五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 %)

註：若綱要計畫期程為 4 年期第 1 年執行者，請明確寫出本綱要計畫為第 1 年執行，固無主要成就及成果之價值與貢獻度；其他非第 1 年執行者請填寫起始年累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度(例如：執行期程為第 3 年之綱要計畫即寫第 1 年到現在所有成果之 outcome)。

柒、與相關計畫之配合

無

捌、後續工作構想之重點

後續工作如下

第四年 100 年(2011)：建立各層次模式作業化接合介面、模式系統測試與評估、長期模擬測試及分析、作業化模式上線測試，參與每日預報作業與觀測結果比較。

- (1) 測試及校驗各級模式並建立各模式接合介面。
- (2) 測試與評估模式耦合之敏感度至少一年。
- (3) 因應中央氣象局電腦設備之軟硬體，完成模式程式最佳化的設定。
- (4) 模式系統的測試結果與實測或文獻資料比對分析。
- (5) 完成中央氣象局海洋環流作業系統建置及評估報告。

玖、 檢討與展望

填表人：_____ 聯絡電話：_____ 傳真電話：_____

E-mail：_____

主管簽名：_____