

交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(2/4)

計畫類別：國內 國外

計畫編號：MOTC-CWB-98-0-02

執行期間：98年 1月20日至98年 12月31日

計畫主持人：于嘉順

執行單位：國立中山大學

中華民國 98年 12月

交通部中央氣象局 98 年度政府部門科技計畫期末摘要報告
計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(2/4)

審議編號： 部會署原計畫編號：
主管機關： 交通部中央氣象局 執行單位： 國立中山大學
計畫主持人： 于嘉順 聯絡人： 江朕榮
電話號碼： 07-5252000#5165 傳真號碼： 07-5255173
期程： 97 年 2 月 18 日 至 100 年 12 月 31 日
經費：(全程) 16,100,000 元 經費(年度) 3,900,000

執行情形：

1. 執行進度：

	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
當年	100	100	0
全程	50	50	0

2. 經費支用：

	預定	實際	支用率 (%)
當年	3,900,000	3,720,044	95.4
全程	16,100,000	7,320,044	45.5

3. 主要執行成果：

1. 建置太平洋環流模式
2. 建置西北太平洋環流模式
3. 收集模式使用相關資料(包括地形、邊界、驅動力、初始條件及觀測資料)
4. 編寫兩模式使用手冊

4. 計畫變更說明：

無

5. 落後原因：

無

6. 主管機關之因應對策(檢討與建議)：

(下接成果報告全文)

交通部中央氣象局 98 年度委託研究計畫期末簡報內容重點表

計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(2/4)

(一)年度計畫預定與實際工作內容比較

預期成果工作項目		
預定工作內容	實際工作內容	差異說明
1. 建置太平洋環流模式 2. 建置西北太平洋環流模式 3. 編寫使用手冊	1. 完成太平洋環流模式 2. 完成西北太平洋環流模式 3. 於期末審查附上	

- 註：1. 請依年度計畫書內「預期成果」項逐一說明其研究情形及達成度，屬「查核點」應特別表示達成情況。
2. 若有分項計畫，請依分項計畫逐項填寫。
3. 工作內容請儘量依條列舉、數量化方式具體說明。
4. 差異說明涵蓋研究工作之突破及研究進度之落後，所遭遇之困難等。

(二) 資源運用探討

1. 經費運用
2. 人力運用
3. 重要設備採購、裝設及使用情形

(三) 計畫之執行困難及其建議

計畫名稱：三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究（2/4）

工作項目	驗收標準
建置太平洋環流模式	廠商應於98年9月底前將太平洋環流模式建置於海象測報中心指定電腦。
建置西北太平洋環流模式	廠商應於98年10月底前將西北太平洋環流模式建置於海象測報中心指定電腦。
太平洋環流模式與西北太平洋環流模式嵌合測試	由報告內容驗收。
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	測試報告1份，附於期末報告。
編寫模式操作手冊	「太平洋環流模式」操作手冊1本。 「西北太平洋環流模式」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。

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(2/4)」

期末報告

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	vii
第一章 計畫背景.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 工作項目.....	1-3
第二章 海洋環流預報作業化模式.....	2-1
2.1 台灣海洋環流預報作業化模式架構.....	2-1
2.2 預報時程規劃.....	2-7
2.3 模式特性及理論.....	2-7
第三章 資料收集及分析.....	3-1
第四章 太平洋環流模式.....	4-1
4.1 模式範圍網格及設定.....	4-1
4.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力.....	4-3
4.3 模式結果.....	4-19
4.4 計算效能及儲存空間評估.....	4-40

第五章 西北太平洋環流模式.....	5-1
5.1 模式範圍網格及設定	5-1
5.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力	5-3
5.3 模式結果.....	5-20
5.4 計算效能及儲存空間評估	5-40
第六章 結論與未來工作.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 未來工作.....	6-1
參考文獻	
附錄 A 太平洋環流模式操作使用手冊	
附錄 B 西北太平洋環流模式操作使用手冊	
附錄 C 期中報告審查意見回覆	
附錄 D 成果效益報告	
附錄 E 工作會議記錄	

圖目錄

圖 2.1.1-1 台灣海流模式預報系統架構圖	2-3
圖 2.1.2-1 海流模式系統模擬範圍示意圖(上圖：太平洋環流模式；下圖：西北太平洋環流模式；下圖點線：台灣海域模式)	2-5
圖 2.1.3-1 模式系統執行流程	2-6
圖 2.3.1-1 ROMS 系統架構圖	2-8
圖 2.3.2-2 ROMS 水平網格變數配置	2-11
圖 2.3.2-3 ROMS 垂直網格變數配置	2-12
圖 2.3.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖	2-15
圖 2.3.2-5 curvilinear 網格示意圖	2-17
圖 2.3.2-1 ROMS 建置流程圖	2-19
圖 2.3.3-1 ROMS 執行流程圖	2-21
圖 3-1 2009 年 9 月短波輻射月平均分佈圖	3-5
圖 3-2 2009 年 10 月風速月平均分佈圖	3-5
圖 3-3 2009 年 11 月 28 日 HYCOM 全球模式日平均表面水位分佈圖(HYCOM 網頁提供)	3-6
圖 3-4 2009 年 11 月 28 日 HYCOM 全球模式日平均表層鹽度分佈圖(HYCOM 網頁提供)	3-6
圖 3-5 2009 年 11 月 28 日 HYCOM 全球模式日平均表層溫度分佈圖(HYCOM 網頁提供)	3-7
圖 3-6 2009 年 10 月 GODAS 表面水位月平均分佈圖(GODAS 網頁)	3-7
.....	3-7
圖 3-7 2009 年 10 月 GODAS 表層水溫月平均分佈圖(GODAS 網頁)	3-8
.....	3-8
圖 3-8 2009 年 10 月 GODAS 表層流速月平均分佈圖(GODAS 網頁)	3-8
.....	3-8
圖 3-9 2009 年 11 月 23 日前 drifter 浮標點分佈	3-9
圖 3-10 2009 年 11 月 23 日前 GTSP 點位分佈	3-9
圖 3-11 GTSP 測站垂直水溫分佈	3-10
圖 4.1-1 太平洋環流模式範圍地形圖	4-2
圖 4.1-2 太平洋環流模式計算點(濕點)配置	4-2
圖 4.2-1 2003 年 1 月模式海表面高起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)	4-5
.....	4-5
圖 4.2-2 2003 年 1 月模式海表面溫度起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)	4-6
.....	4-6
圖 4.2-3 2003 年 1 月模式海表面鹽度起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)	4-7
.....	4-7

圖 4.2-4 2003 年 1 月模式海表面流速起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)	4-8
圖 4.2-5 2003 年 1 月模式西邊界溫度分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)....	4-9
圖 4.2-6 2003 年 1 月模式西邊界鹽度分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)....	4-10
圖 4.2-7 2003 年 1 月模式東邊界溫度分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)....	4-11
圖 4.2-8 2003 年 1 月模式東邊界鹽度分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)....	4-12
圖 4.2-9 NCEP 模式 2003 年月平均海表面鹽度分佈圖(上：1 月，下：7 月)	4-13
圖 4.2-10 NCEP 模式 2003 年月平均海表面溫度分佈圖(上：1 月，下：7 月)	4-14
圖 4.2-11 NCEP 模式 2003 年月平均海表面風剪力分佈(上：1 月，下：7 月)	4-15
圖 4.2-12 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨熱通量分佈(上：1 月，下：7 月)	4-16
圖 4.2-13 NCEP 模式 2003 年月平均海表面短波輻射分佈(上：1 月，下：7 月)	4-17
圖 4.2-14 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨降雨量分佈(上：1 月，下：7 月)	4-18
圖 4.3-1 2003 年 1 月表層月平均溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-22
圖 4.3-2 2003 年 1 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-23
圖 4.3-3 2003 年 1 月表層月平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-24
圖 4.3-4 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-25
圖 4.3-5 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-26
圖 4.3-6 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面流速(V)分佈(紅色往北，紫色往南) (上：OCM1，下：HYCOM).....	4-27
圖 4.3-7 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-28
圖 4.3-8 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-29
圖 4.3-9 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面流速(U)分佈(紅色往東，紫色往西) (上：OCM1，下：HYCOM).....	4-30
圖 4.3-10 2003 年 7 月表層月平均溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-31
圖 4.3-11 2003 年 7 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-32
圖 4.3-12 2003 年 7 月表層月平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-33
圖 4.3-13 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-34
圖 4.3-14 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	

.....	4-35
圖 4.3-15 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面速度(V)分佈(紅色往北，紫色往南)(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-36
圖 4.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-37
圖 4.3-17 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)	4-38
圖 4.3-18 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面速度(U)分佈(紅色往東，紫色往西)(上：OCM1，下：HYCOM).....	4-39
圖 5.1-1 太平洋環流模式範圍地形圖	5-2
圖 5.1-2 太平洋環流模式計算點(濕點)配置.....	5-2
圖 5.2-1 2003 年 1 月模式海表面高起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)	5-4
圖 5.2-2 2003 年 1 月模式海表面溫度起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)	5-5
圖 5.2-3 2003 年 1 月模式海表面鹽度起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)	5-6
圖 5.2-4 2003 年 1 月模式海表面速度起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)	5-7
圖 5.2-5 2003 年 1 月模式西邊界溫度分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)....	5-8
圖 5.2-6 2003 年 1 月模式西邊界鹽度分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)....	5-9
圖 5.2-7 2003 年 1 月模式南邊界溫度分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)....	5-10
圖 5.2-8 2003 年 1 月模式南邊界鹽度分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)....	5-11
圖 5.2-9 2003 年 1 月模式東邊界溫度分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)....	5-12
圖 5.2-10 2003 年 1 月模式東邊界鹽度分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)..	5-13
圖 5.2-11 NCEP 模式 2003 年月平均海表面鹽度分佈圖(上：1 月，下：7 月)	5-14
圖 5.2-12 NCEP 模式 2003 年月平均海表面溫度分佈圖(上：1 月，下：7 月)	5-15
圖 5.2-13 NCEP 模式 2003 年月平均海表面風剪力分佈圖(上：1 月，下：7 月)	5-16
圖 5.2-14 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨熱通量分佈圖(上：1 月，下：7 月)	5-17
圖 5.2-15 NCEP 模式 2003 年月平均海表面短波輻射分佈圖(上：1 月，下：7 月)	5-18
圖 5.2-16 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨降雨量分佈圖(上：1 月，下：7 月)	5-19
圖 5.3-1 2003 年 1 月表層月平均溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-22

圖 5.3-2 2003 年 1 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-23
圖 5.3-3 2003 年 1 月表層月平均速度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-24
圖 5.3-4 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	5-25
圖 5.3-5 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	5-26
圖 5.3-6 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面流速(V)分佈(紅色往北，紫色往南) (上：OCM2，下：HYCOM).....	5-27
圖 5.3-7 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	5-28
圖 5.3-8 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	5-29
圖 5.3-9 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面流速(U)分佈(紅色往東，紫色往 西)(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-30
圖 5.3-10 2003 年 7 月表層月平均溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-31
圖 5.3-11 2003 年 7 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-32
圖 5.3-12 2003 年 7 月表層月平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-33
圖 5.3-13 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	5-34
圖 5.3-14 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)	5-35
圖 5.3-15 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面速度(V)分佈(紅色往北，紫色往 南)(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-36
圖 5.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下： HYCOM).....	5-37
圖 5.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下： HYCOM).....	5-38
圖 5.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面速度(U)分佈(紅色往東，紫色往 西)(上：OCM2，下：HYCOM).....	5-39

表目錄

表 3-1 氣象局提供模式之可用資料(氣象局資訊中心).....	3-4
----------------------------------	-----

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，為能夠即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台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完成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)的建置與校驗，(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，評估巢式接合模式平行化作業的成果，並分析中央氣象局歷年潮位、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。

1.2 工作項目

本計畫擬分四年進行，本年度為第二年：

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，建立太平洋環流模式及西北太平洋環流模式。

- (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)：校驗太平洋及西北太平洋環流模式並完成台灣海域細格點模式建置與校驗

- (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，已於去年度完成所有工作；(第二年)建立大範圍(太平洋或西北太平洋尺度)模式，此為本年度工作重點；(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)；(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 台灣海洋環流預報作業化模式

2.1.1 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帖條件輸入, 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。最後一層則是解析度及範圍最小的台灣海域模式(Ocean Circulation Model 3, OCM3), 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, 本團隊於計畫期間同時也會嘗試建立資料同化的方式, 在未來增加模式作業化預報的精確度, 資料同化部份並非本期計畫執行工作。

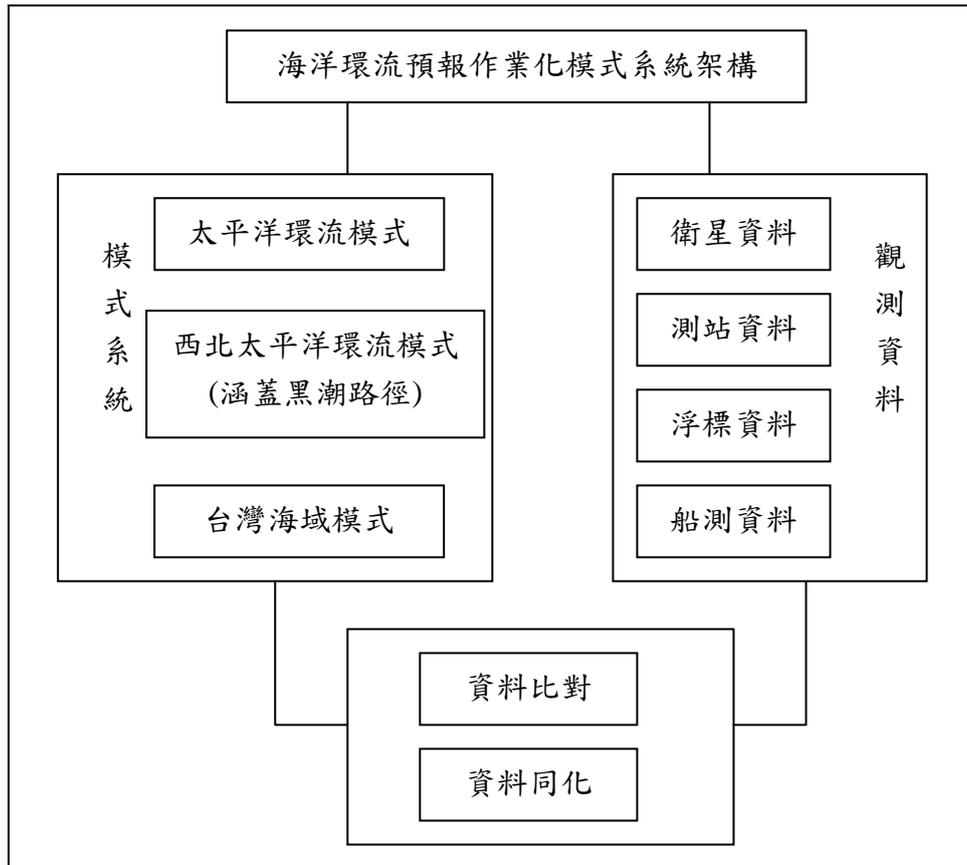


圖 2.1.1-1 台灣海流模式預報系統架構圖

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 2.1.2-2 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 2.1.2-2 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 2.1.2-2 下圖中，點線範圍是最後一層台灣海域模式，模式邊界及初始條件輸入則利用西北太平洋環流模式的模

擬結果內插而得，氣象條件使用氣象局 NFS 模式結果，預計模式的範圍涵蓋 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，此層將使用 FVCOM 河口海洋模式進行模擬。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，增加模擬的可信度。

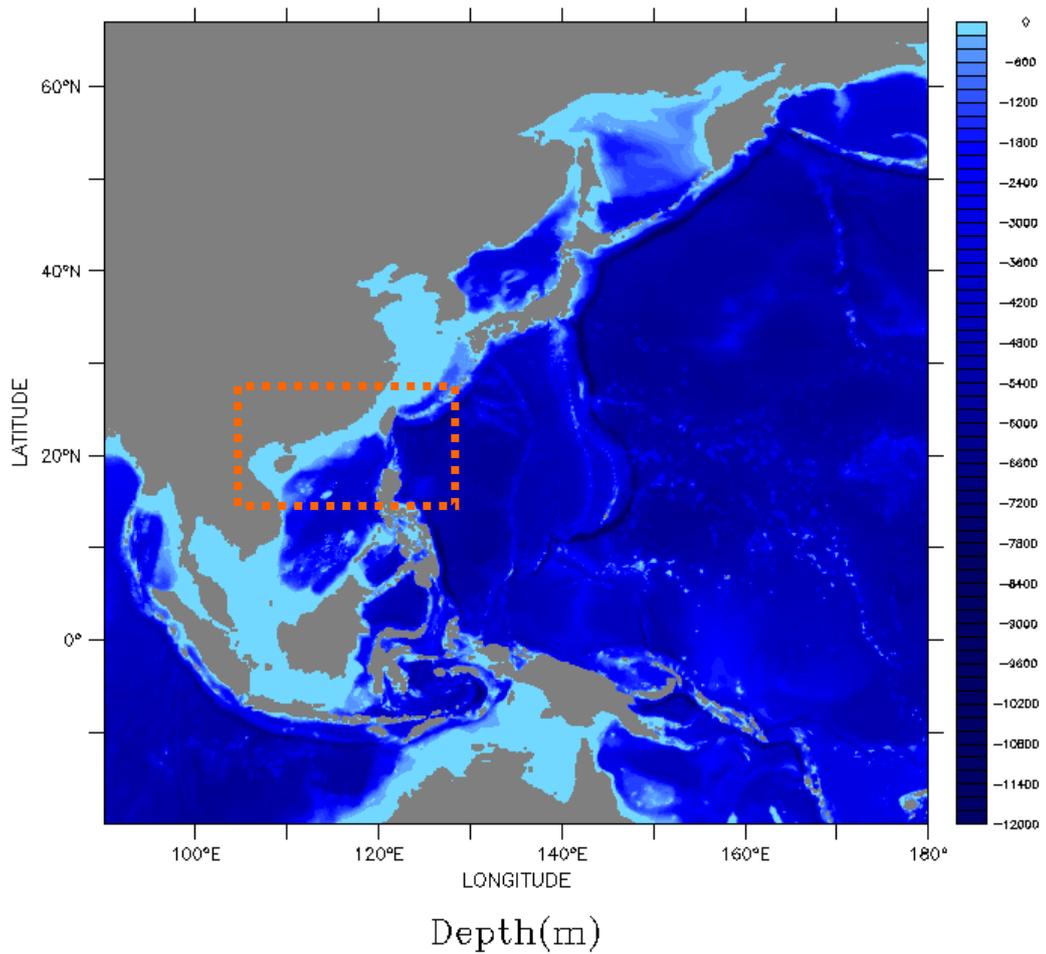
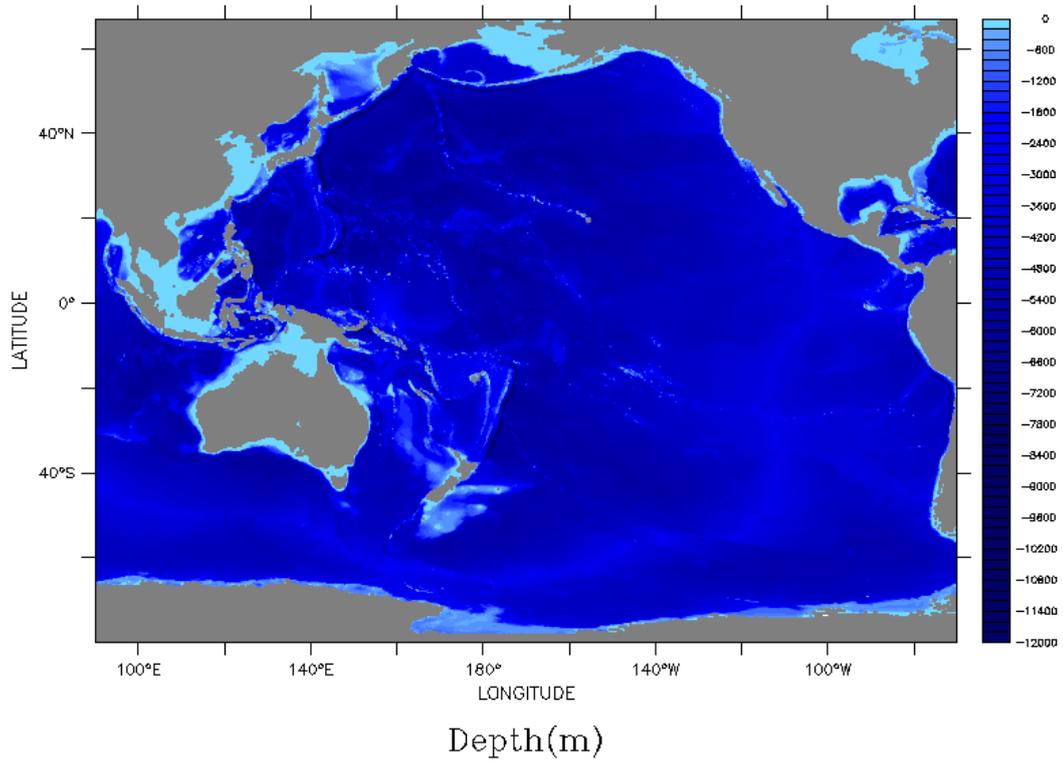


圖 2.1.2-1 海流模式系統模擬範圍示意圖(上圖：太平洋環流模式；下圖：西北太平洋環流模式；下圖點線：台灣海域模式)

2.1.3 模式執行程序

圖 2.1.3-1 為海洋環流模式主要執行程序，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(time step)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 維場的運算。

模式的輸出，依據本計畫的需求，需輸出水位、3 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。

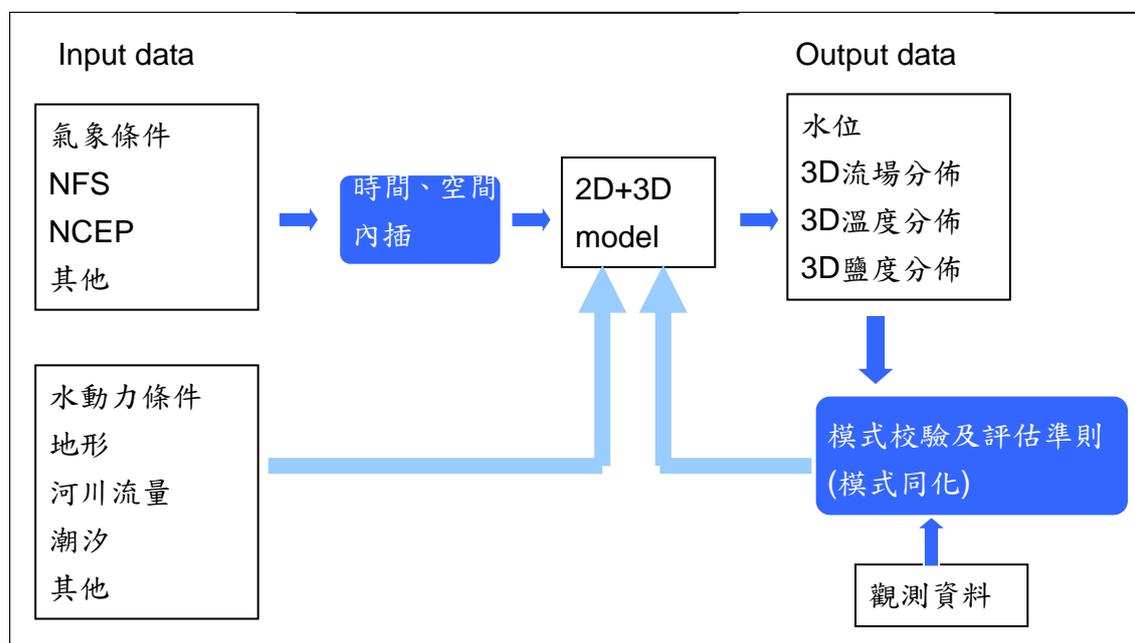


圖 2.1.3-1 模式系統執行流程

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，目前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

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。其為一套自由表面設定，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

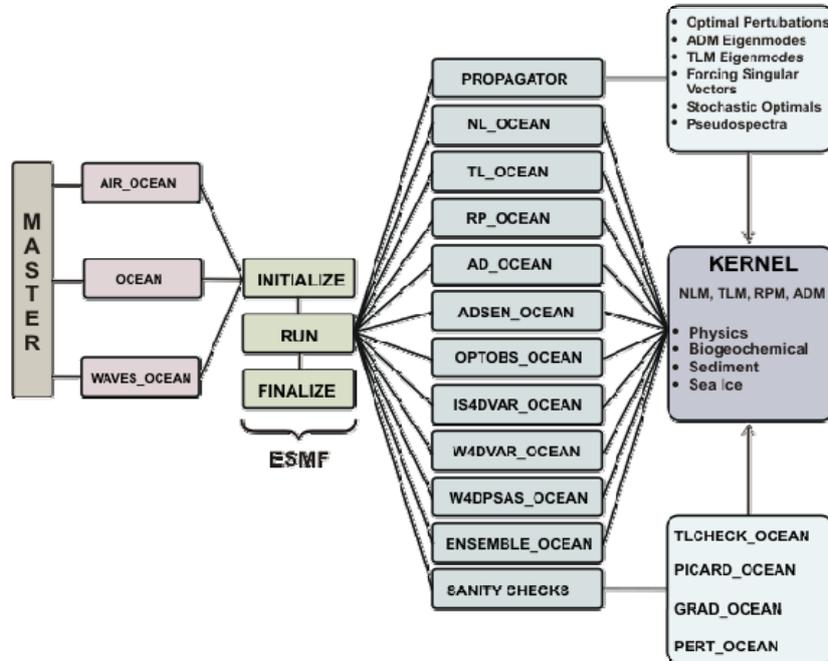


圖 2.3.1-1 ROMS 系統架構圖

2.3.2 ROMS 控制方程式

(1) 基本控制方程式

ROMS 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，因此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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} \cdot \Delta u - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} \cdot \Delta v - fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v$$

溫度及鹽度擴散方程式

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

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

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)

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

其中 \vec{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($z = \zeta(x, y, t)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_s^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref})$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = (E - P)S$$

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

在底層 ($z = -h(x, y)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_b^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_b^y(x, y, t)$$

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

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

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = 0$$

$$-w + \bar{v} \cdot \nabla h = 0$$

其中 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最需要進行處理，ROMS 會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

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

在南北向則表示如下

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

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 2.3.2-2 所示，變數水位(zeta)、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 2.3.2-3 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，垂直流速(w)及垂直混和變數(Akt 、 Akv ...等)則置於網格上下邊緣。

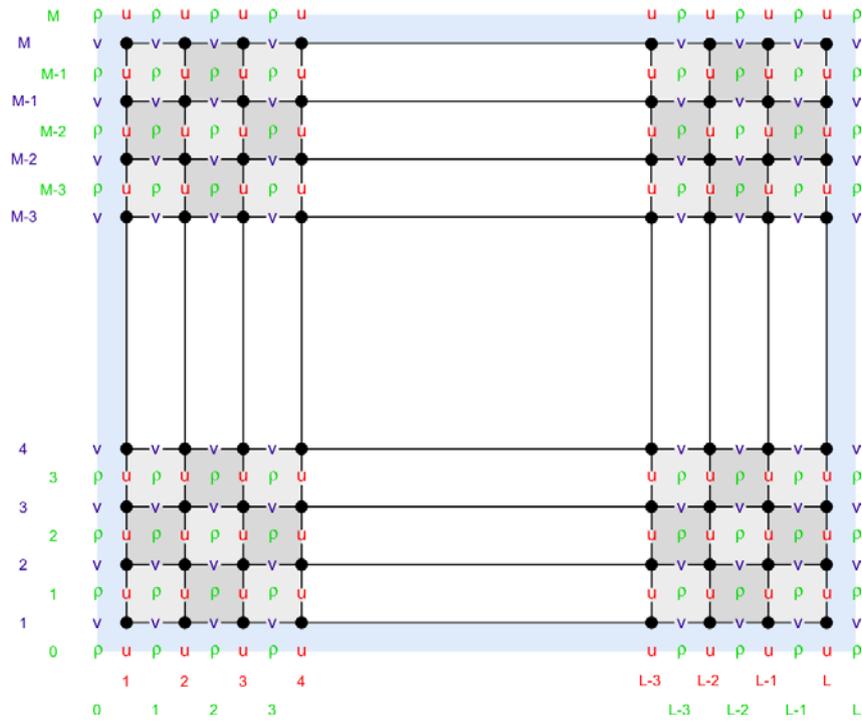


圖 2.3.2-2 ROMS 水平網格變數配置

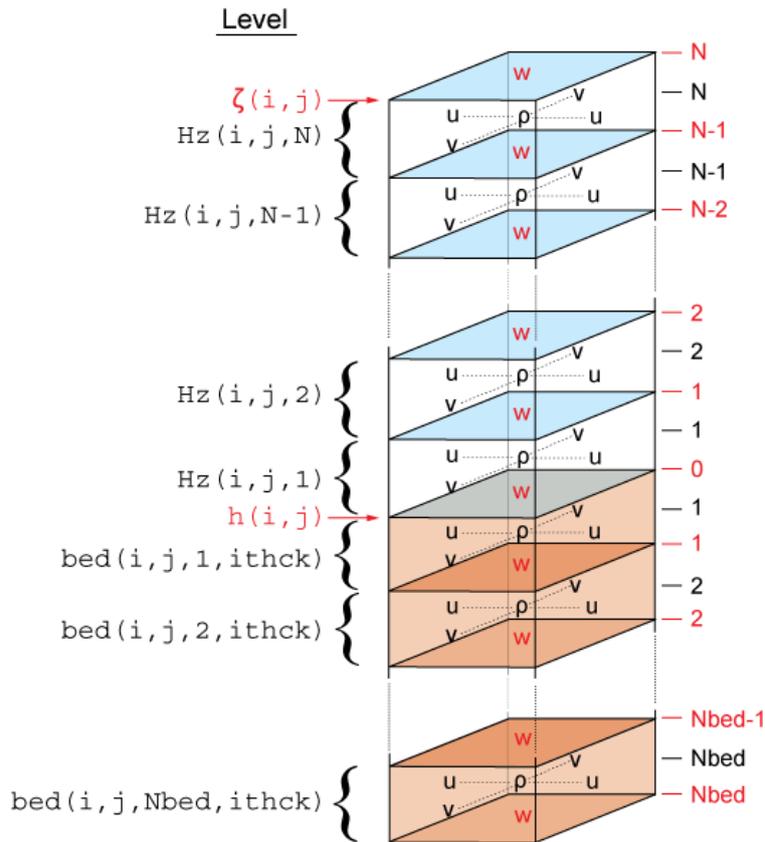


圖 2.3.2-3 ROMS 垂直網格變數配置

(4) 垂直 S 座標系統

傳統的 z 座標系統在遇到地形變化很大的地方，會產生網格不連續的現象，因此變出現了可依據地形變化等比例分配的座標系統 (sigma 座標)，此座標系統最早是應用在大氣方面，其後才使用於海洋的模擬。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 2.3.2-4。以下為 S 座標的定義：

$$\hat{x} = x$$

$$\hat{y} = y$$

$$\hat{t} = t$$

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

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

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 σ 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

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

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

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

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

經過上述的座標轉換，ROMS 的動態方程式可以轉換如下：

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

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

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

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

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

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

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

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 ($z = -h(x, y)$)

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

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

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

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

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

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

$$\Omega = 0$$

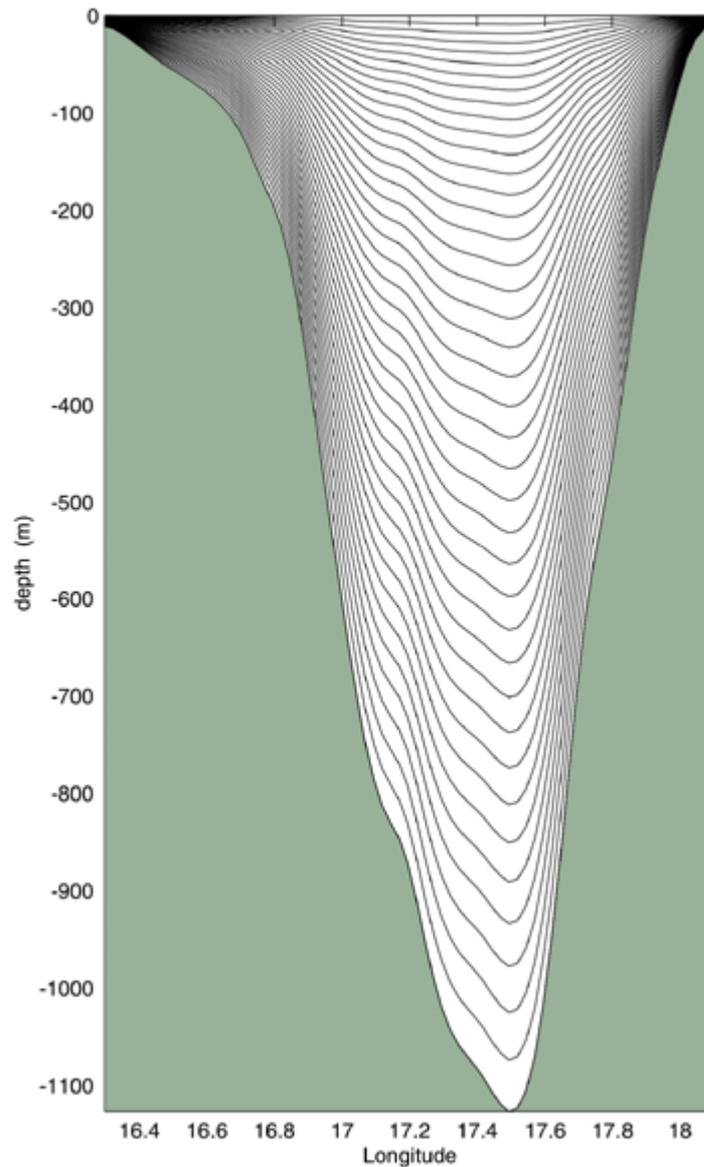


圖 2.3.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖

(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，在解析力的部份是不足的，特別是針對計算流體的運動，因此 ROMS 為了解決這個問題，在水平座標採用了可以產生不規則網格的 curvilinear 座標系統，如圖 2.3.2-5 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

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

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

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

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

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

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。

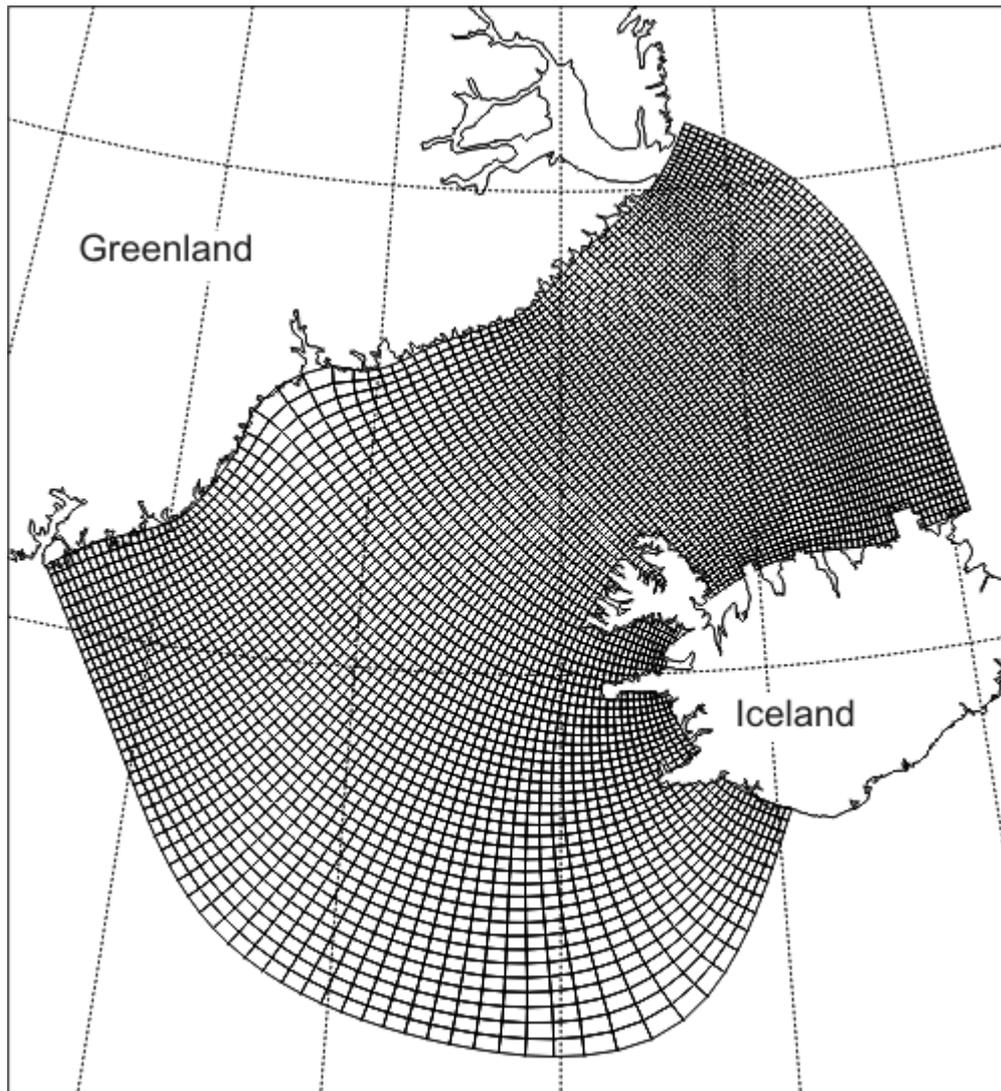


圖 2.3.2-5 curvilinear 網格示意圖

2.3.2 ROMS 檔案格式說明及建置流程

ROMS 由網路下載完成並解完壓縮之後，所有檔案按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 shell script 檔案，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 2.3.2-1，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 matlab 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，在利用 Fortran compiler 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的需要，可直接修改 Build 資料夾內的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)。

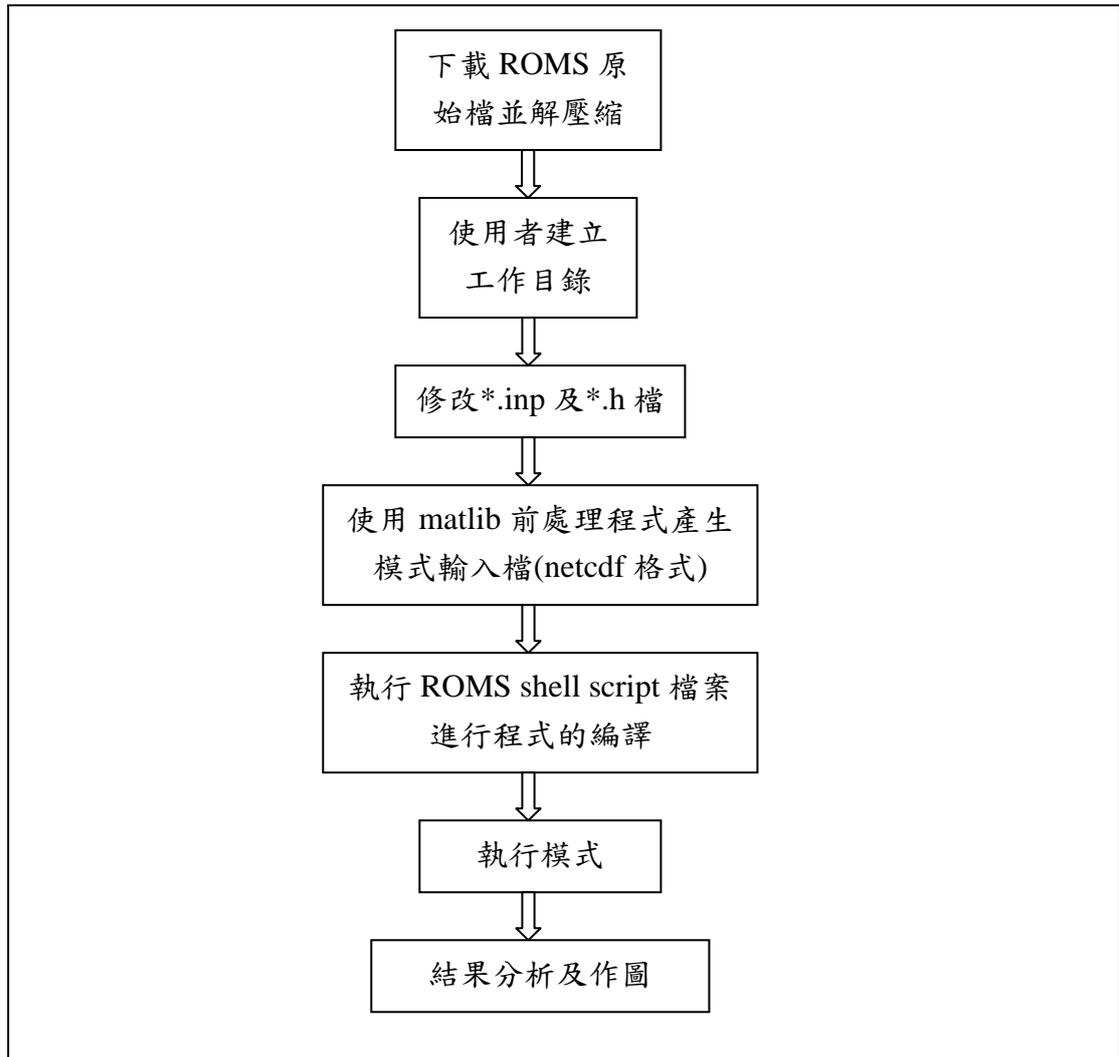


圖 2.3.2-1 ROMS 建置流程圖

2.3.3 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 2.3.3-1 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。

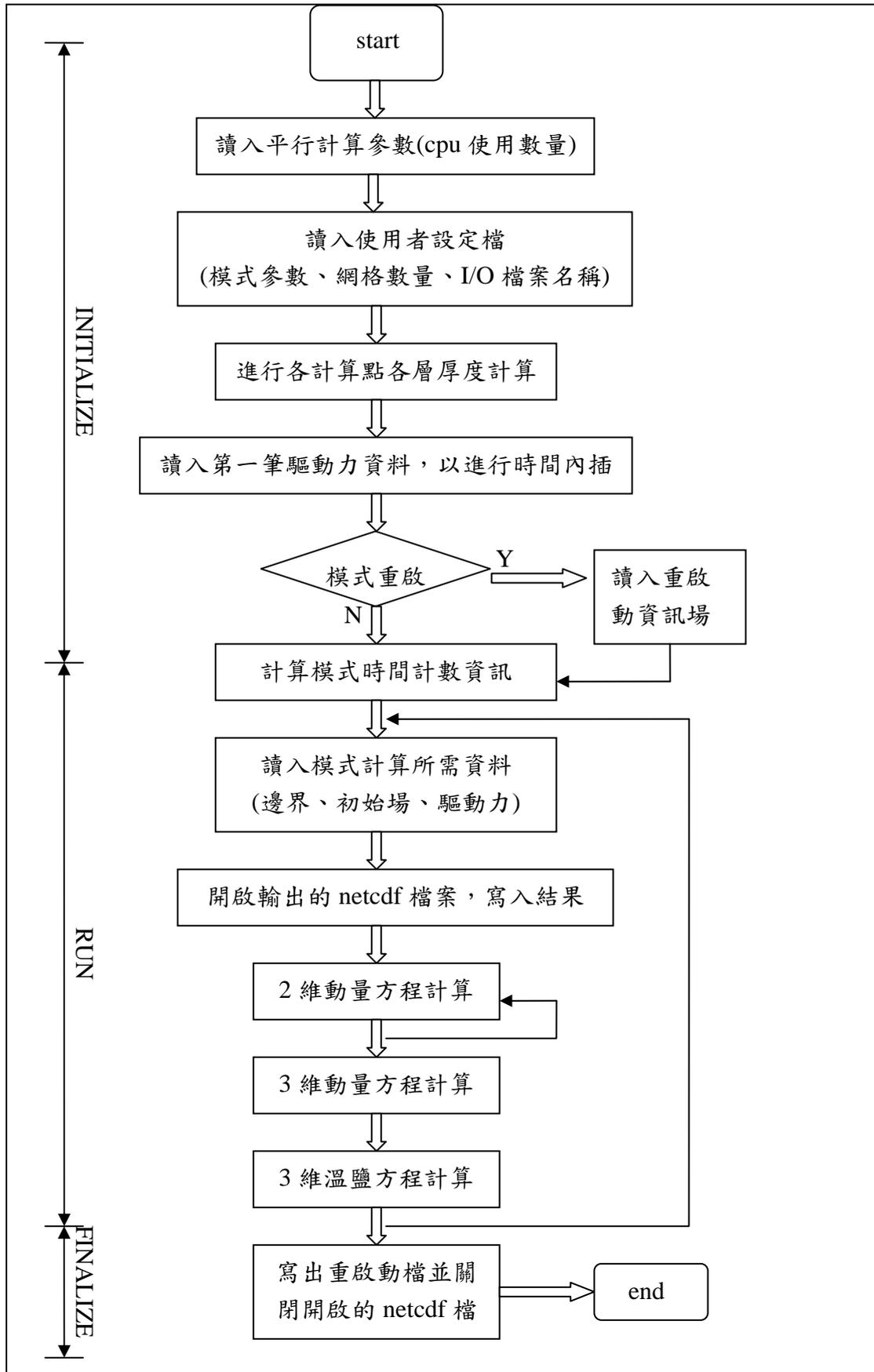


圖 2.3.3-1 ROMS 執行流程圖

第三章 資料收集及分析

海流模式系統由於涵蓋範圍相當大，因此需要許多資料提供模式計算使用，包括模式地形、初始場、邊界條件及外部驅動力等，以及模式發展完成後，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，以下列出目前可供取得的資料。

資料需求

- 地形資料：ETOPO5, ETOPO2。
- 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
 - NCEP(全球範圍)、CFS(全球範圍)
- 起使條件：Levitus data、HYCOM
- 邊界條件：HYCOM
- 校驗資料：
 - 水位：氣象局海象中心、GODAS、HYCOM
 - 水溫：氣象局海象中心、GDP、GTSP、MODIS、GODAS、HYCOM
 - 鹽度：GODAS、HYCOM
 - 海流：GDP、HYCOM

地形資料使用，太平洋環流模式預定解析度為 1/3 度，使用 ETOPO5 的地形資料建置；西北太平洋預定解析度為 1/8 度，使用 EOTOP2 的地形資料建置；最小的台灣海域流場模式於明年建置，地形資料會於明年度計畫進行收集。

模式外部驅動力未來會透過氣象局提供，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 大氣模式較為足夠，在後續建置太平洋及西北太平洋環流模

時，可作為模式的驅動力，圖 3.1 及圖 3.2 為 NCEP 模式短波輻射及風速分佈圖；由於未來目標為進行預報，NCEP 模式的提供的資料並不足夠因應未來的預報時間長度，因此在預報部份會將採用 NCEP CFS 模式資料作為主要的驅動力。CFS 為 Climate Forecast System 的縮寫，每日進行預報，結果為預報未來九個月的月平均值，其資料共分為三個部份，第一部份為氣壓層資料，包含風速、氣壓、氣溫...等資料，資料解析度為 2.5 度，預報範圍為全球尺度；第二部份為通量資料，包括海表面熱通量、降雨量、蒸發量...等資料，資料範圍與氣壓層資料相同，資料解析度為 1.875 度；最後一部分資料為海洋資料，包括 40 層 3 維海流、溫度及鹽度，資料解析度為 2 度(經度)x 1 度(緯度)，資料範圍同樣為全球。最小尺度台灣海域海流模式則預計使用氣象局的 NFS 模式。

本海流模式預報系統最大範圍為太平洋區域，若模式初始值從零開始驅動，需要相當長的時間才有辦法達到穩定，因此利用更大尺度的模式結果放入，可以減少模式達到穩定的時間，增加預報的效率。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，資料筆數不夠密，在使用上較不方便；近幾年 HYCOM 模式發展應用增加，於 NRL 進行全球的現報模擬，資料為每日平均，由 2003 年持續至現在，網格解析度為 1/12 度，因此在資料的解析度及筆數上更為豐富，圖 3-3 至圖 3-5 為 HYCOM 全球模式 2009 年 11 月 29 日當日的表面水位、表面溫度及表面鹽度的日平均資料(取自 HYCOM 網站)，可提供太平洋環流模式起始資料。邊界條件也同步使用 HYCOM 資料進行建置；西北太平洋環流模式目前同樣使用 HYCOM 資料進行初始值及邊界建置，待未來太平洋環流模式穩定後，即可直接取用；最小層的台灣海域海流模式則由西北太平洋環流模式結果引入。

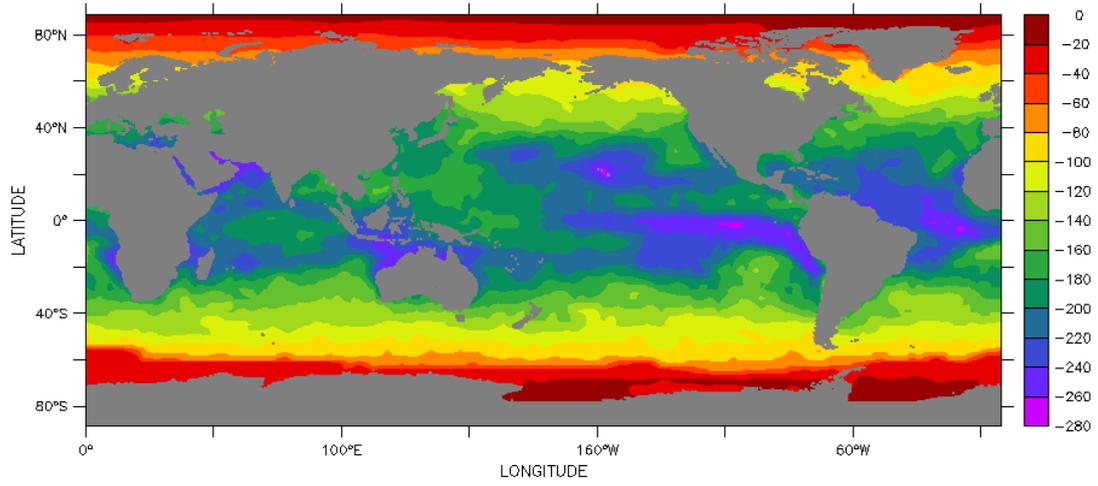
本年度主要為建置模式，並未進行模式的校驗，然明年度開始會進行三層模式的校驗，因此需要大量的觀測資料進行比對，目前模式輸出結果為水位及三維海流、溫度、鹽度場，因此實測資料分為此四部份進行收集，並且同時有面的資料及單點測站資料。

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)，圖 3-6 至圖 3-8 及為 GODAS 海表面水位、水溫及流速分佈。

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)，圖 3-9 為 2009 年 11 月 23 日前 drifter 的浮標點分佈圖；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 GTSPP(Global Temperature and Salinity Profile Program) 取得，圖 3-10 為 2009 年 11 月 23 日前 GTSPP 的點位分佈，目前共有 148125 點，圖 3-11 及為 GTSPP 點位之水溫垂直分佈。

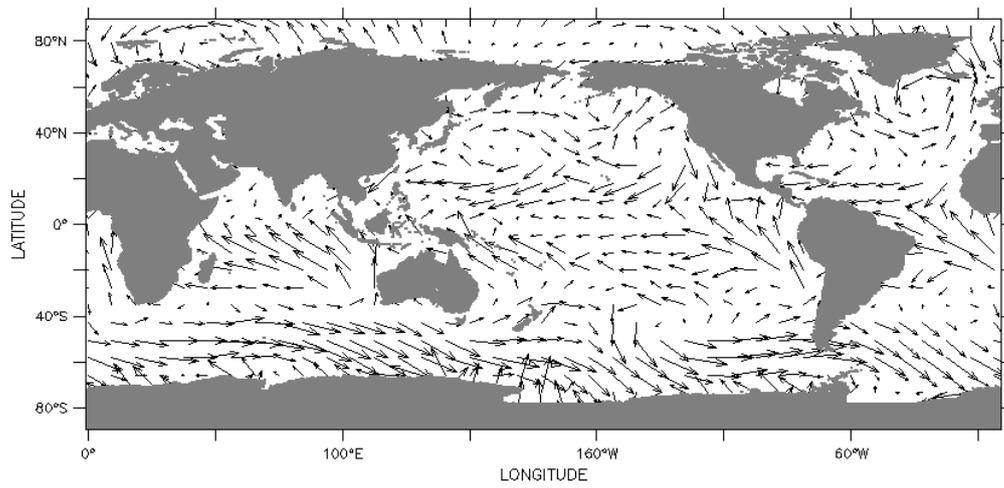
表 3-1 氣象局提供模式之可用資料(氣象局資訊中心)

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



Monthly Mean of Net Shortwave Radiation Flux (W/m^2)

圖 3-1 2009 年 9 月短波輻射月平均分佈圖



Monthly Mean of Wind Speed(m/s)

圖 3-2 2009 年 10 月風速月平均分佈圖

SSH date: Nov 28, 2009 00Z 90.8

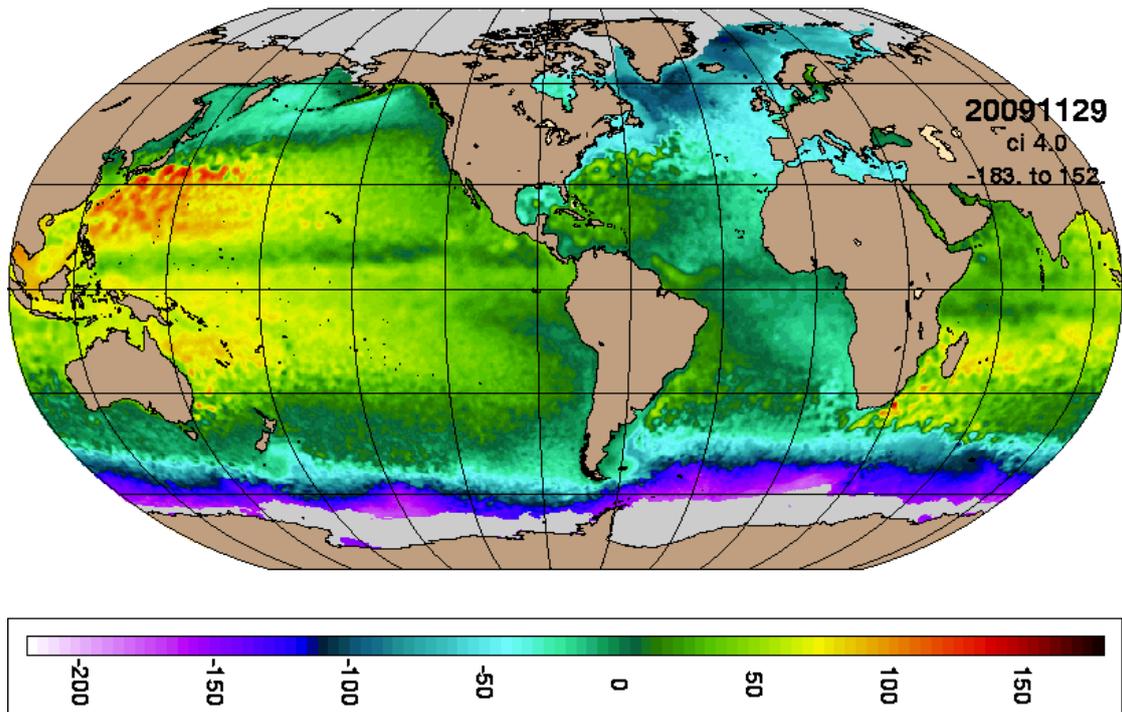


圖 3-3 2009 年 11 月 28 日 HYCOM 全球模式日平均表面水位分佈圖

(HYCOM 網頁提供)

SSS date: Nov 28, 2009 00Z 90.8

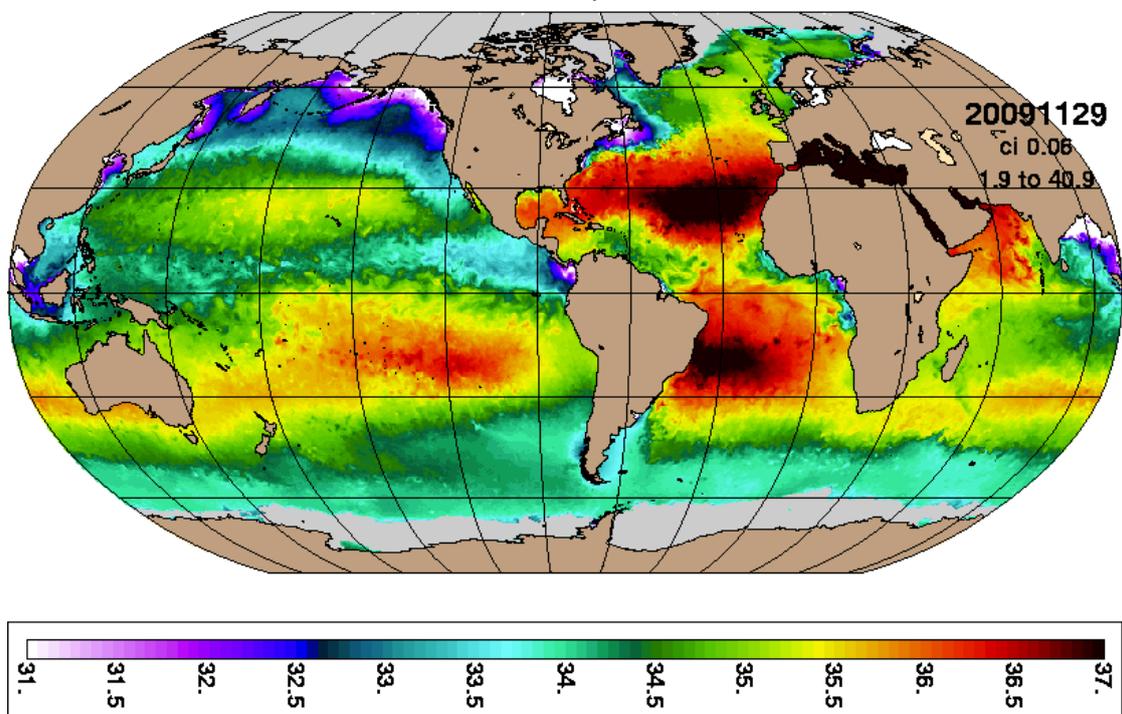


圖 3-4 2009 年 11 月 28 日 HYCOM 全球模式日平均表層鹽度分佈圖

(HYCOM 網頁提供)

SST date: Nov 28, 2009 00Z 90.8

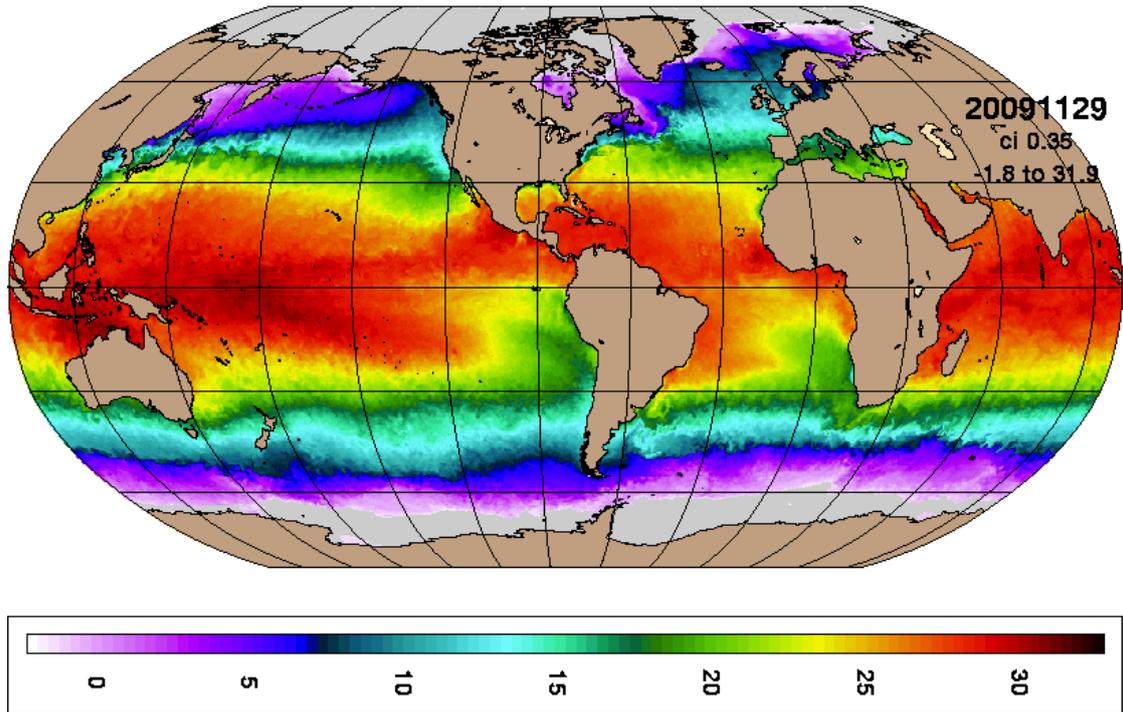


圖 3-5 2009 年 11 月 28 日 HYCOM 全球模式日平均表層溫度分佈圖
(HYCOM 網頁提供)

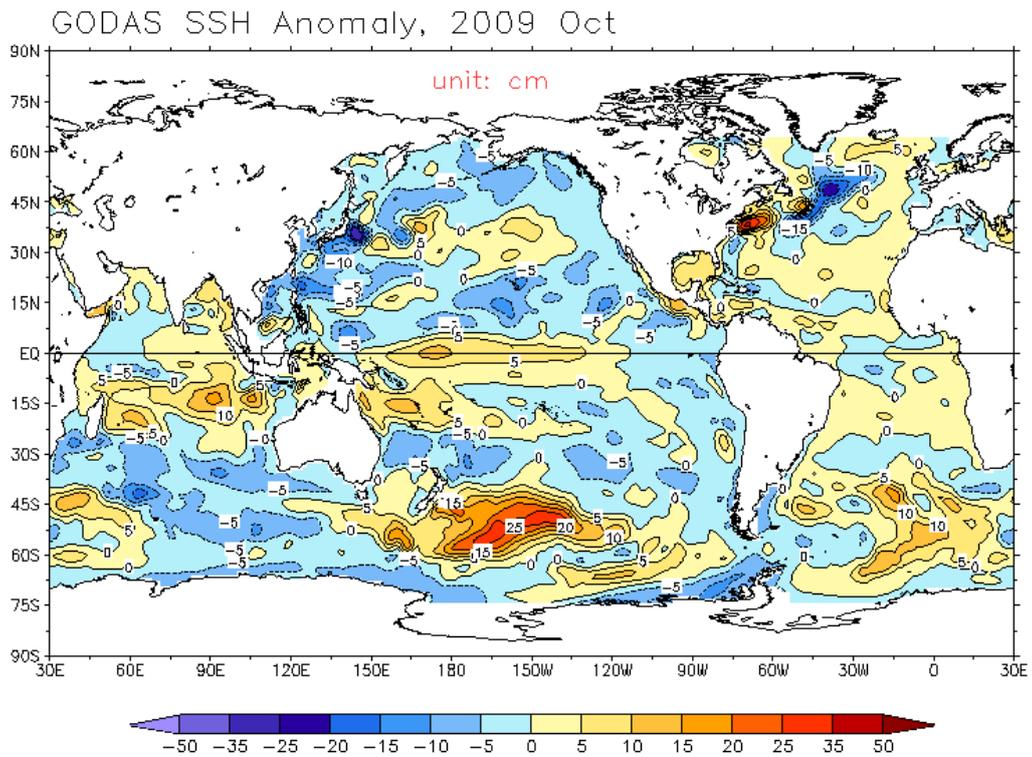


圖 3-6 2009 年 10 月 GODAS 表面水位月平均分佈圖(GODAS 網頁)

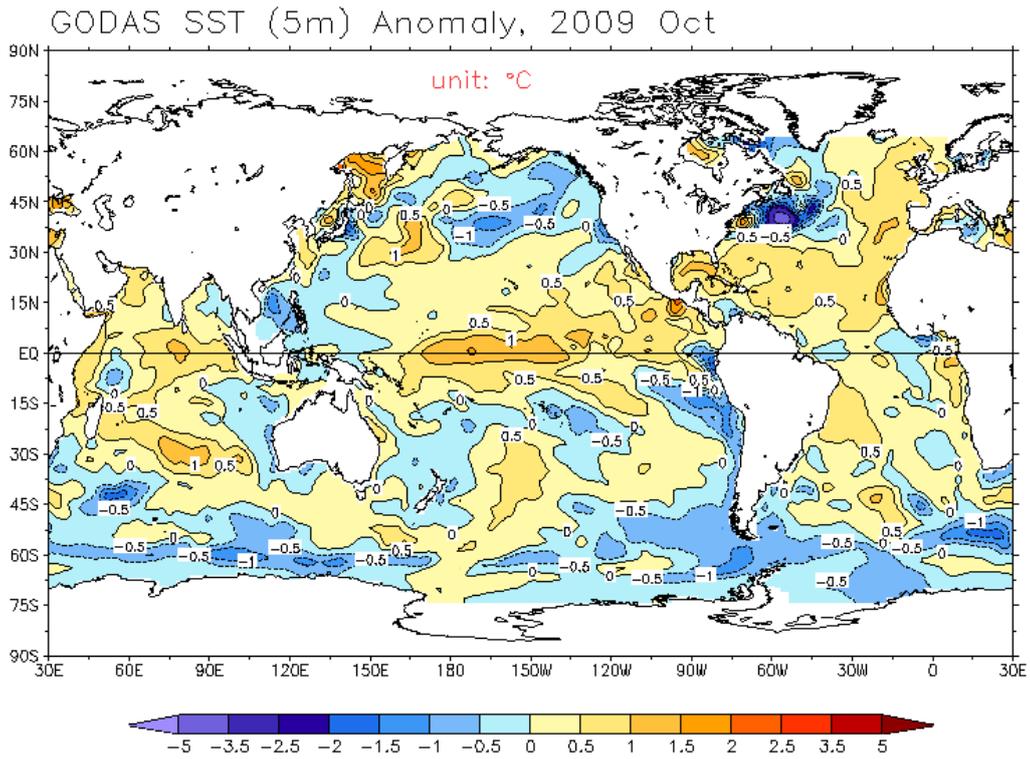


圖 3-7 2009 年 10 月 GODAS 表層水溫月平均分佈圖(GODAS 網頁)

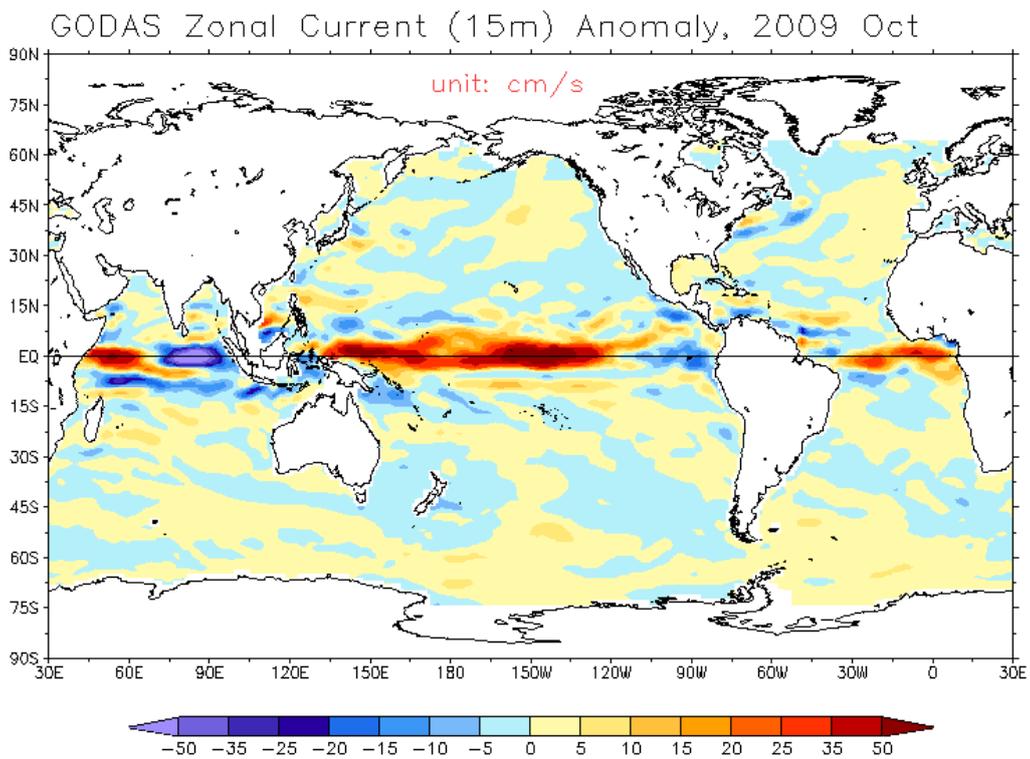


圖 3-8 2009 年 10 月 GODAS 表層流速月平均分佈圖(GODAS 網頁)

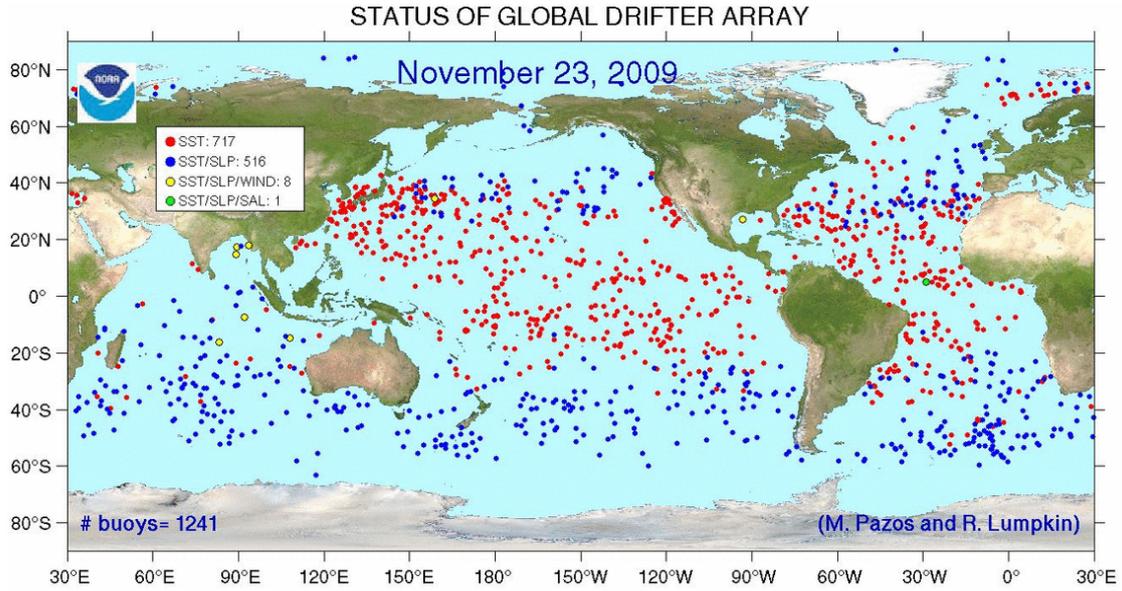


圖 3-9 2009 年 11 月 23 日前 drifter 浮標點分佈

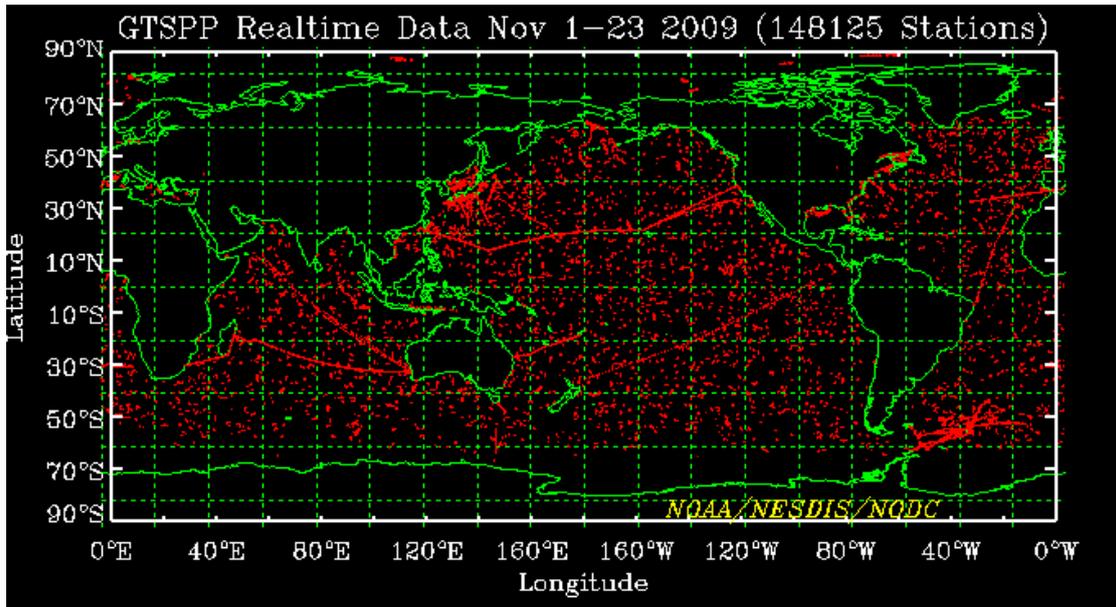


圖 3-10 2009 年 11 月 23 日前 GTSPPP 點位分佈

LONGITUDE : 173.7E
LATITUDE : 45N
TIME : 24-MAY-2009 22:05
DATA SET: 7094020
Global Temperature-Salinity Profile Program Data

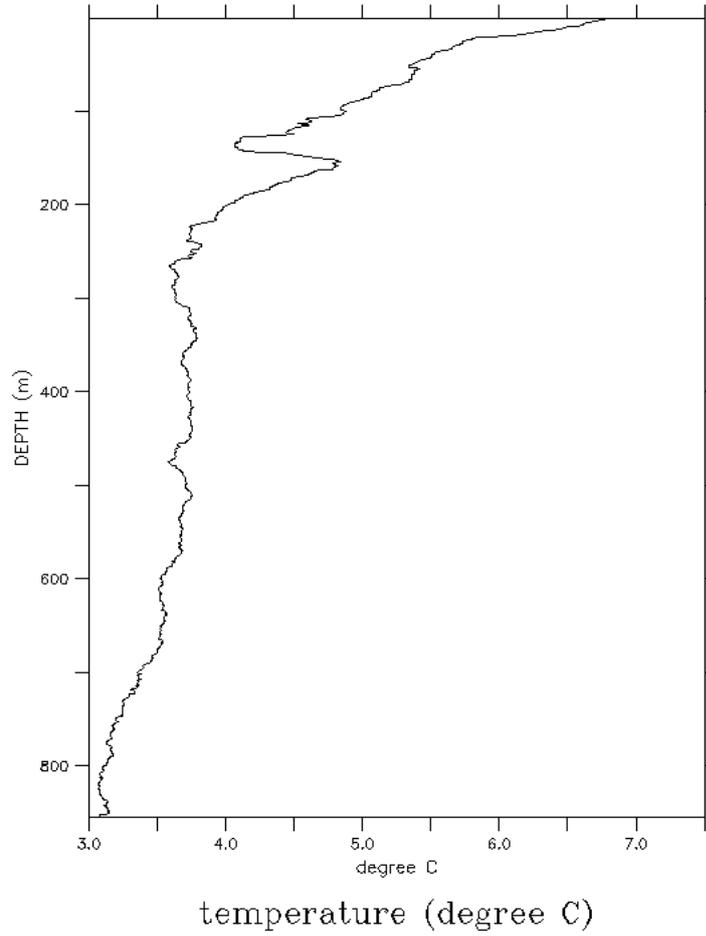


圖 3-11 GTSP 測站垂直水溫分佈

第四章 太平洋環流模式(OCM1)

依照海洋環流模式架構，本年度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。

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 40 秒，2 維時間步長則為 2 秒。

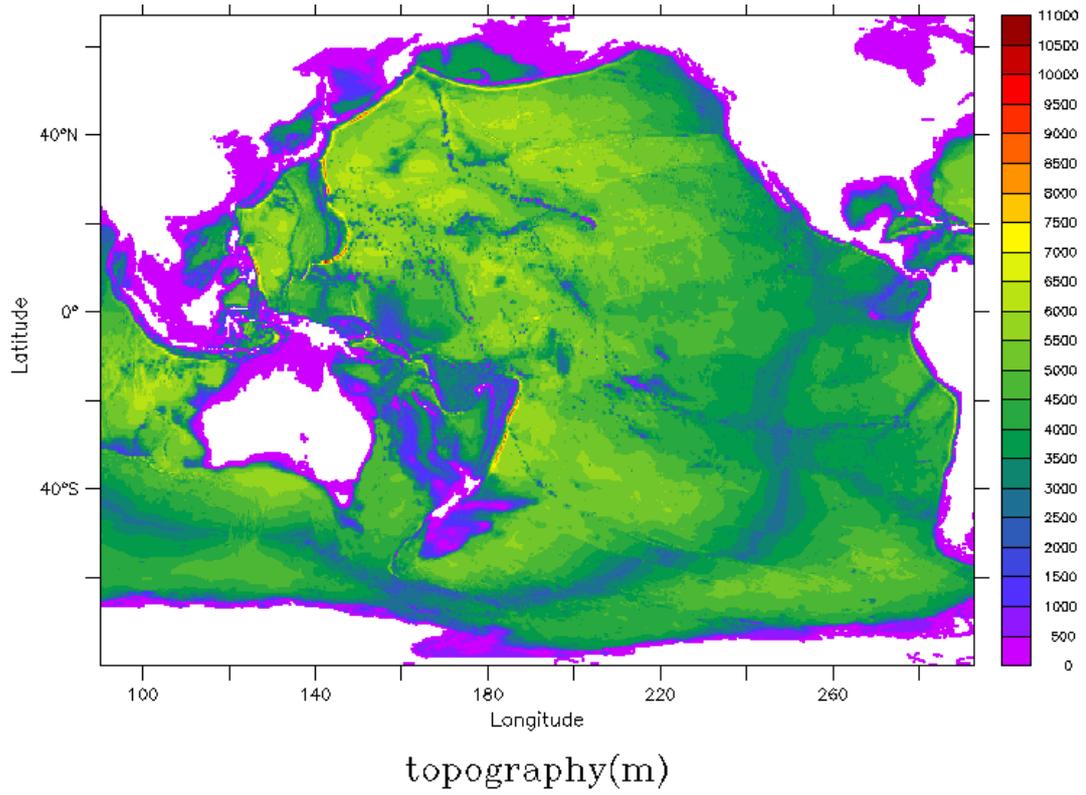


圖 4.1-1 太平洋環流模式範圍地形圖

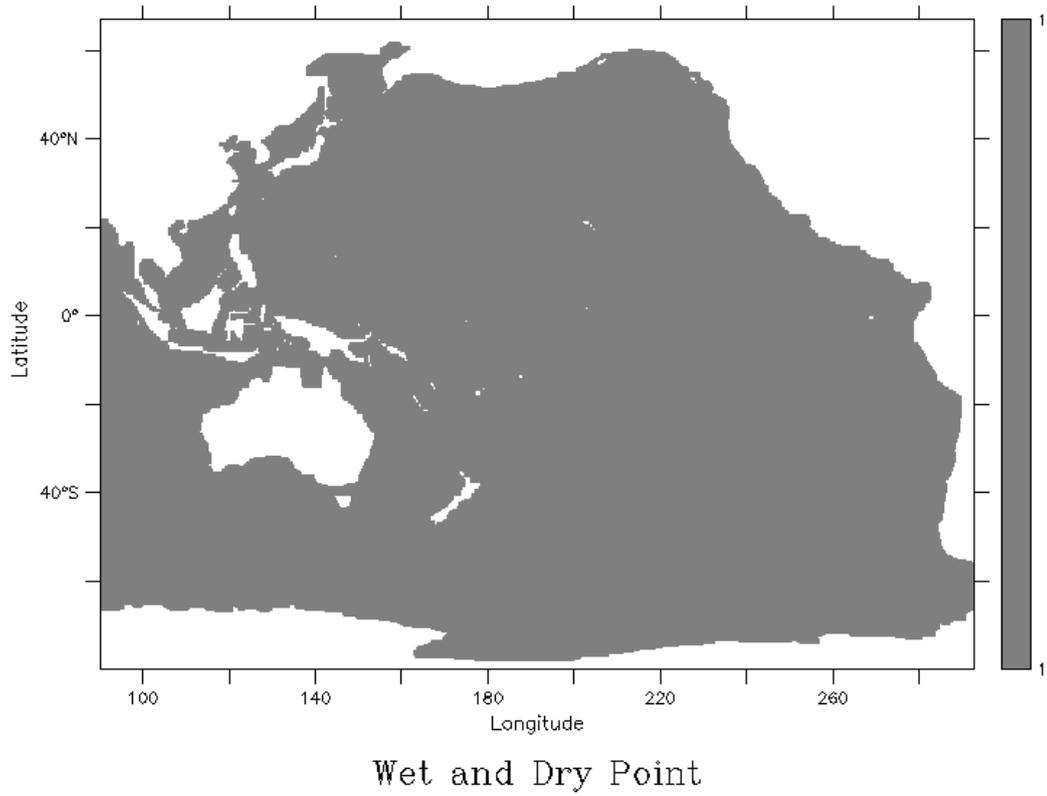


圖 4.1-2 太平洋環流模式計算點(濕點)配置

4.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力

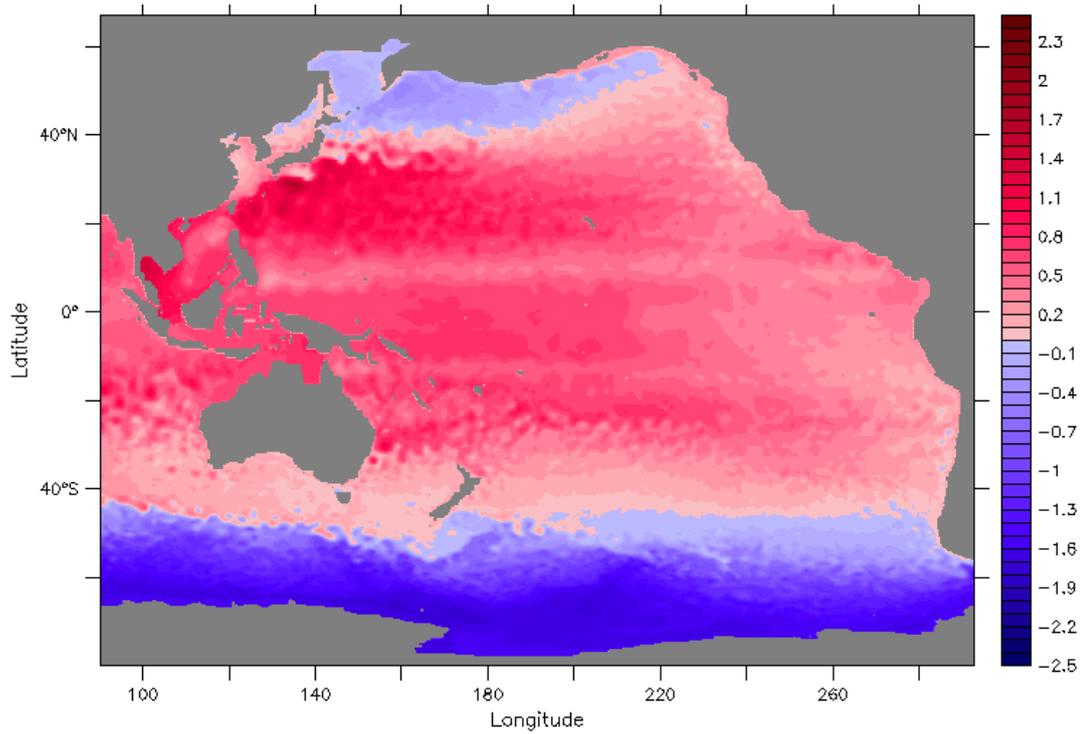
由於太平洋模式範圍相當大，初始條件若從零開始運算，需要相當長的時間才有辦法達到模式穩定，為了加快模式穩定的時間，因此目前使用 HYCOM 全球模式(解析度為 1/12 度)計算結果(日平均值)作為太平洋環流模式的初始條件，使用資料為水表面高度、三維流速、溫度及鹽度資料，如圖 4.2-1 至圖 4.2-4 為由 HYCOM 進行內插到太平洋環流模式計算格點的表層結果與 HYCOM 原始資料的表層結果比較，時間為 2003 年 1 月 1 日凌晨 1 點，圖中瞭解本團隊使用的內插程式做出來的初始場結果，與實際的 HYCOM 資料吻合，水文資料的特性及趨勢也都有保留下來。表面水位變化介於 2.5 公尺內，於兩極區有較低的水位分佈，南極區域又較北極區來的低(接近 -2.2 公尺)，水位最高的部份於赤道兩側至南北緯 30 度處，大約 2 公尺，其餘區域則在正負 1 公尺內。水溫的部份，在南北緯 30 度內，水溫最溫暖，大約 30 度附近，隨著緯度增加，水溫漸漸降低，至極區降到 0 度以下。海表面鹽度則大部分區域界很接近，僅在西邊界北部區域有較低的鹽度(約 24 附近)，以及靠近南美區洲區域有極大值的產生(約 36 附近)。表面海流分佈，大部分海域皆不到 1 公尺/秒，僅在黑潮路徑(由菲律賓東部往北延伸經過台灣東部，抵達日本後向東流至中太平洋區域)及澳洲與南極之間有較大的海流流速分佈。

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，圖 4.2-5 至圖 4.2-8 為 OCM1 模式使用的溫度及鹽度邊界條件與 HYCOM 原始資料比較圖，目前邊界條件為使用月平均場輸入，邊界溫鹽剖面除了 HYCOM 在靠岸部份因為解析度較細，而有不同水深的水深變化外，整體的溫鹽剖面變化皆相同。未來會比對模式結果及參考取得的資料量，將邊界輸入的時間間隔縮短(使用日平均，每日一筆)，使邊界的影響與實際狀況更接近。

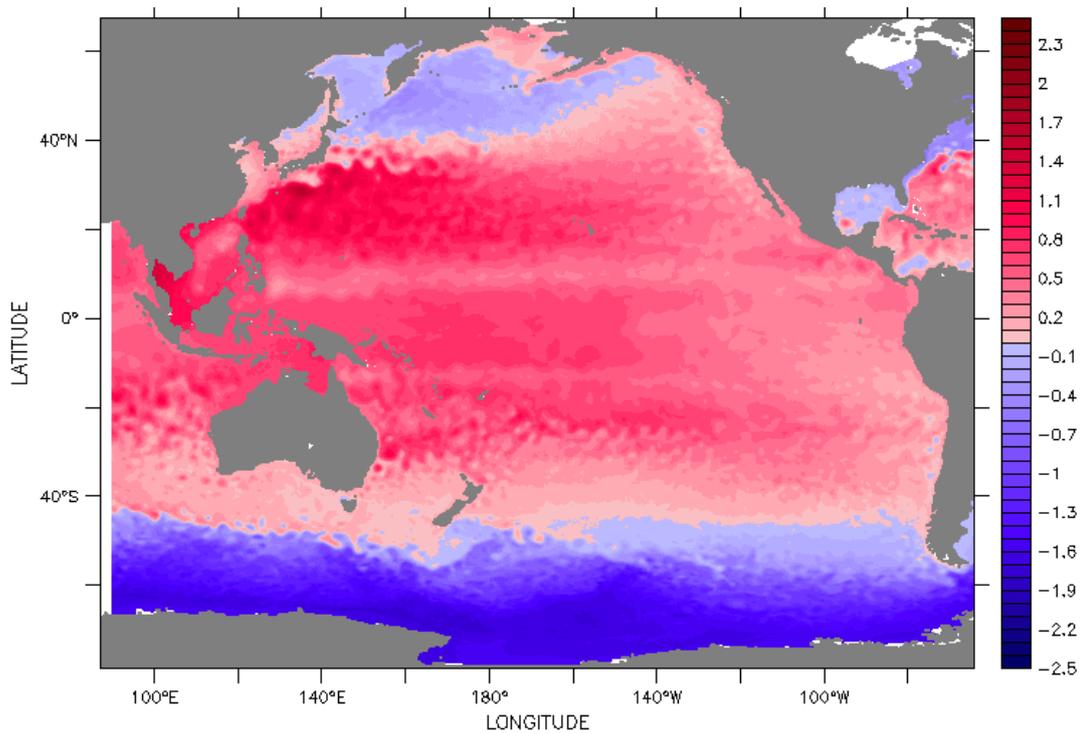
ROMS 驅動力輸入可分為兩種形式，第一種為輸入風速、氣壓、雲遮量、相對濕度、降雨量、蒸發量、短波輻射、長波輻射、海表面反射率及海表面氣溫等氣象因子，於模式內自行計算所需使用的變

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 2003 年 NCEP 重分析氣象資料(目前取得的資料為月平均值)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，圖 4.2-9 至圖 4.2-14 為輸入 OCM1 的驅動力資料，圖中展示 2003 年 1 月及 7 月的通量變化，瞭解冬季及夏季的驅動力的變化。海表面鹽度在大部分區域內沒有季節性的變化，僅在長江口及渤海灣於 7 月份的時候因淡水流量變大，所以會有較低鹽度區的產生。海表面水溫於緯度 30 度內的暖水帶水溫變化不大，而在此區之外，水溫就會隨著太陽直射區域變化，1 月份太陽直射南半球，因此南半球高緯度區域冷水團範圍較小，北半球高緯度水溫較低；7 月份太陽直射北半球，北半球高緯度區域水溫明顯增高，南半球高緯度區域冷水團明顯變大。海表面風剪力分佈，在 1 月的時候，北半球的風剪力較 7 月時候大，特別是在高緯度地區及南海地區；而南半球分佈則相反，7 月份南極區產生大風區，1 月份風速明顯變小。海表面淨熱通量與短波輻射通量變化趨勢相同，1 月份於南半球為熱量流入，北半球為熱量流出，7 月份則相反，北半球為熱量流入，南半球為熱量流出。海表面淡水通量，1 月份於赤道及高緯度區為降雨量大於蒸發量，7 月份則北半球大部分區域轉為降雨大於蒸發量。目前使用月平均的驅動力，對於氣象條件的反應立即性，未來會增加時間上的密度(使用日平均資料，每日一筆或每六小時一筆資料)。

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，建議可使用 NCEP Climate Forecast System(CFS)氣候預報資料，作為未來模式預報時期的驅動力，此資料為每天進行預報，預報未來九個月的時間，缺點為僅產生月平均值資料，因此對於後續 OCM1 模式上線預報所需使用的驅動力資料，仍需與氣象局進行更進一步的討論。



Sea Surface Height(m)



Sea Surface Height(m)

圖 4.2-1 2003 年 1 月模式海表面高起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)

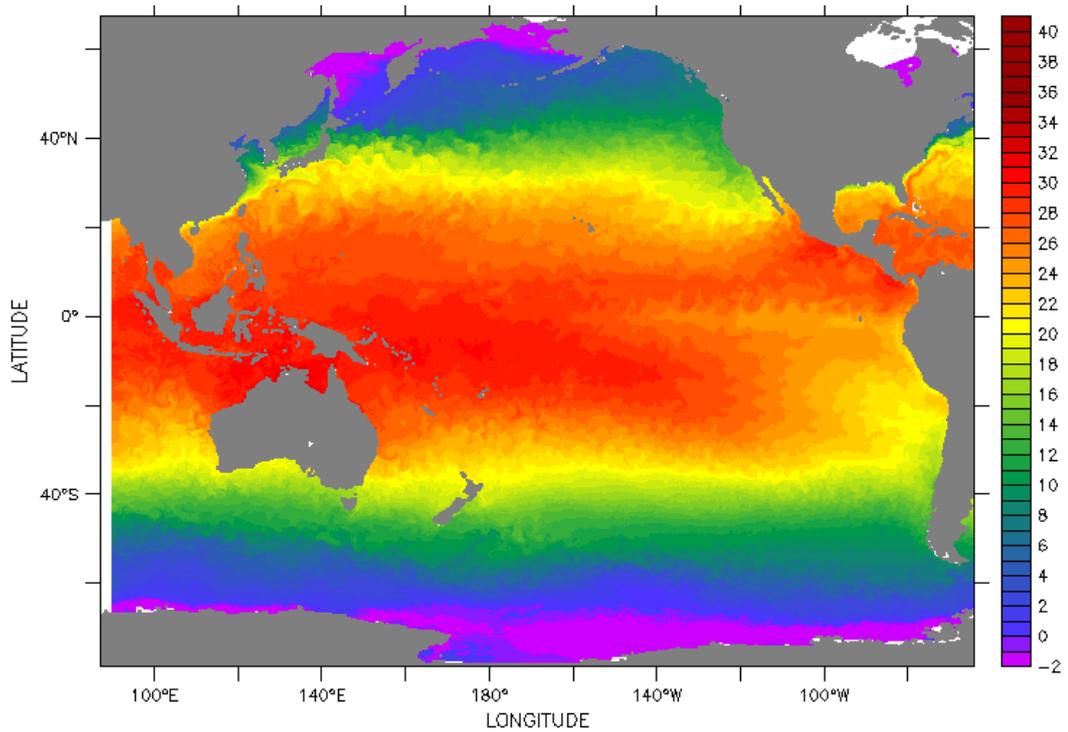
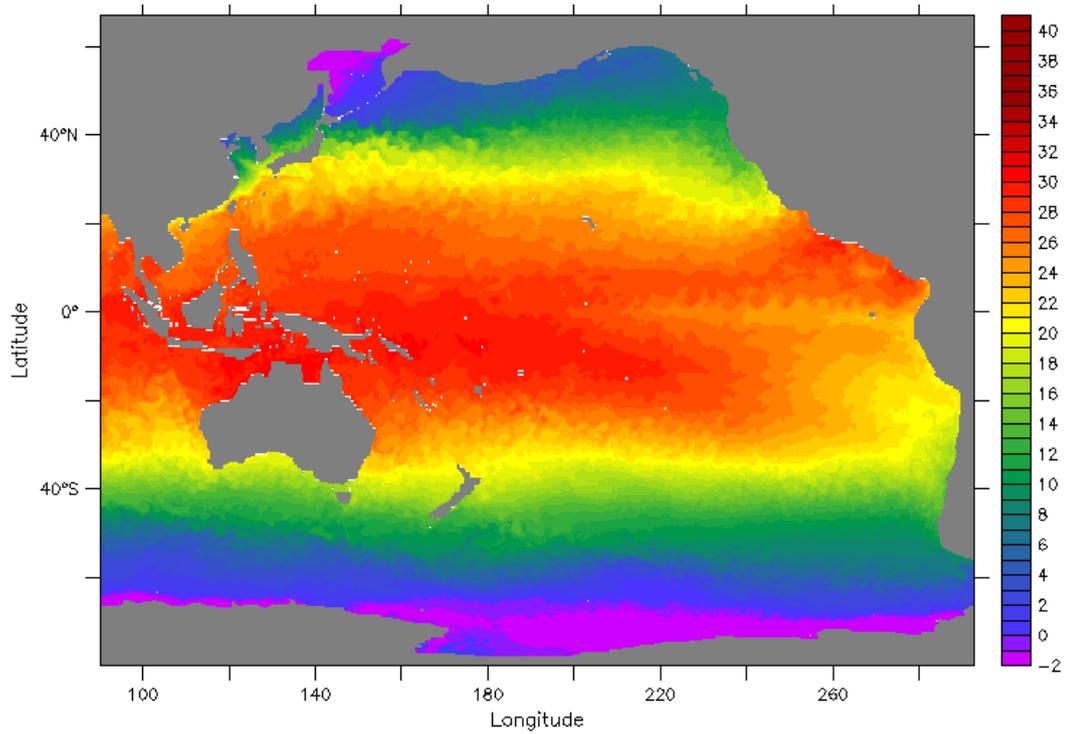
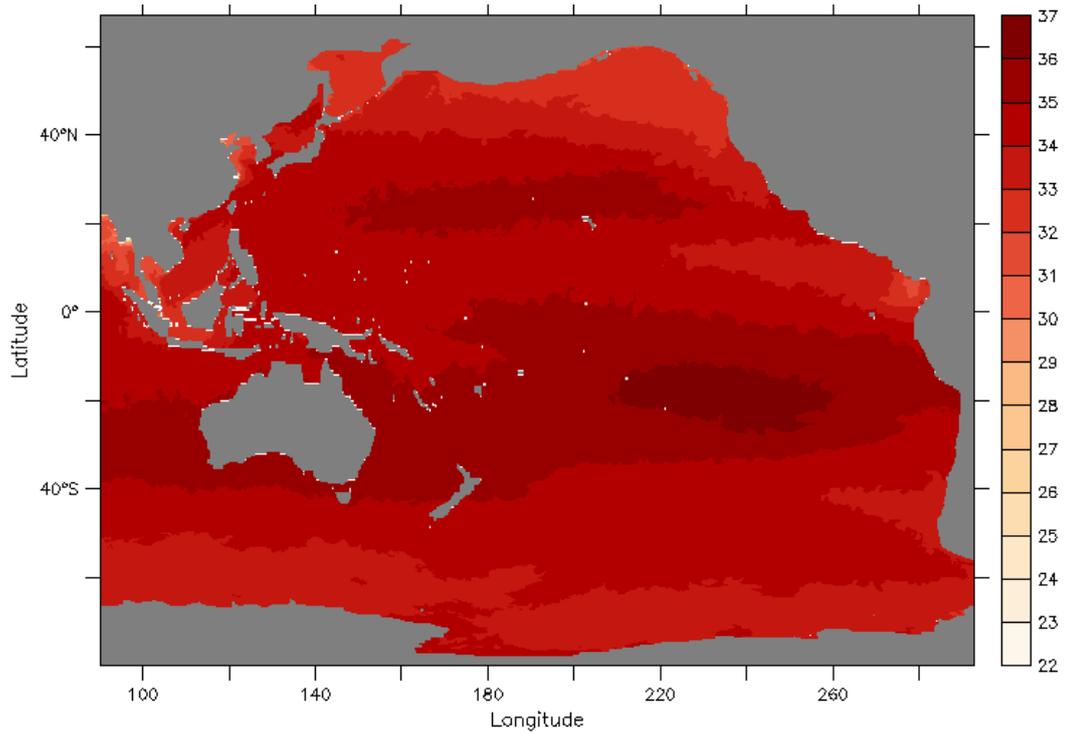
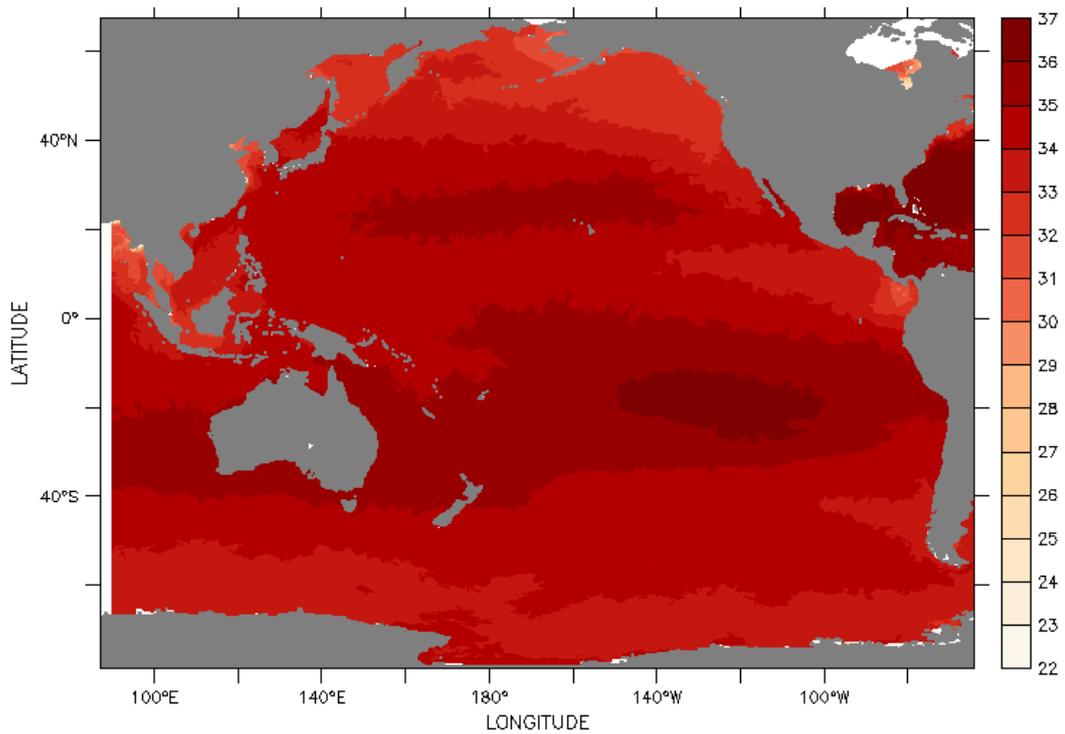


圖 4.2-2 2003 年 1 月模式海表面溫度起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)

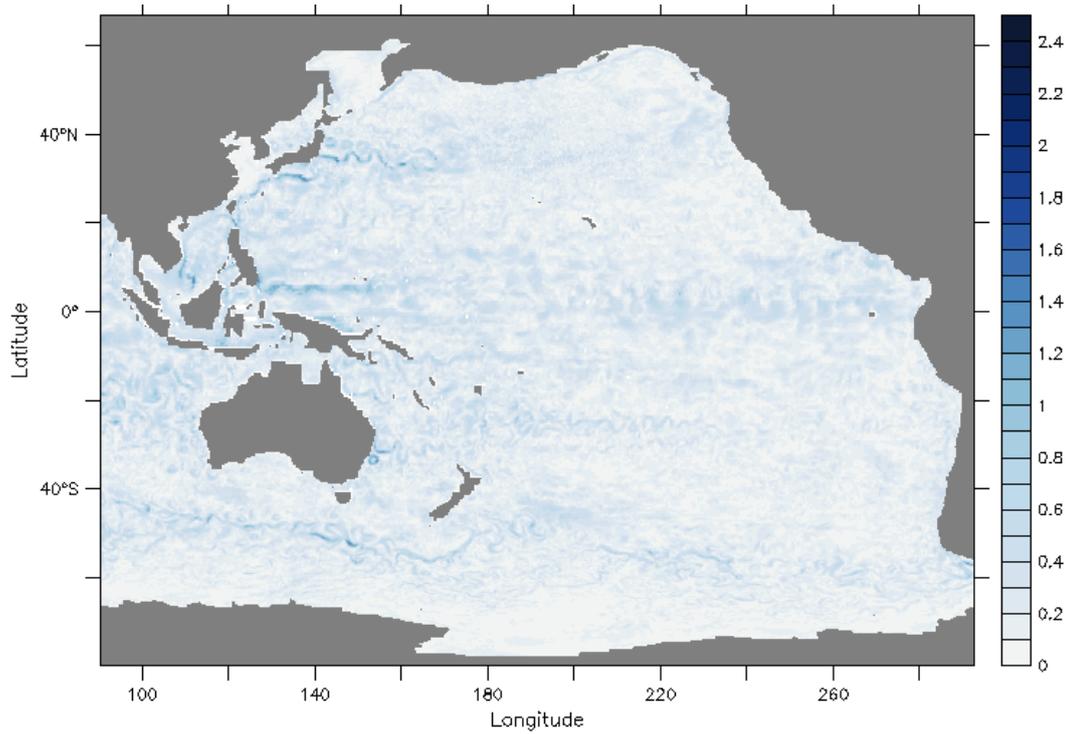


Sea Surface Salinity(psu)

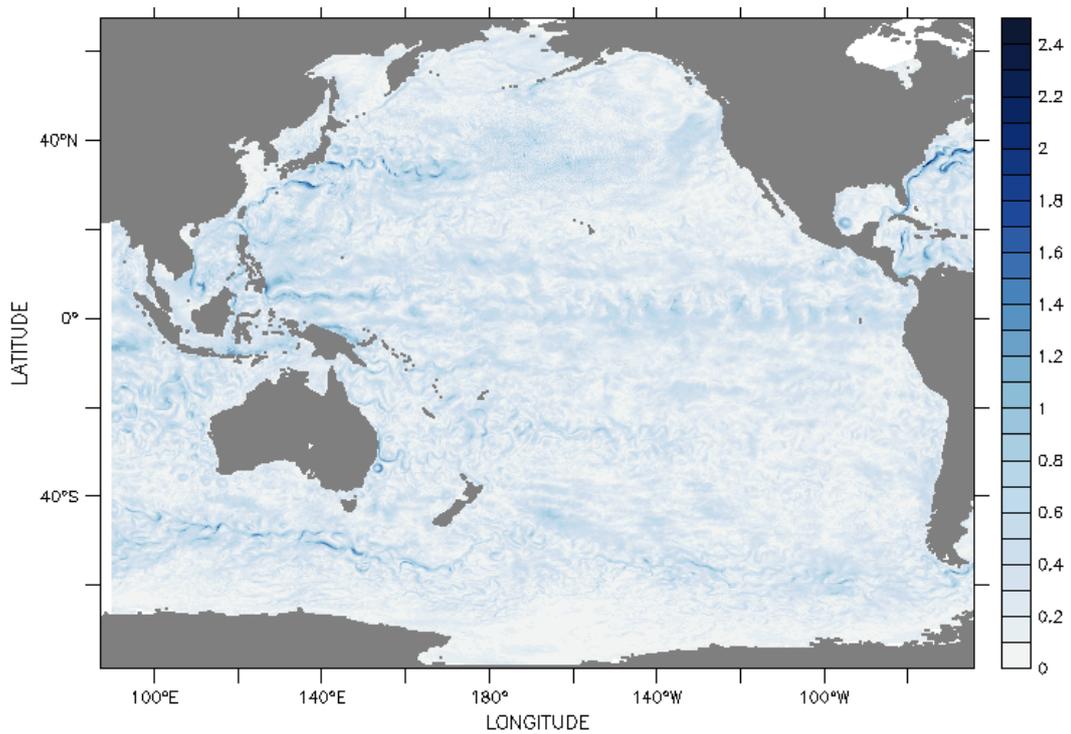


Sea Surface Salinity(psu)

圖 4.2-3 2003 年 1 月模式海表面鹽度起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)

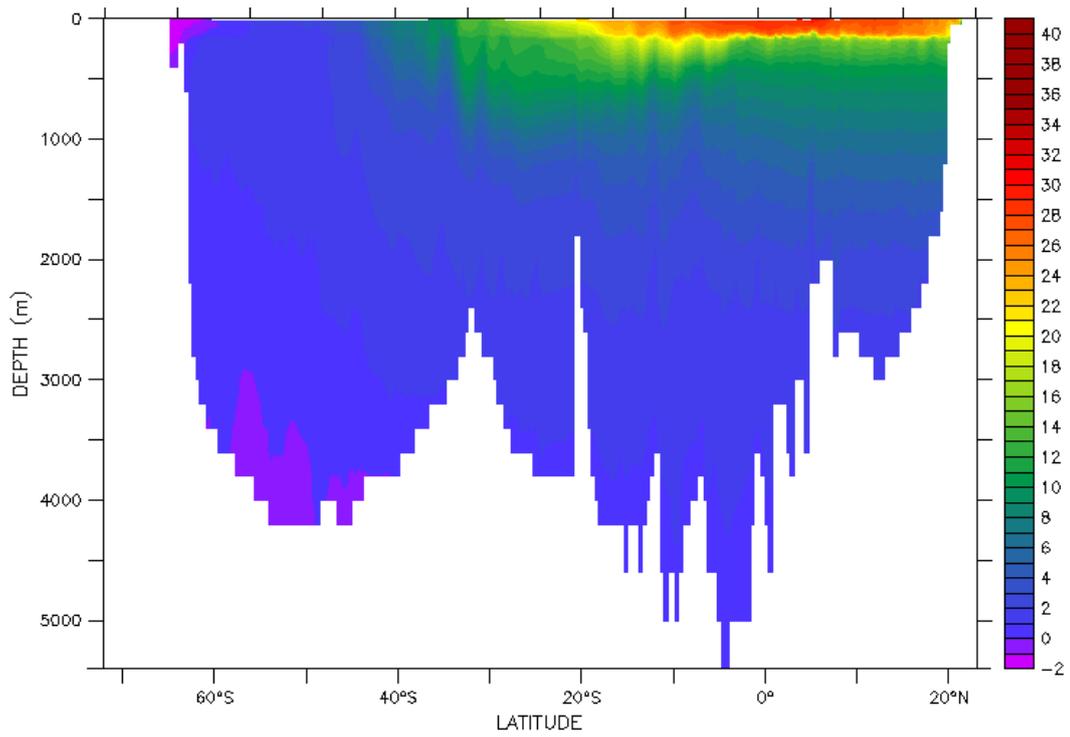


Sea Surface Velocity(m/s)

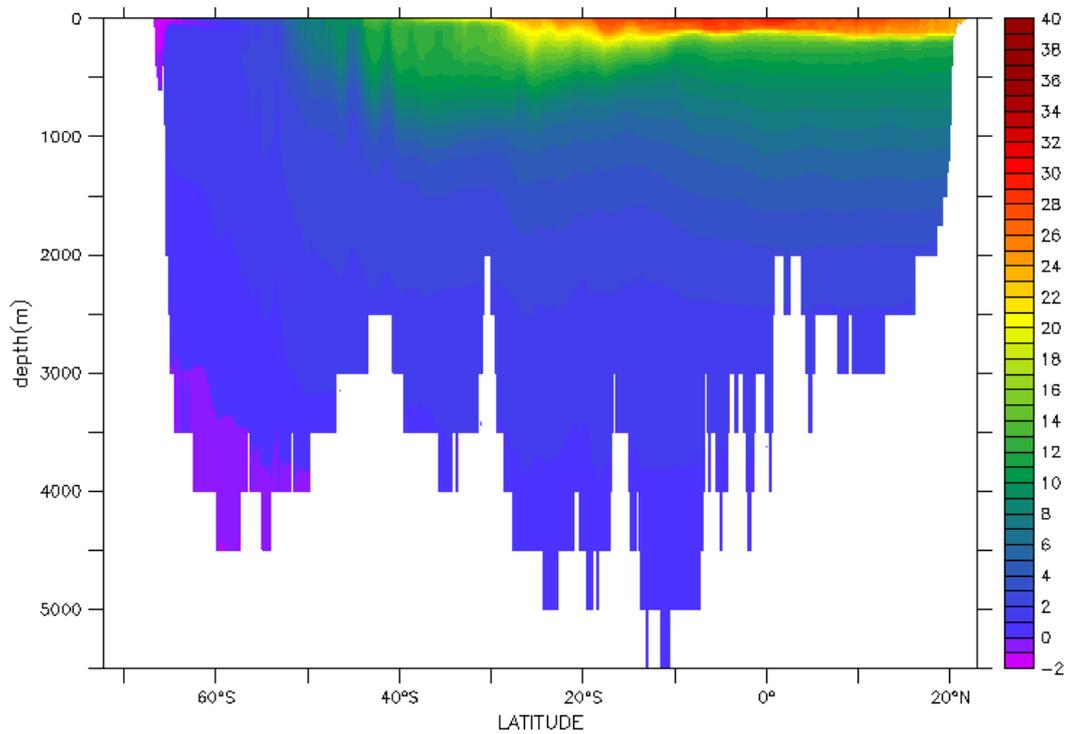


Sea Surface Velocity(m/s)

圖 4.2-4 2003 年 1 月模式海表面流速起始值分佈圖(上：OCM1，下：HYCOM)

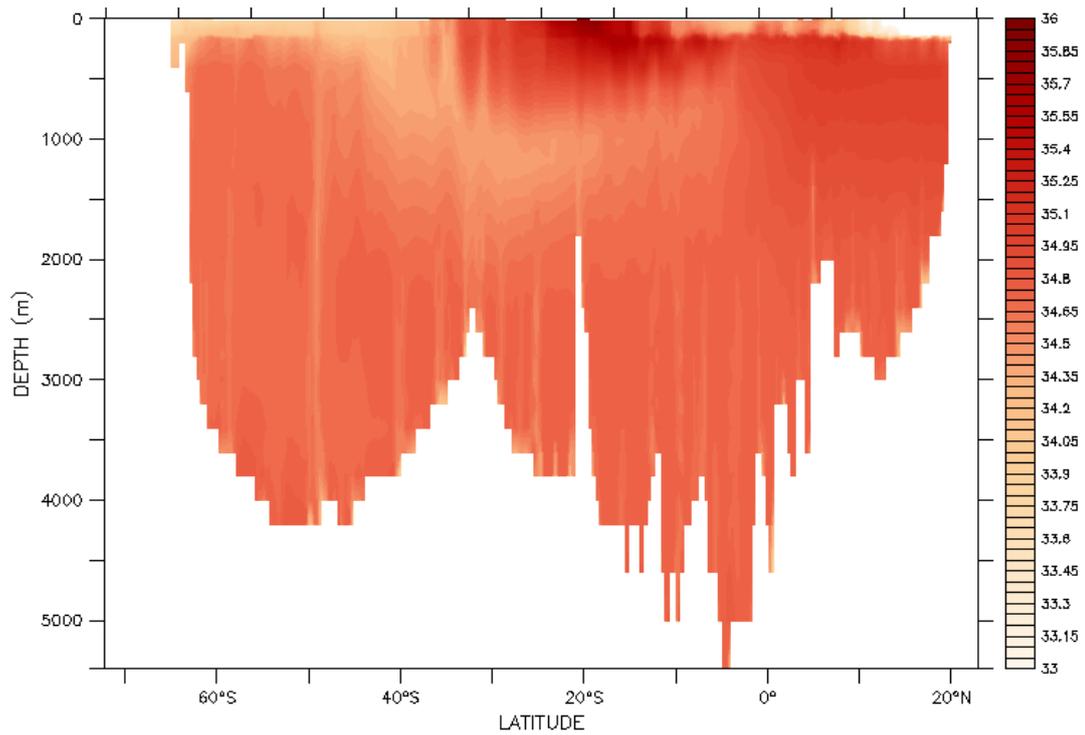


Monthly Mean of Temperature(degree)

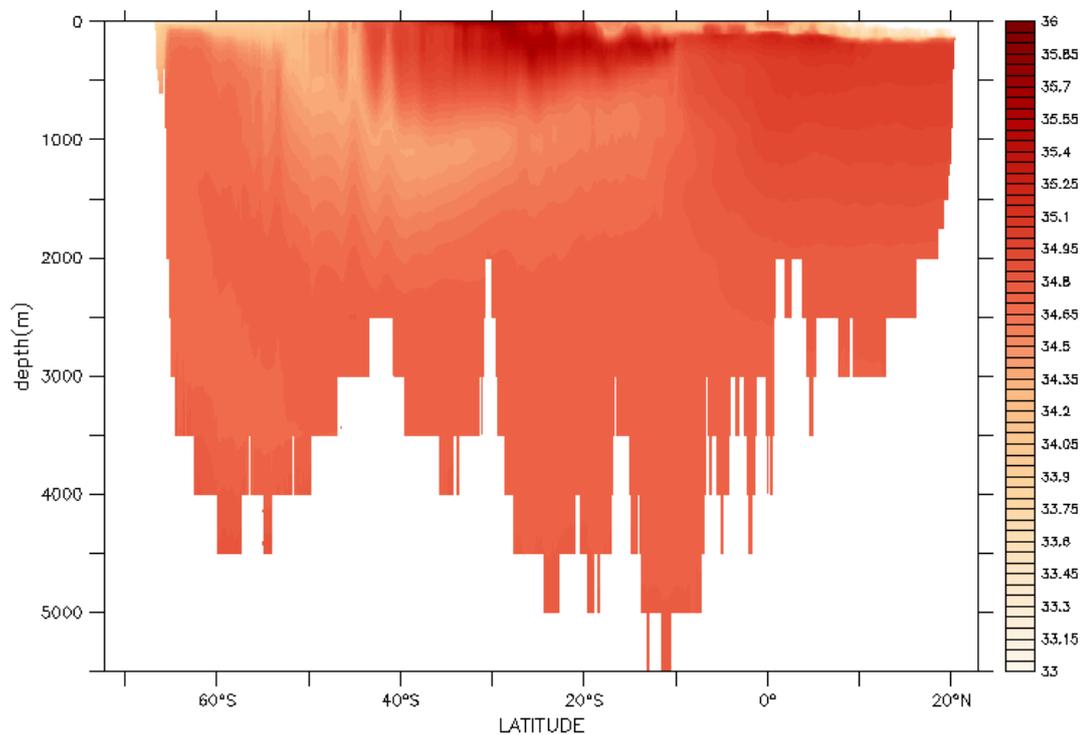


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.2-5 2003 年 1 月模式西邊界溫度分佈圖(上:OCM1,下:HYCOM)

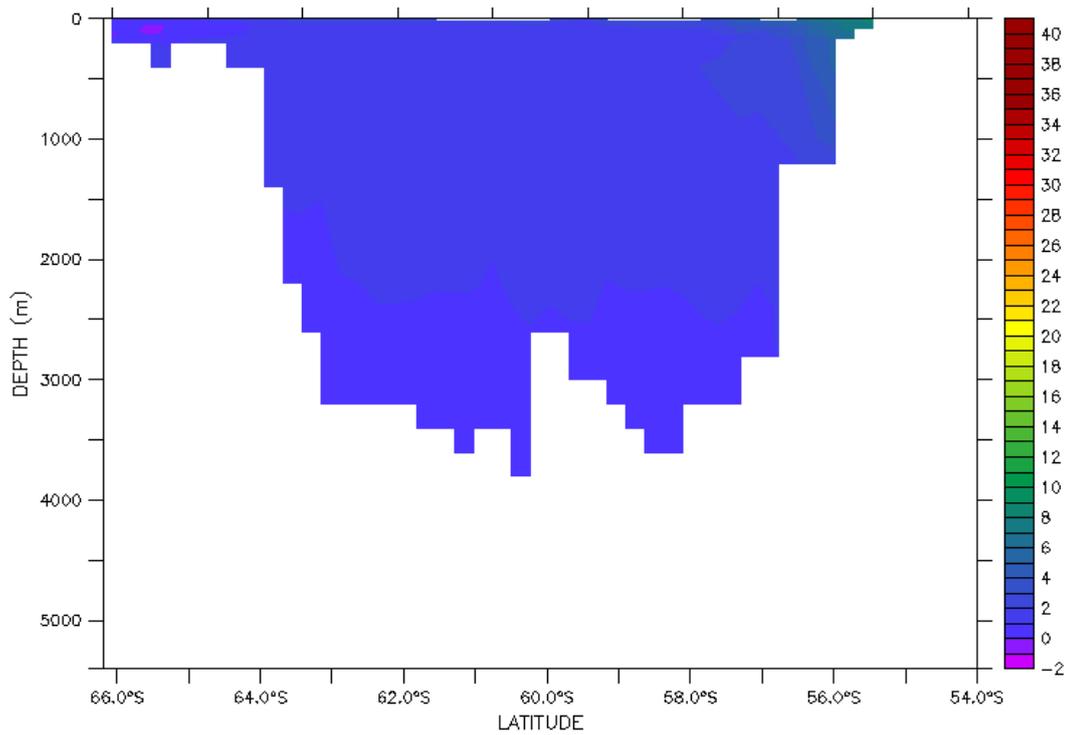


Monthly Mean of Salinity(psu)

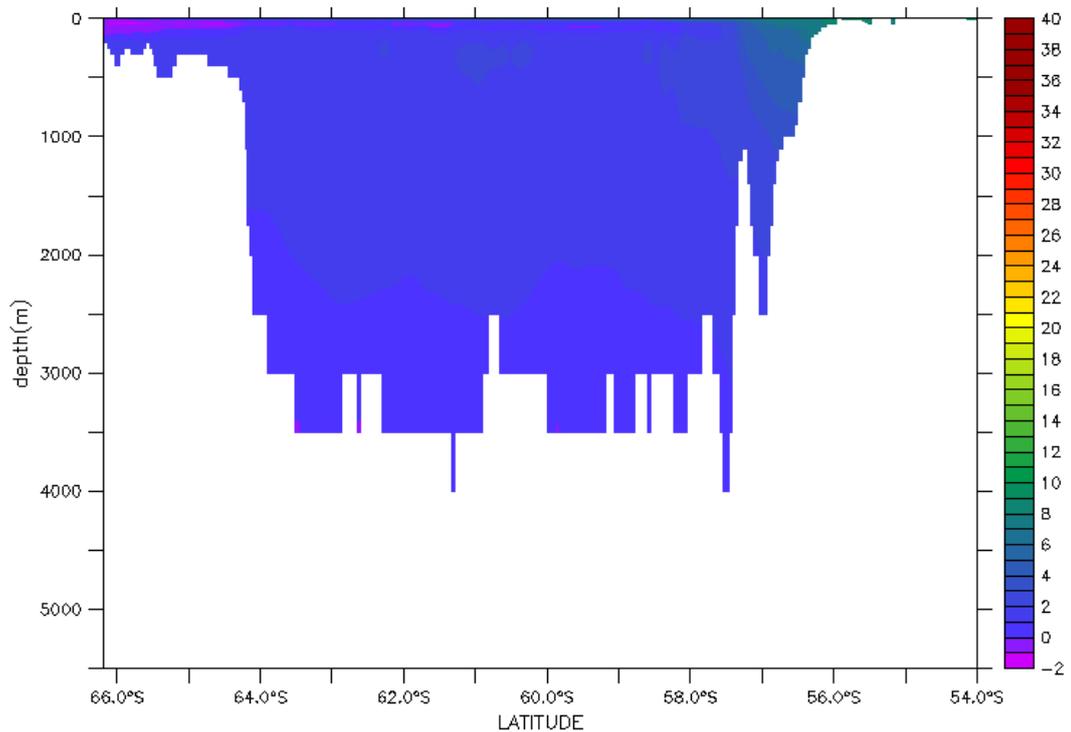


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.2-6 2003 年 1 月模式西邊界鹽度分佈圖(上:OCM1,下:HYCOM)

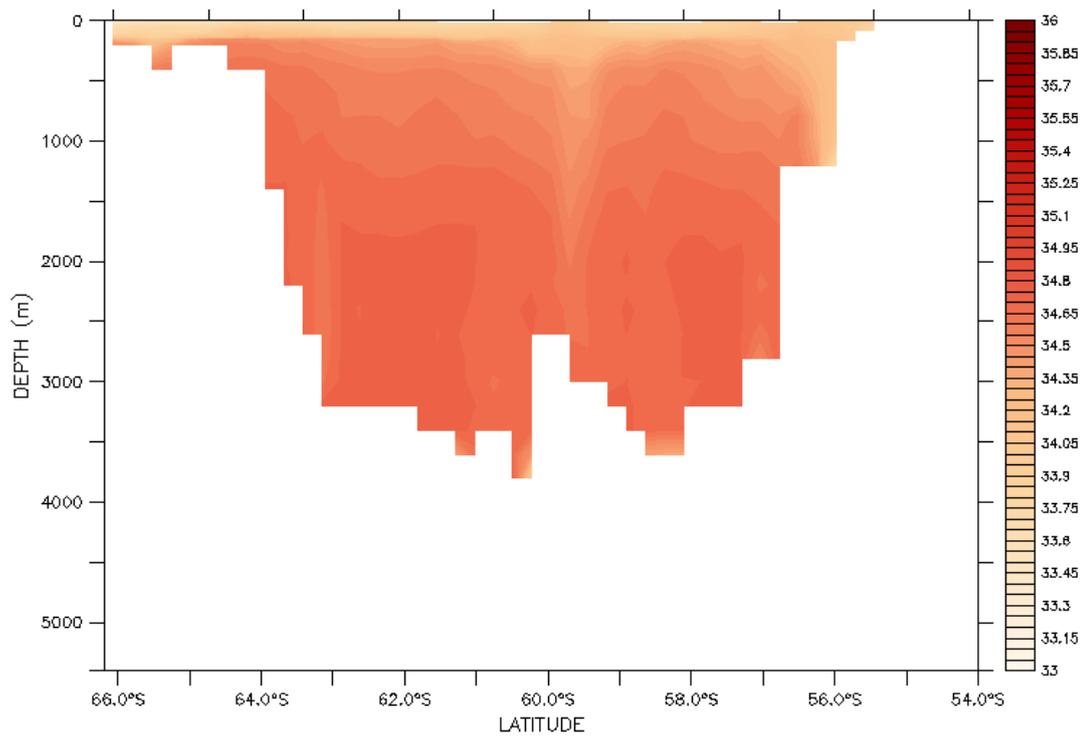


Monthly Mean of Temperature(degree)

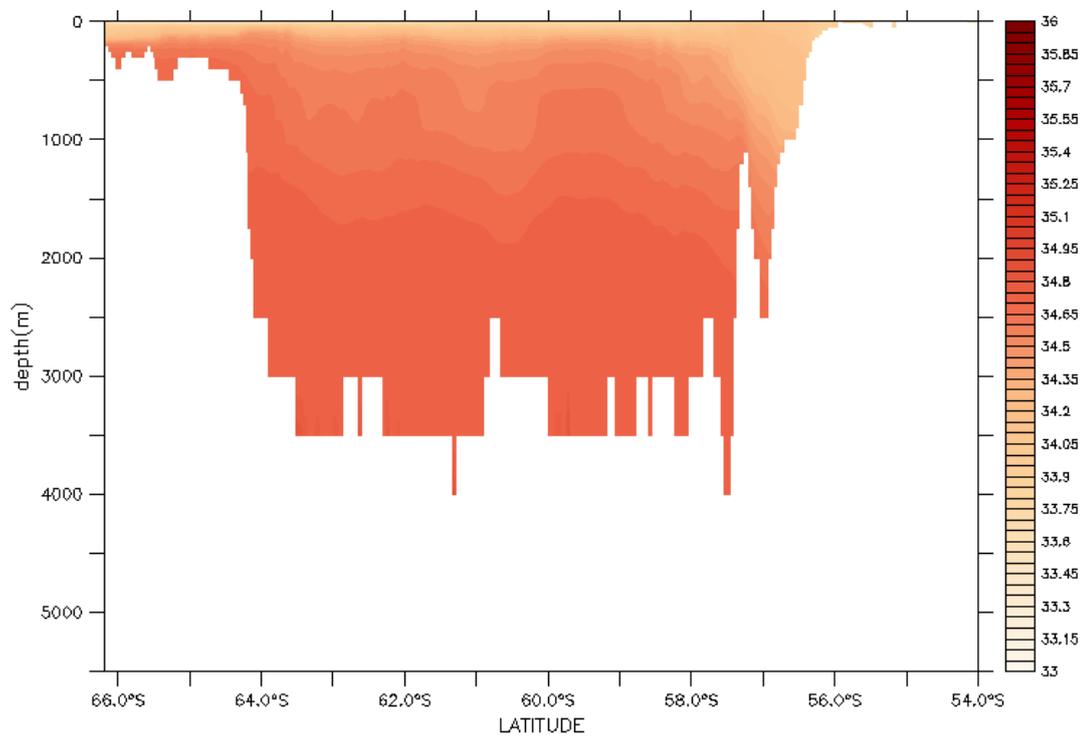


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.2-7 2003 年 1 月模式東邊界溫度分佈圖(上:OCM1,下:HYCOM)

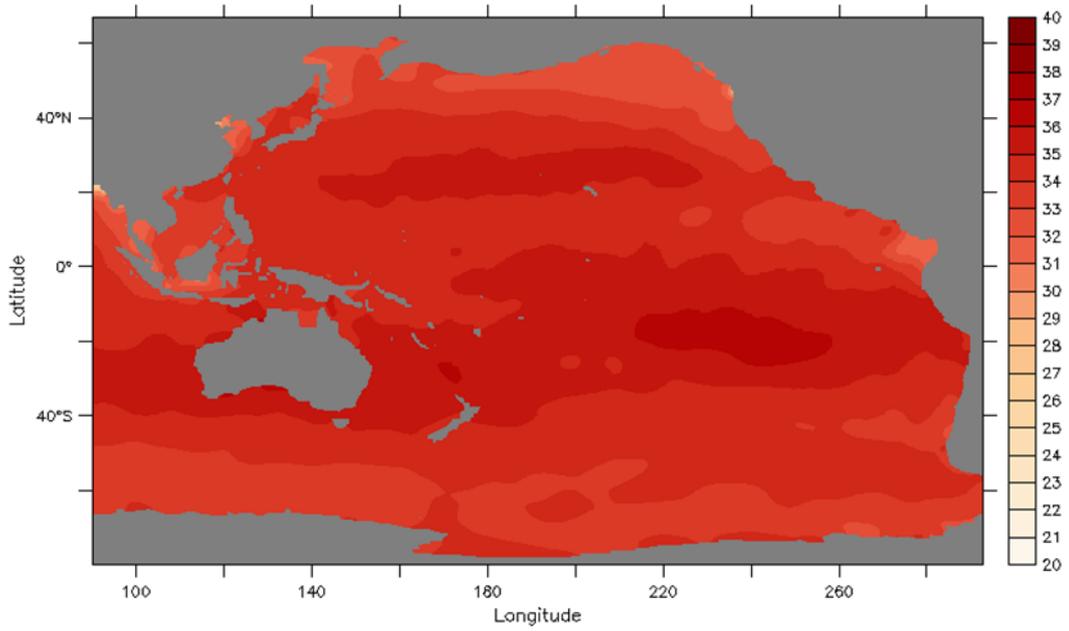


Monthly Mean of Salinity(psu)

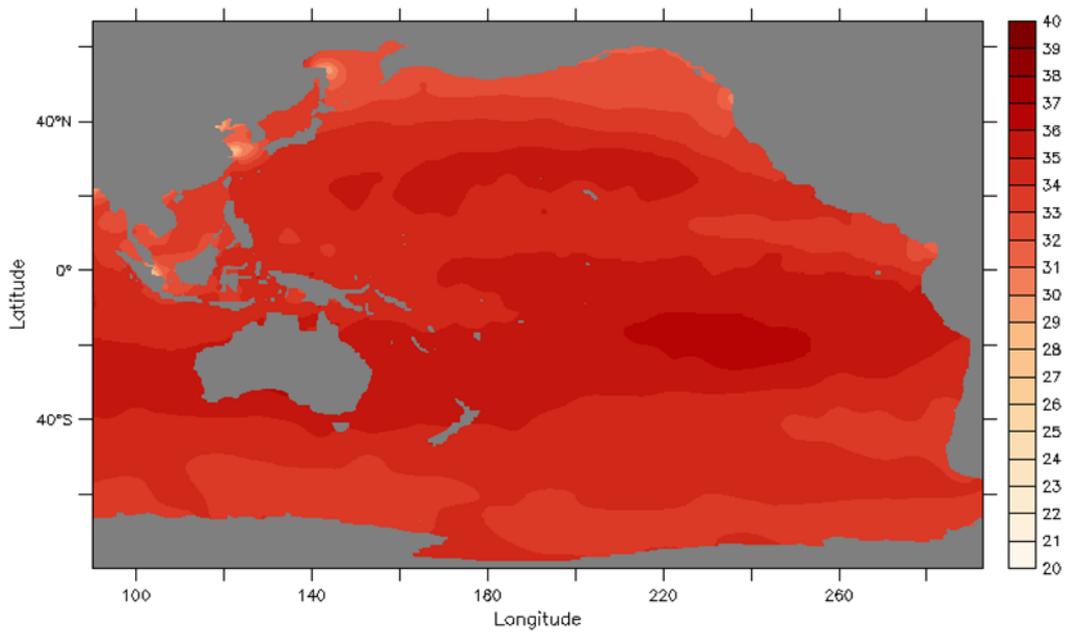


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.2-8 2003 年 1 月模式東邊界鹽度分佈圖(上:OCM1,下:HYCOM)

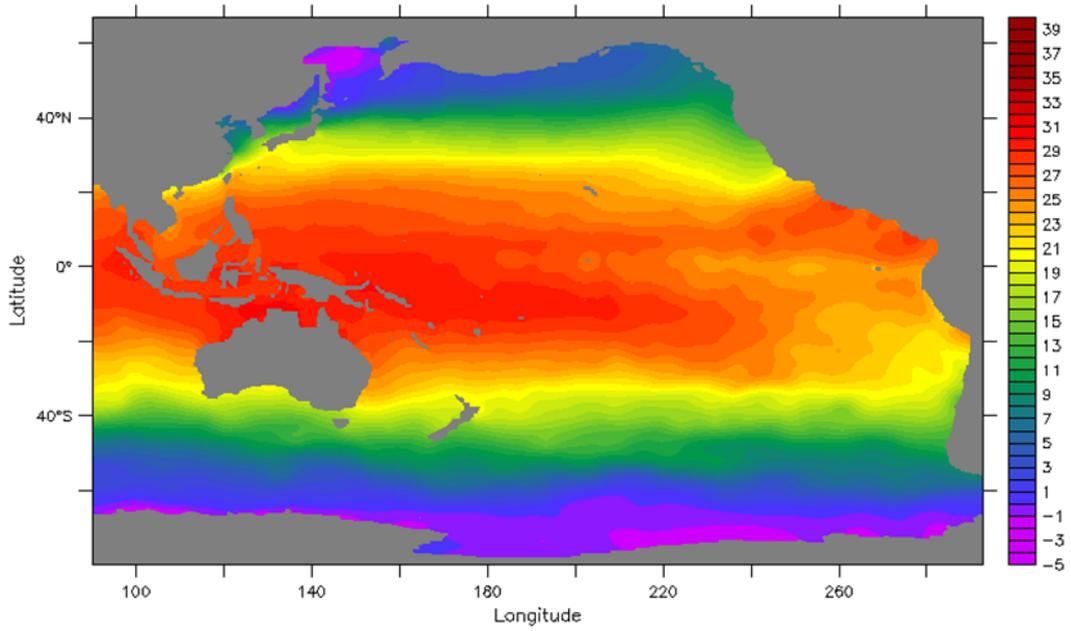


Sea Surface Salinity (psu)

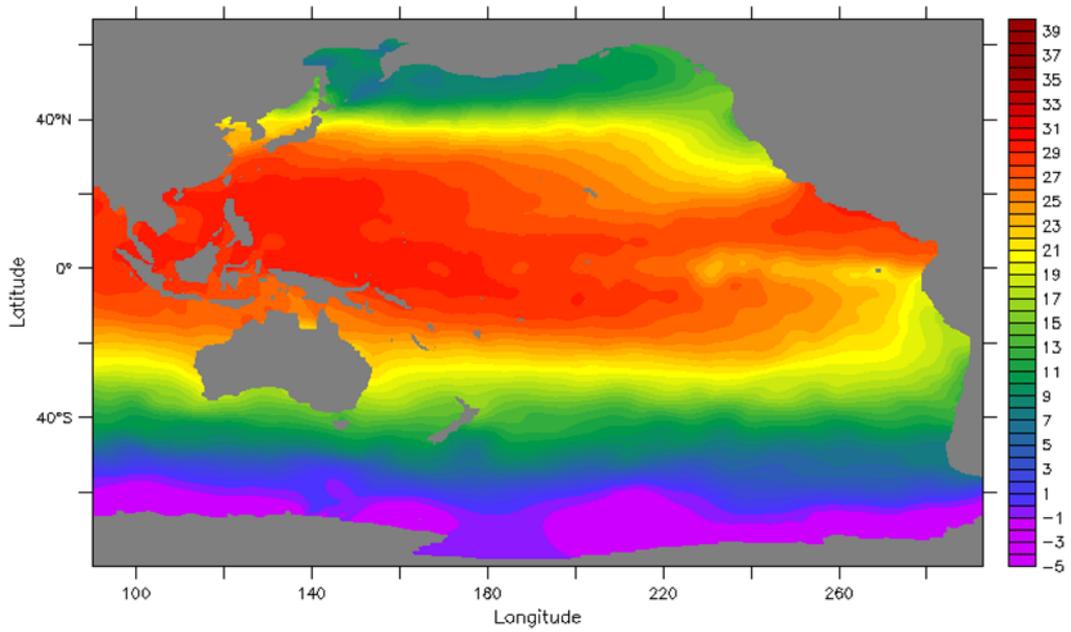


Sea Surface Salinity (psu)

圖 4.2-9 NCEP 模式 2003 年月平均海表面鹽度分佈圖(上：1 月，下：7 月)

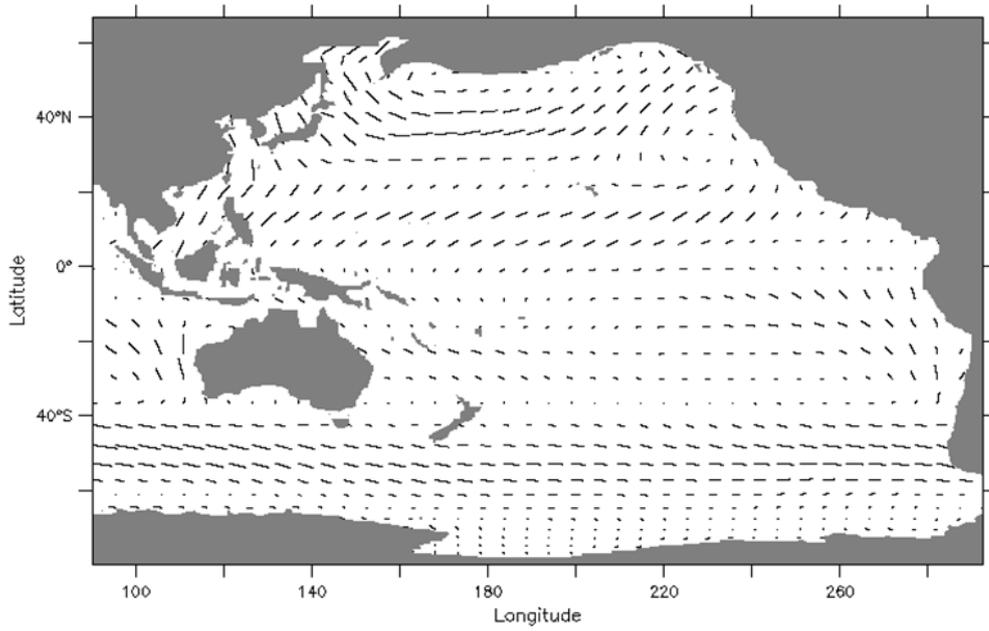


Sea Surface Temperature (Celsius)

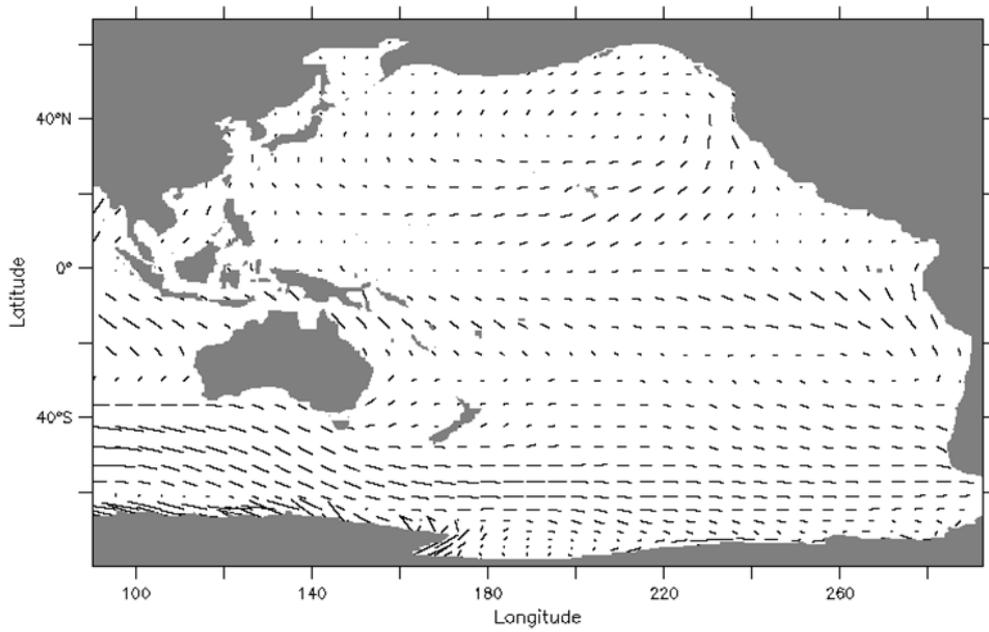


Sea Surface Temperature (Celsius)

圖 4.2-10 NCEP 模式 2003 年月平均海表面溫度分佈圖(上：1 月，下：7 月)

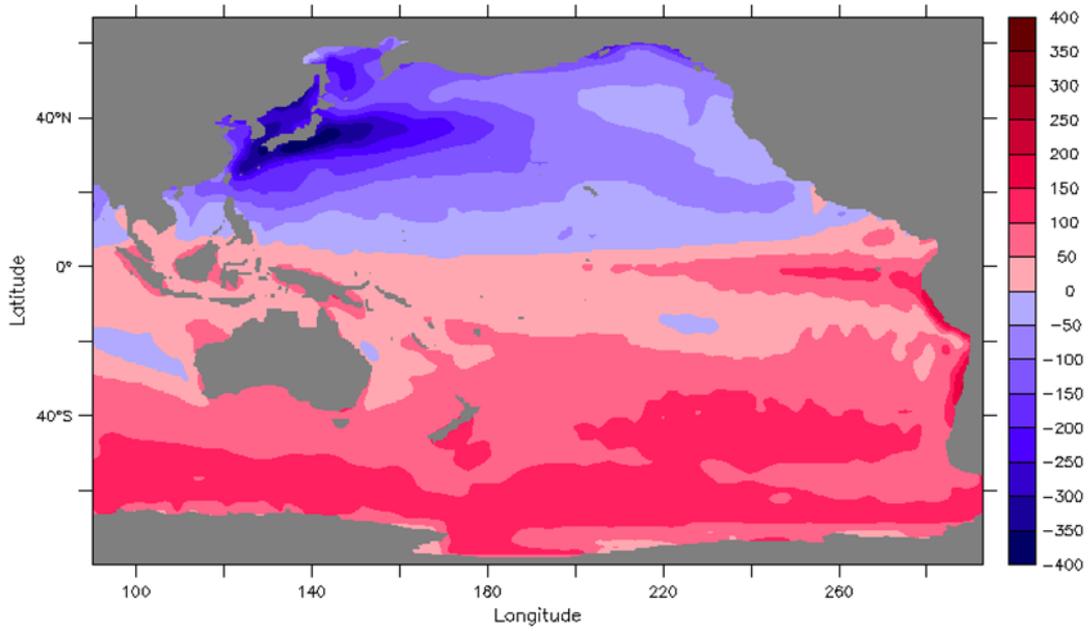


surface shear stress(newton meter⁻²)

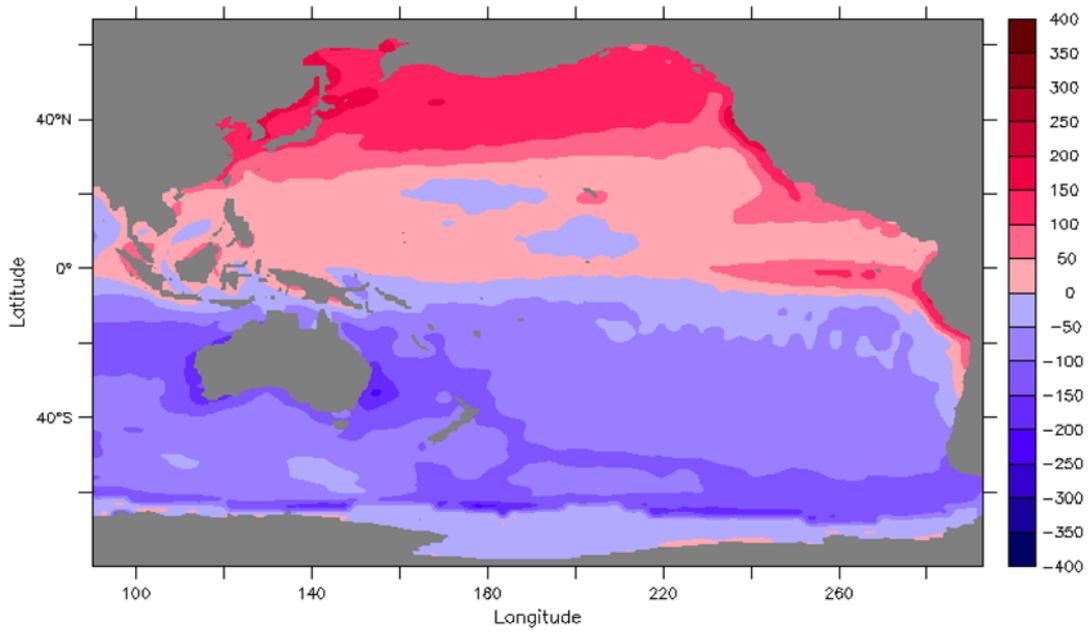


surface shear stress(newton meter⁻²)

圖 4.2-11 NCEP 模式 2003 年月平均海表面風剪力分佈(上:1 月,下:7 月)

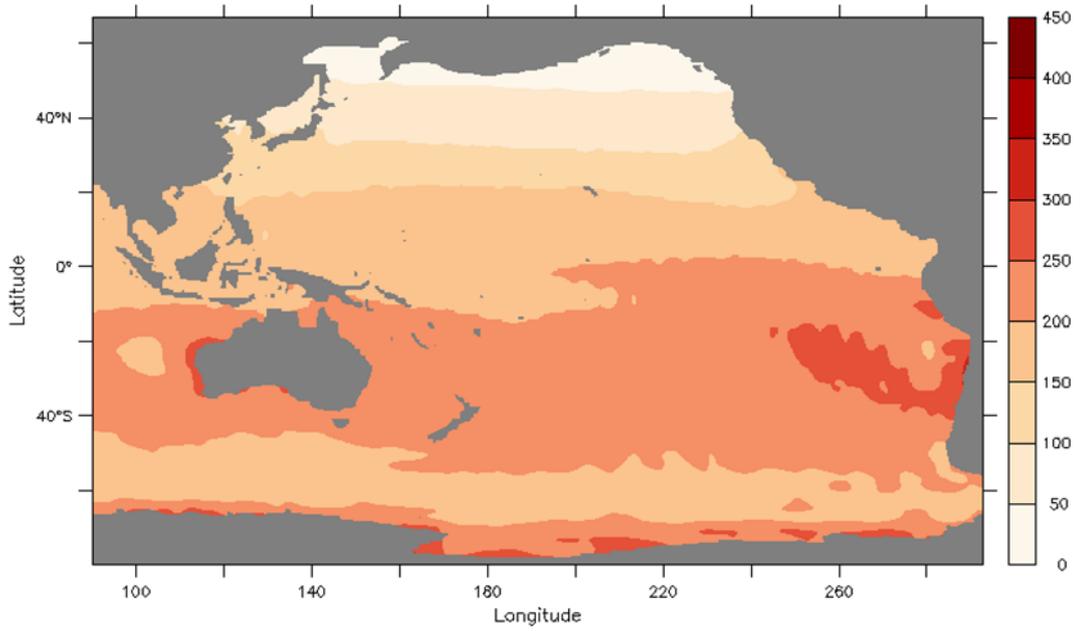


Surface net heat flux (Watt meter-2)

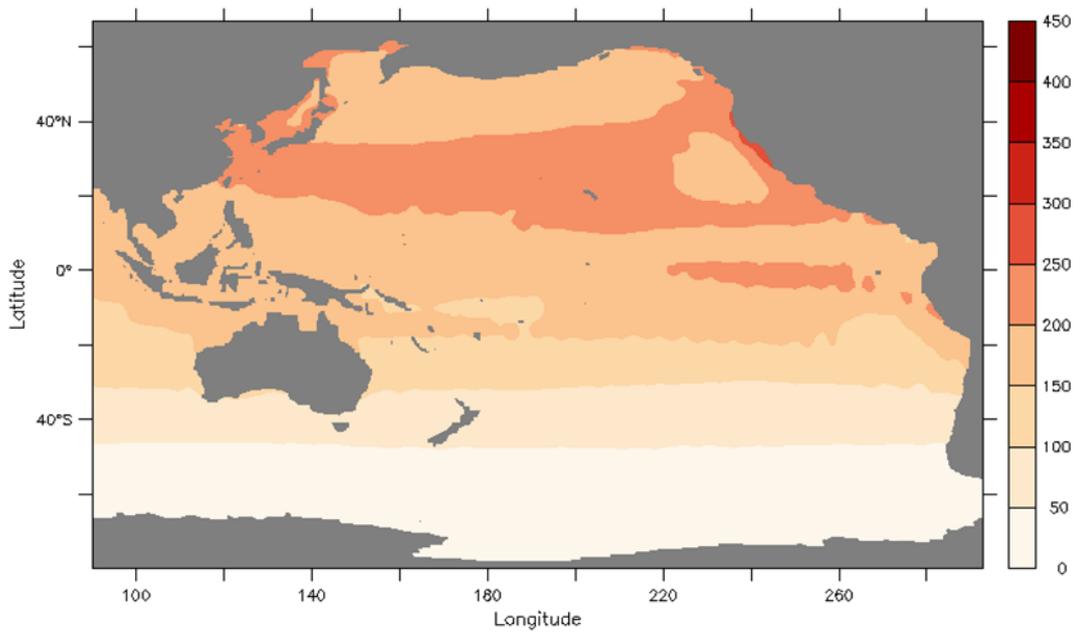


Surface net heat flux (Watt meter-2)

圖 4.2-12 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨熱通量分佈(上：1 月，
下：7 月)

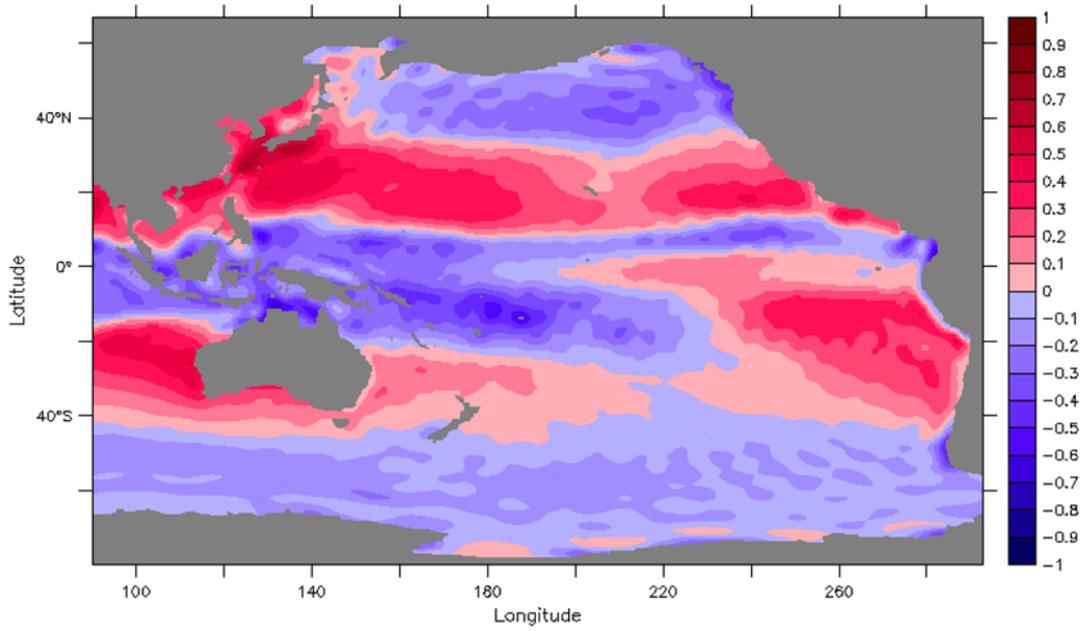


solar shortwave radiation (Watts meter⁻²)

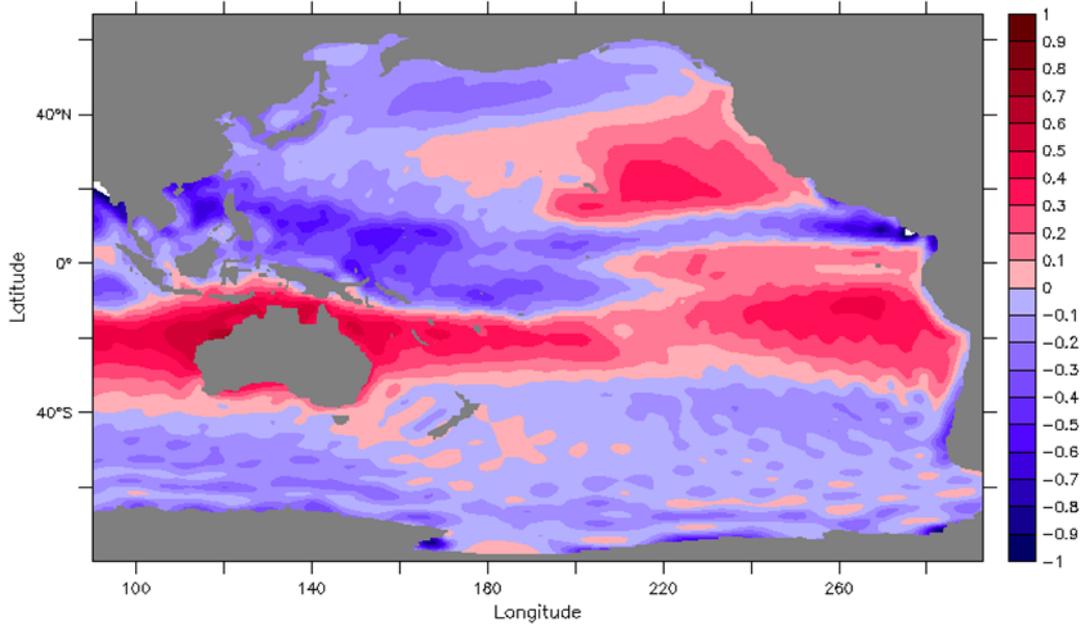


solar shortwave radiation (Watts meter⁻²)

圖 4.2-13 NCEP 模式 2003 年月平均海表面短波輻射分佈(上：1 月，
下：7 月)



surface freshwater flux (E-P) (centimeter day-1)



surface freshwater flux (E-P) (centimeter day-1)

圖 4.2-14 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨降雨量分佈(上：1 月，下：7 月)

4.3 模式結果分析

本年度 OCM1 模式建置完成後，進行了冬季及夏季的模擬，冬季模擬時間為 2003 年 1 月，夏季的模擬時間則為 7 月，使用的初步比對資料為 HYCOM 模式結果，時間為月平均資料，比對的資料包括海表面水溫、鹽度及流速，另外針對黑潮進行比對，包括北緯 23 度剖面及東經 121 度(呂宋海峽)剖面。

圖 4.3-1 至圖 4.3-9 為 1 月份的模擬比對結果。圖 4.3-1 至圖 4.3-3 為海表面水溫、鹽度及流速比對。OCM1 的海水表層溫度模擬結果與 HYCOM 的模擬結果大致相同，僅有幾處溫度分佈不同，第一部份為南極區域，OCM1 的溫度較 HYCOM 結果高，第二部份在中太平洋赤道區，OCM1 的結果出現小區域較冷的小水團，第三部份為菲律賓與印尼島鍊內，水溫也較 HYCOM 結果為低，最後一部分則落在模式西邊界北邊，泰國海域附近，OCM1 的結果也較 HYCOM 的結果低。在海水表層鹽度分佈，OCM1 模式的結果較水溫結果更接近 HYCOM 的分佈，鹽度極大值位於東太平洋海域南美洲附近，極小值則分佈於長江口至渤海灣沿岸以及西邊界泰國附近海域。海表面流速的比對差異就比水溫及鹽度大，HYCOM 的結果在黑潮路徑相當明顯，由菲律賓東北延台灣東岸至日本南方在轉向中太平洋區域，皆有較大的流速分佈，此部份 OCM1 的結果就不明顯，另外位於中國沿岸的區域有流速過大的現象，西太平洋赤道附近的流速分佈也較 HYCOM 結果紊亂。

圖 4.3-4 至圖 4.3-9 為北緯 23 度(東經 120 至 130 度)及東經 121 度 1 月份 600 公尺以上垂直水溫、鹽度及流速分佈圖。位於北緯 23 度，垂直水溫分佈，OCM1 的暖水層厚度大約由近岸的 80 公尺厚延伸至外海 200 公尺厚，HYCOM 厚度則由 100 公尺至最厚深度約 300 公尺，HYCOM 資料可以明顯觀察到水溫較溫暖的黑潮訊號，OCM1 的訊號則較弱，在水團寬度及水溫皆較 HYCOM 小；在鹽度部份，HYCOM 資料觀察到鹽度較高的中層海水，OCM1 結果則沒有此現象，僅在外海部份有較高的鹽度分佈；流速分佈則可發現 HYCOM 流

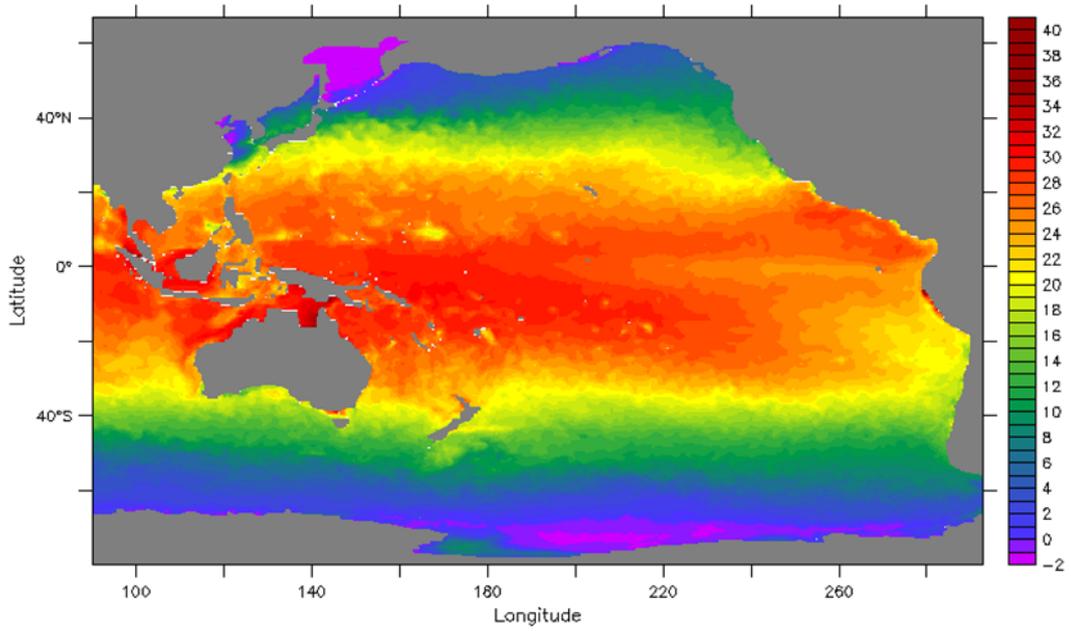
速資料不管往北或往南方向皆明顯較 OCM1 大，往北流的區域也較 OCM1 寬。位於東經 121 度剖面處(呂宋海峽)，垂直溫度分佈，HYCOM 的暖水團厚度明顯較厚，最大厚度可達 150 至 200 公尺；鹽度分佈則明顯不同，OCM1 鹽度較大區域並未模擬出來，HYCOM 結果則在 100 至兩百公尺有鹽度極大值區域；流速分佈上，OCM1 大部分斷面流向接往呂宋海峽內部流入，僅台灣南部為流出，而 HYCOM 資料則在呂宋海峽中部為流入，兩側岸邊則流出。

圖 4.3-10 至圖 4.3-18 為 7 月份的模擬比對結果。圖 4.3-10 至圖 4.3-12 為海表面水溫、鹽度及流速比對。與 1 月結果類似，在海表面水溫部份，OCM1 與 HYCOM 結果相當接近，僅在渤海灣、俄羅斯海岸、台灣東岸、澳洲西岸、印尼島鍊及中太平洋赤道區有較大的差異，其中渤海灣及俄羅斯沿岸 OCM1 水溫為高估，其餘四個地區水溫則有低估現象。鹽度的比對上，結果比水溫的趨勢要好，鹽度極大區與 1 月一樣落在東太平洋的南美洲附近海域，較淡的鹽度則分佈在渤海灣、越南、中南半島及泰國沿岸海域。海表面流速分佈，7 月份黑潮趨勢較 1 月明顯，不管在 OCM1 的模擬結果還是 HYCOM 的模擬結果都可以發現，然 OCM1 的結果仍然比 HYCOM 小，在中太平洋赤道區附近海域，與 1 月一樣皆有不穩定的亂流狀態產生。

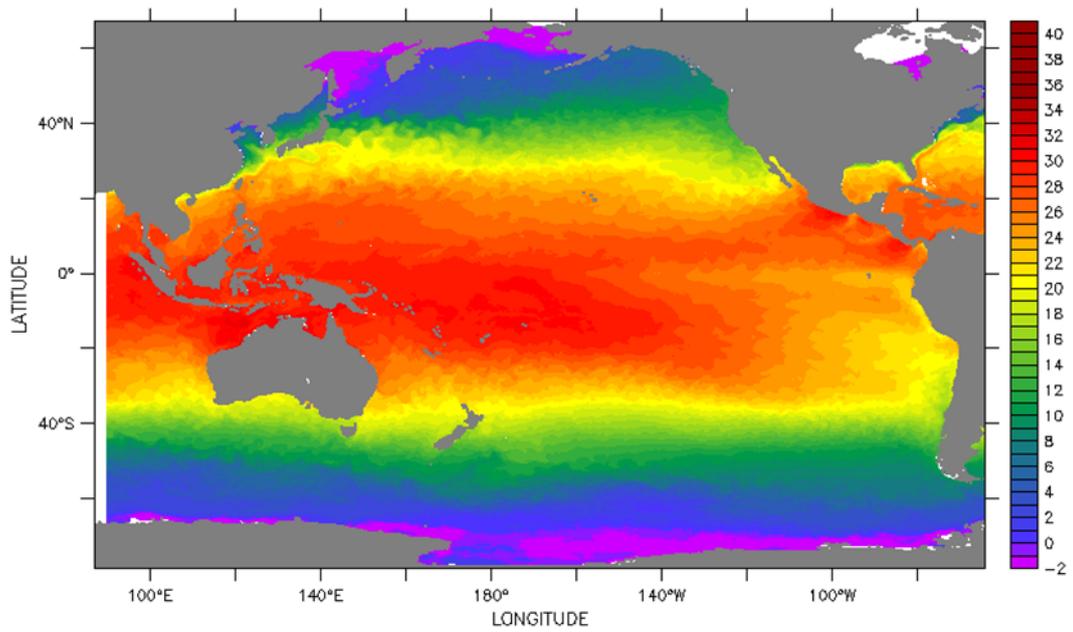
圖 4.3-13 至圖 4.3-18 為北緯 23 度(東經 120 至 130 度)及東經 121 度 7 月份 600 公尺以上垂直水溫、鹽度及流速分佈圖。位於北緯 23 度溫度垂直分佈，明顯低於 HYCOM 的結果，而由 7 月平面的結果也可發現，台灣東部出現溫度較低的現象，所以此區垂直水溫偏冷；鹽度分佈上與 1 月比對結果類似，OCM1 模擬出的中層鹽度極值區皆較 HYCOM 資料小，且厚度及寬度也不足；在流速的垂直分佈，此斷面呈現兩區向北兩區向南的狀態，唯 HYCOM 在向北的區域流速較寬且強，而 OCM1 則是向南的區段比較大。位於東經 121 度斷面處，在水溫垂直分佈上與北緯 23 度類似，暖水團的厚度皆比 HYCOM 小很多，在海平面溫度分佈也可發現此區有一小塊區域呈現較冷的水溫；鹽度的分佈與 1 月的結果相似，OCM1 並沒有模擬初中層鹽度較高的水層，整個斷面的水層鹽度近乎相同；流速分佈結果，OCM1 的

結果大部分斷面水流皆往呂宋海峽內部流入，僅台灣南部巴士海峽為流出，HYCOM 的結果則為斷面中間流入呂宋海峽，兩岸部份則流出呂宋海峽區域較多。

透過模式平面結果及垂直結果比對，OCM1 於海表面的模擬結果趨勢吻合，但是於垂直剖面結果比對則不盡理想，未來仍需進行更多的模式參數調整，以得到更好的結果。

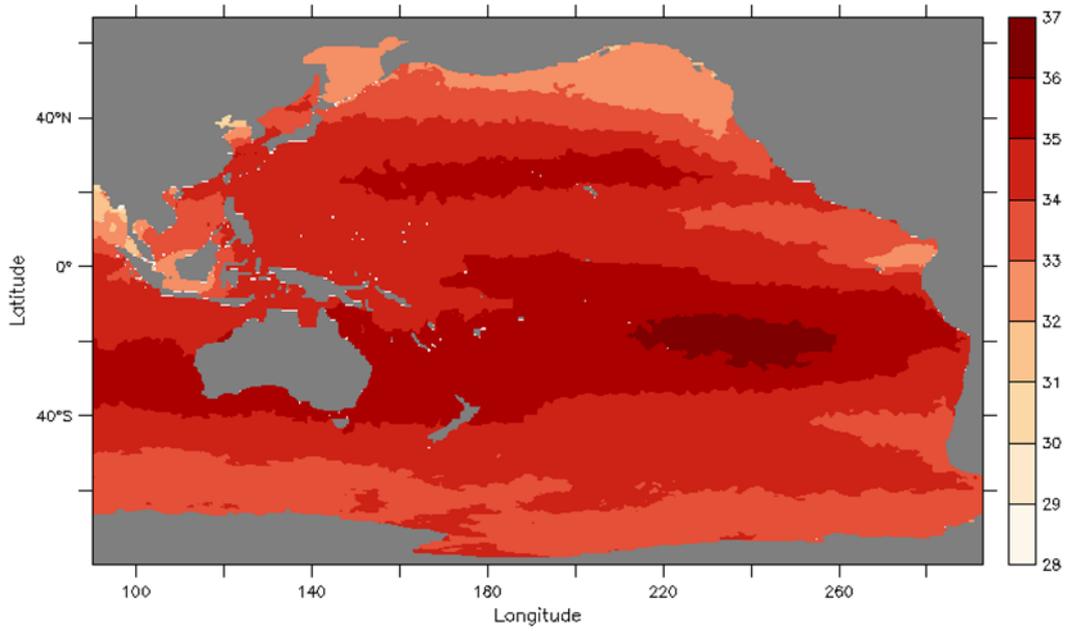


Monthly Mean of Temperature(degree)

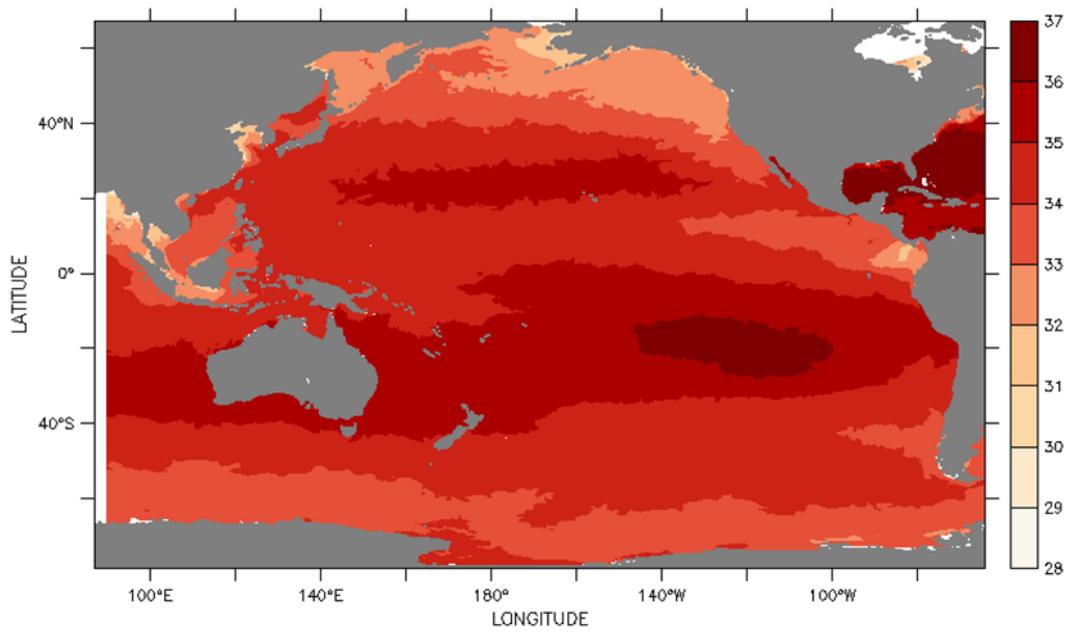


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.3-1 2003 年 1 月表層月平均溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

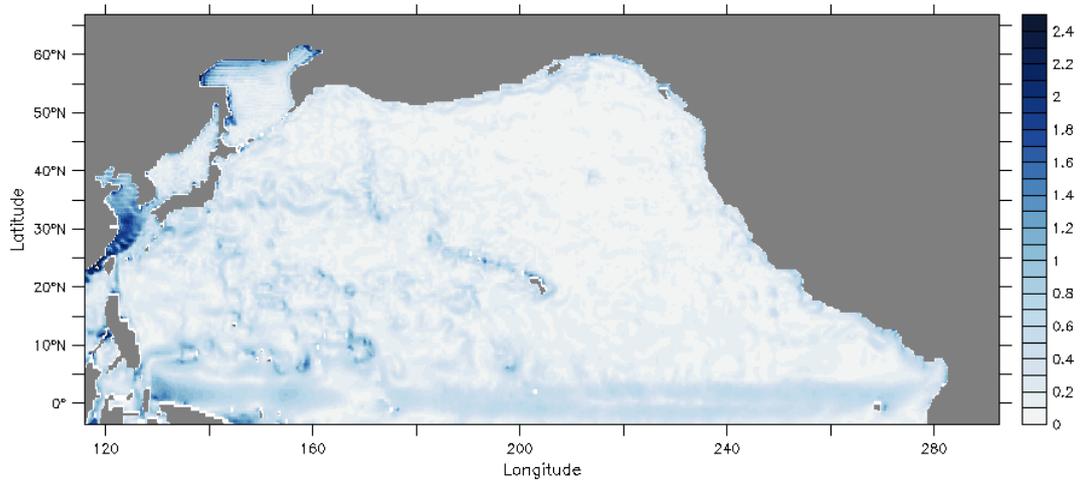


Monthly Mean of Salinity(psu)

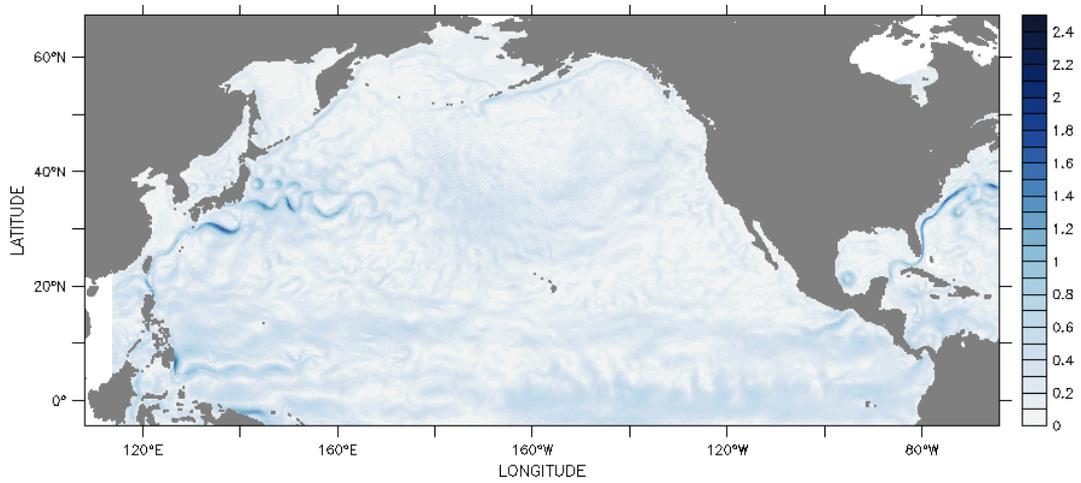


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.3-2 2003 年 1 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

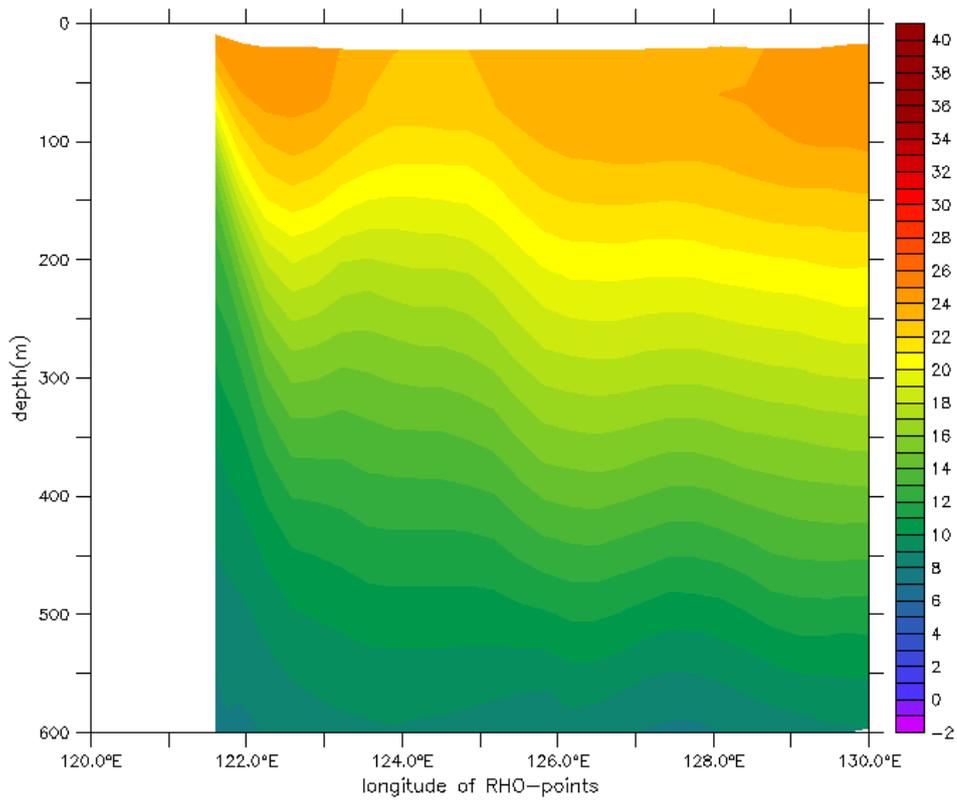


Monthly Mean of Velocity(m/s)

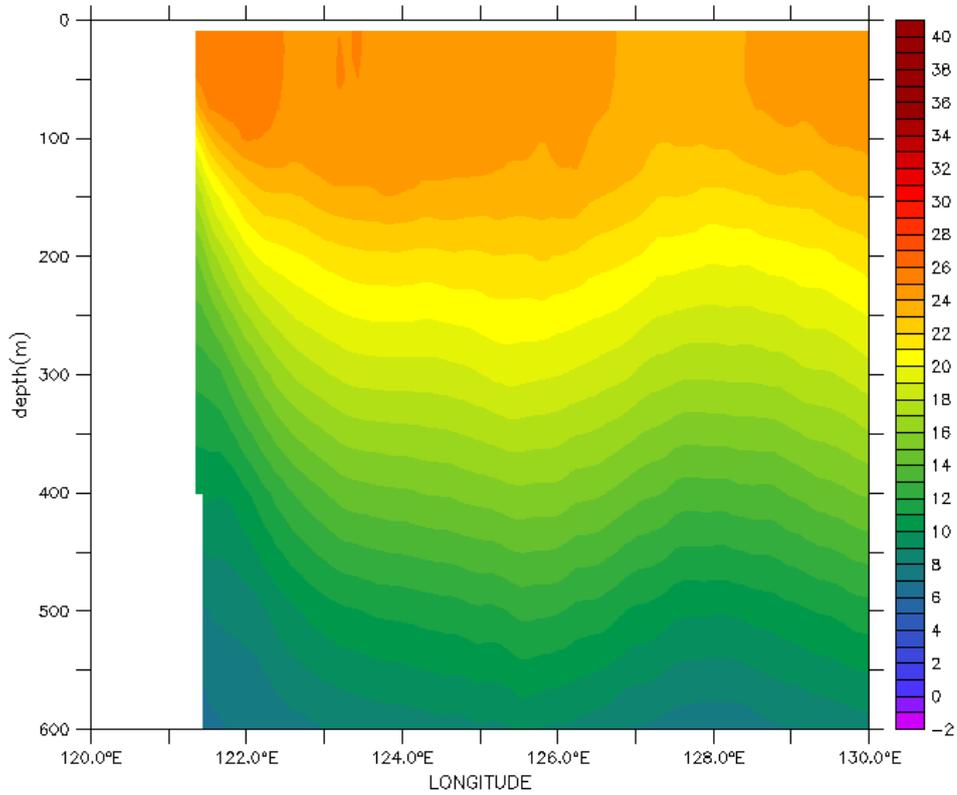


Monthly Mean of Velocity(m/s)

圖 4.3-3 2003 年 1 月表層月平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

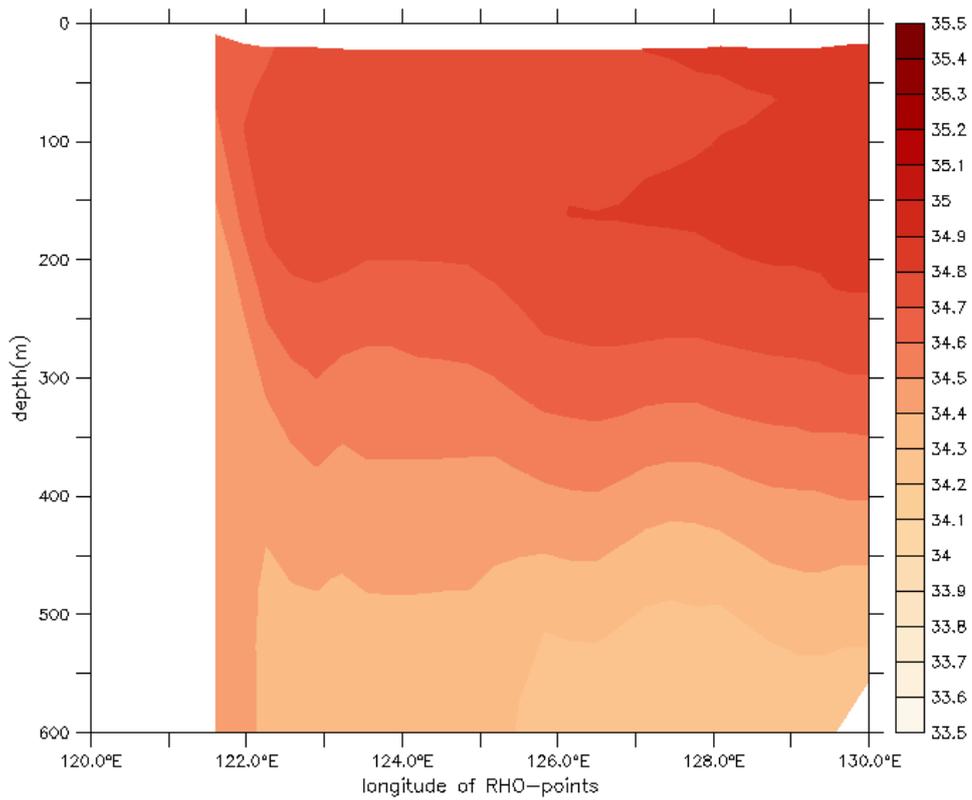


Monthly Mean of Temperature(degree)

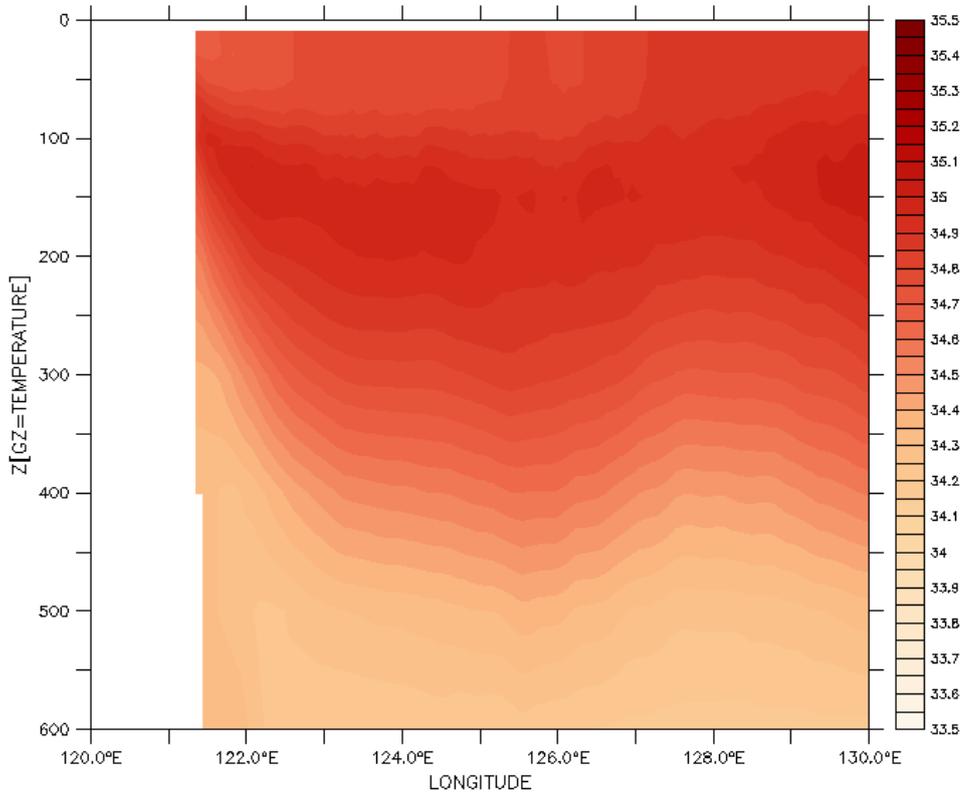


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.3-4 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，
下：HYCOM)

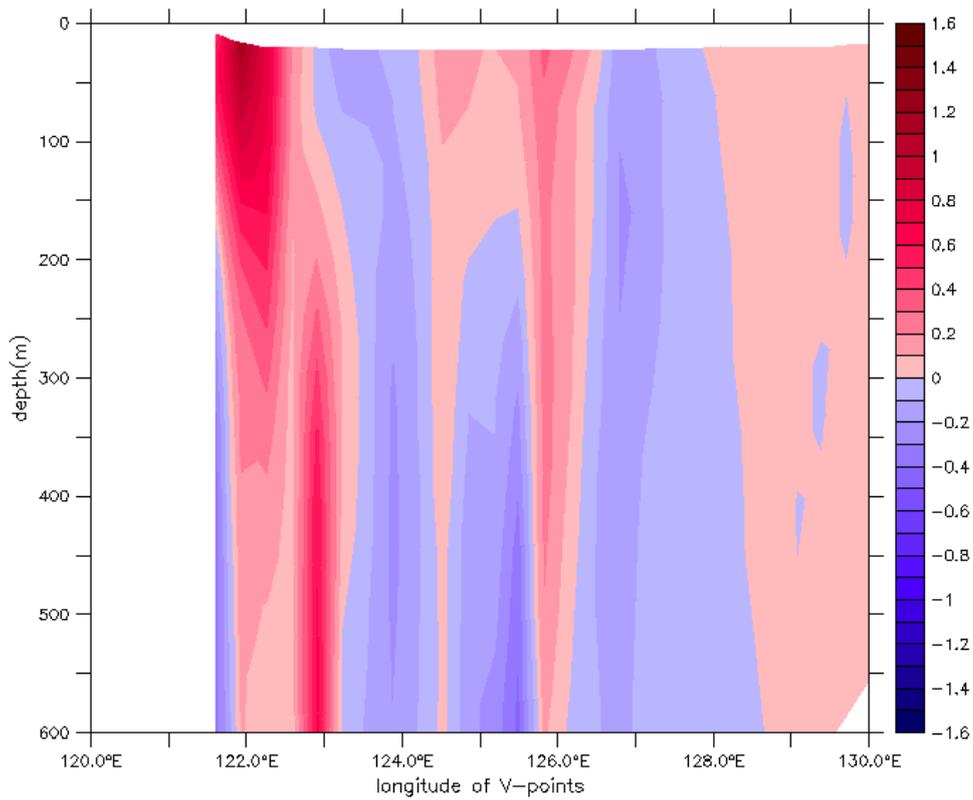


Monthly Mean of Salinity(psu)

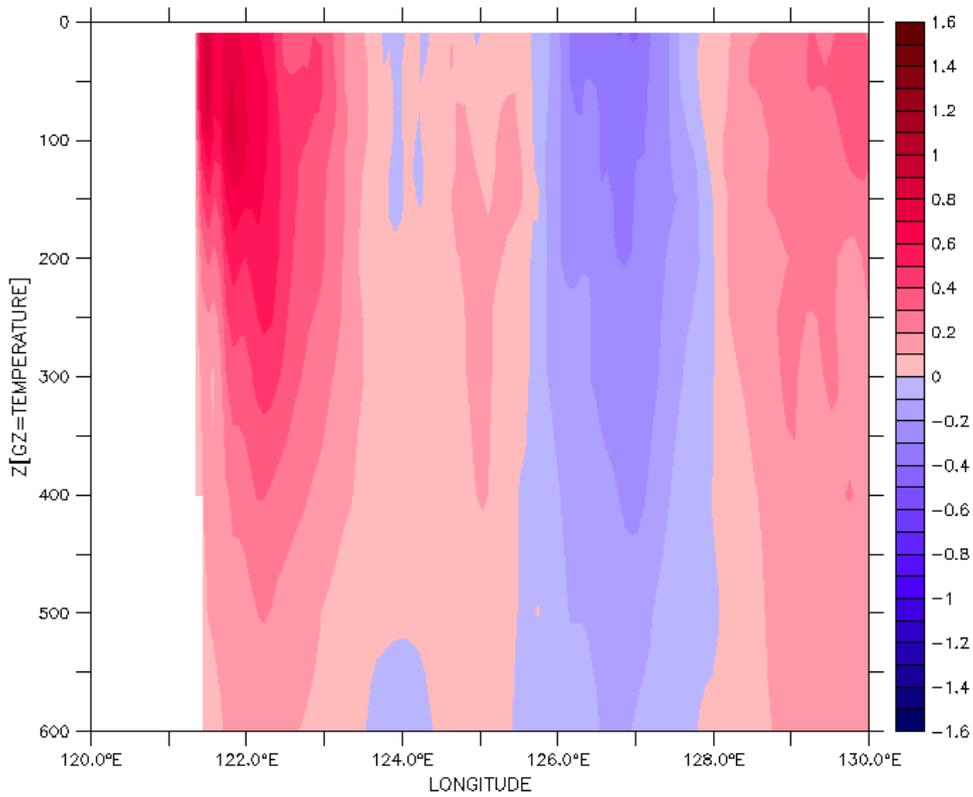


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.3-5 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

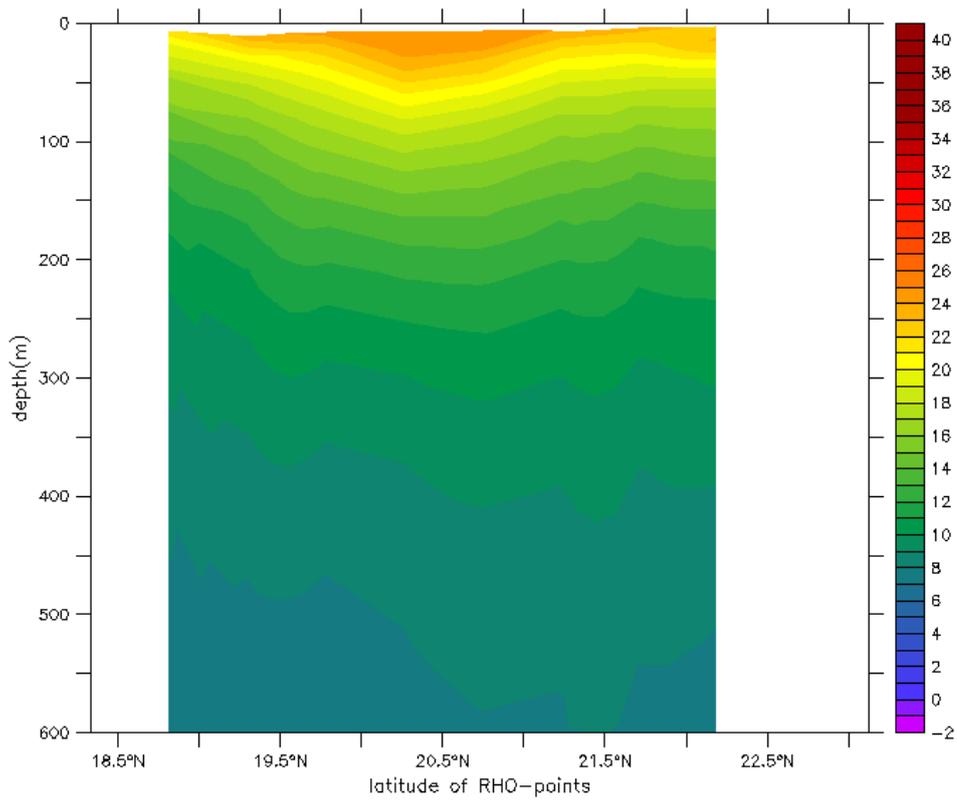


Monthly Mean of V-velocity(m/s)

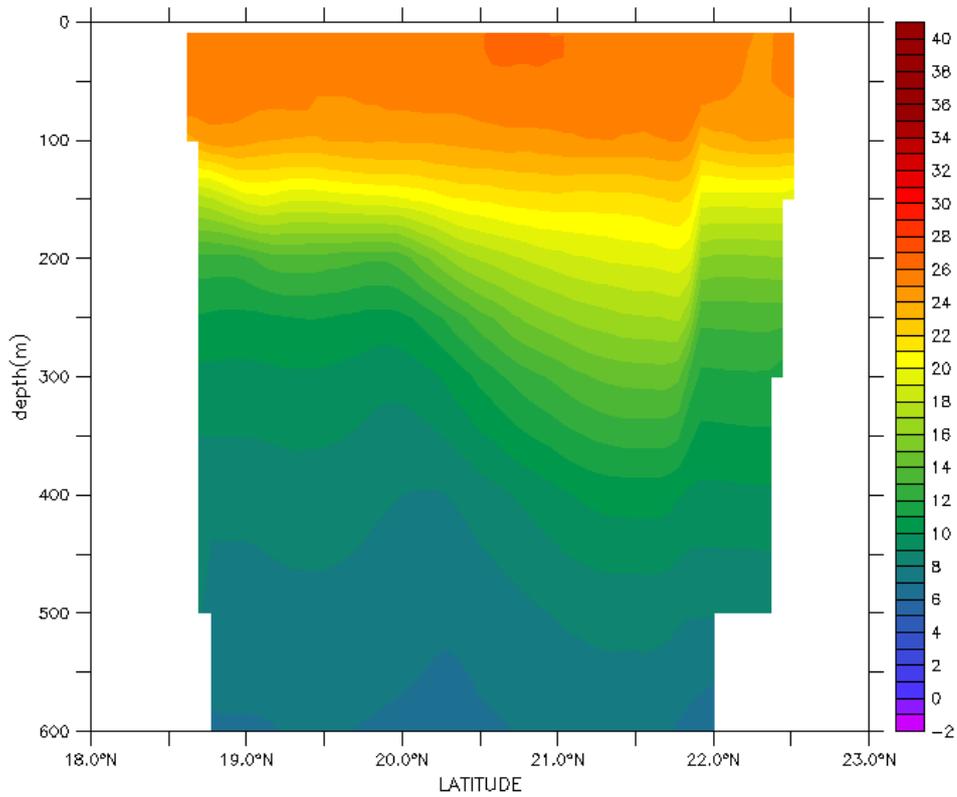


Monthly Mean of V-velocity(m/s)

圖 4.3-6 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面流速(V)分佈(紅色往北，紫色往南)(上：OCM1，下：HYCOM)

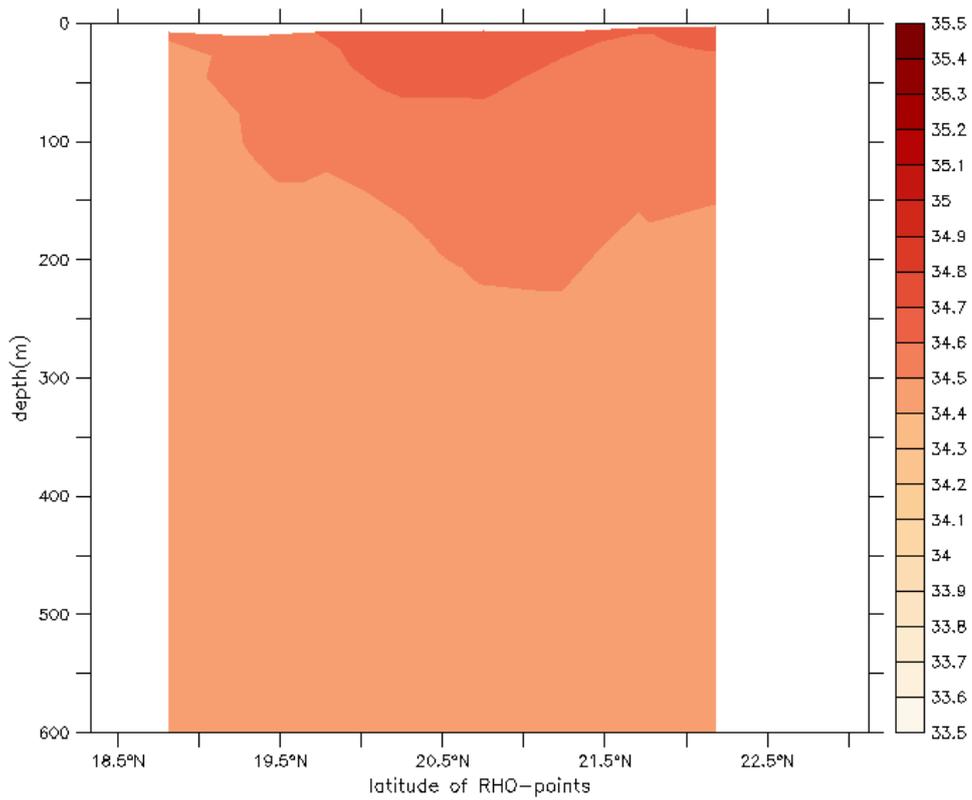


Monthly Mean of Temperature(degree)

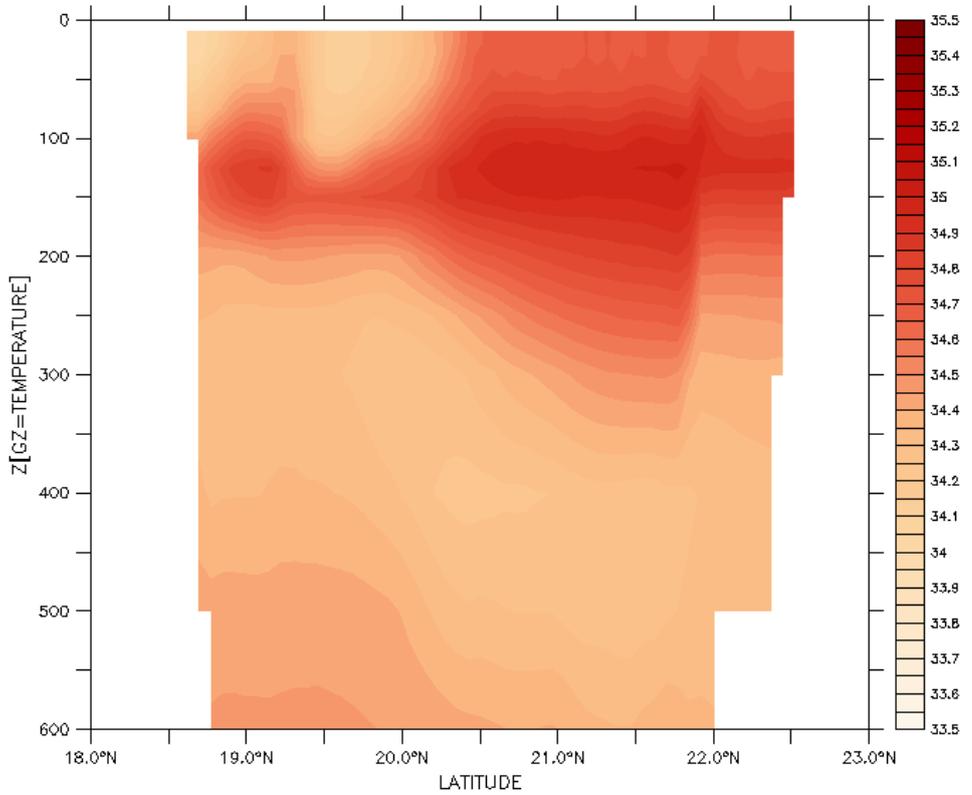


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.3-7 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

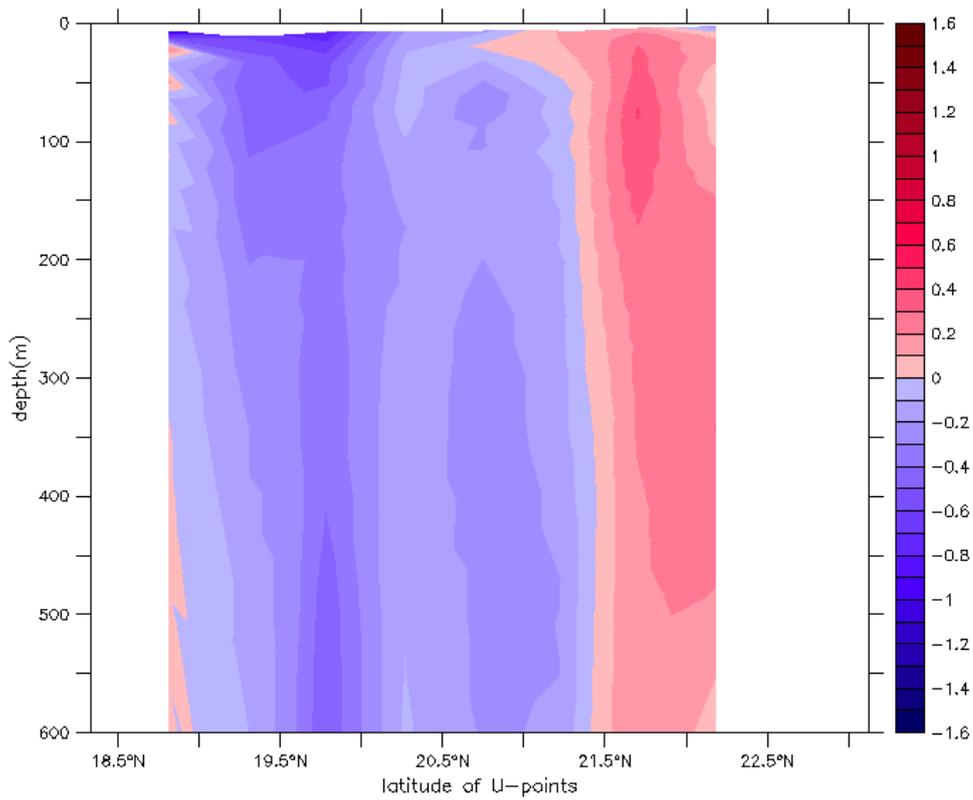


Monthly Mean of Salinity(psu)

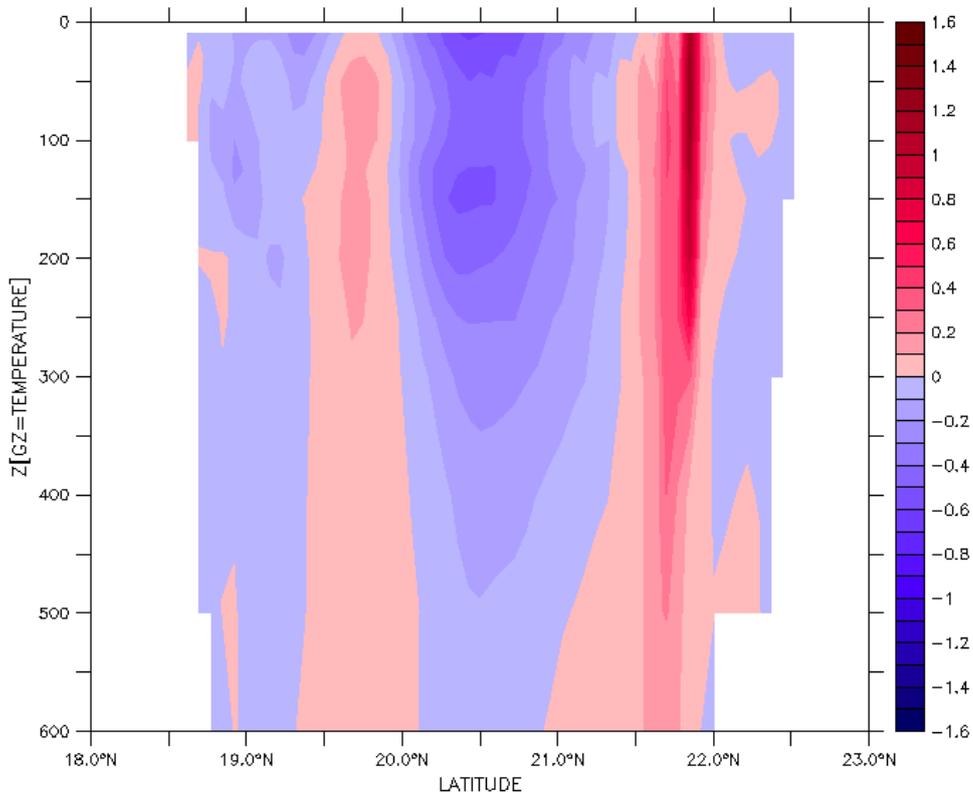


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.3-8 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

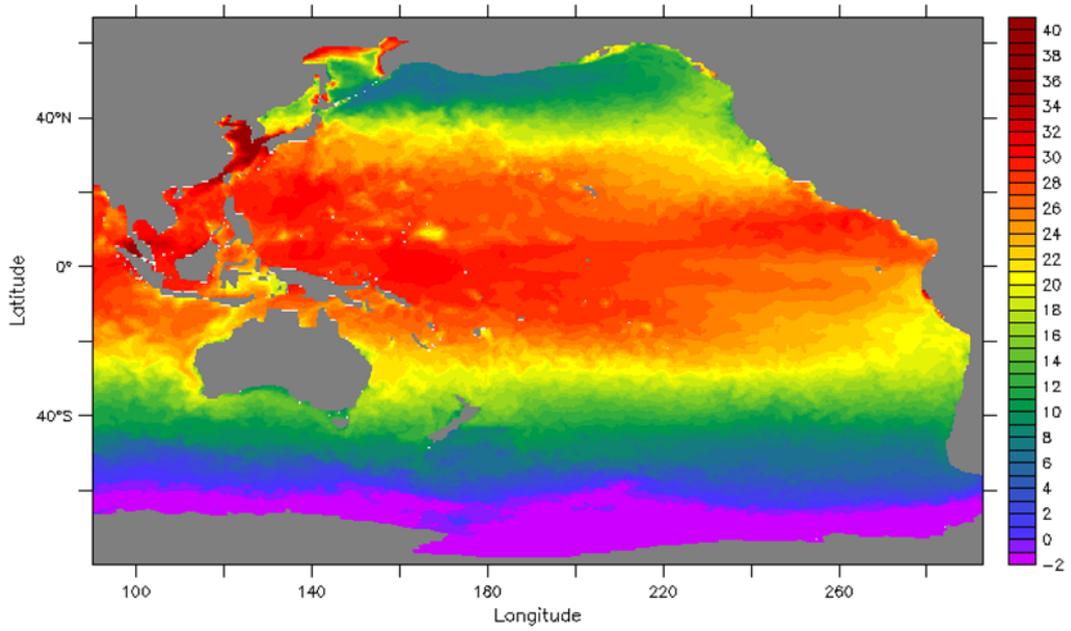


Monthly Mean of U-velocity(m/s)

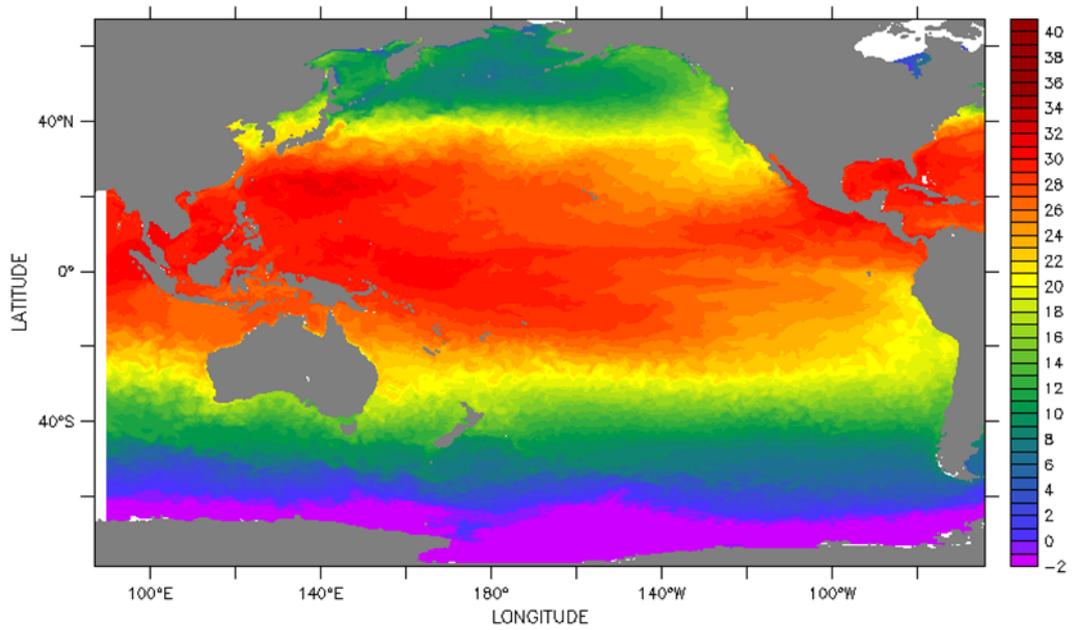


Monthly Mean of U-velocity(m/s)

圖 4.3-9 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面流速(U)分佈(紅色往東，紫色往西)(上：OCM1，下：HYCOM)

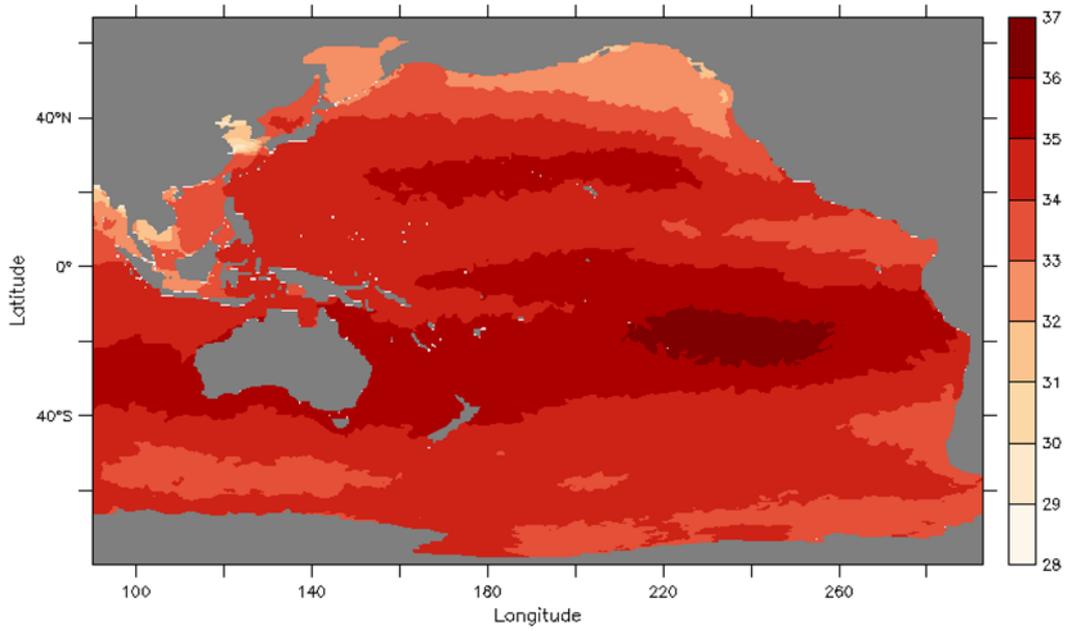


Monthly Mean of Temperature(degree)

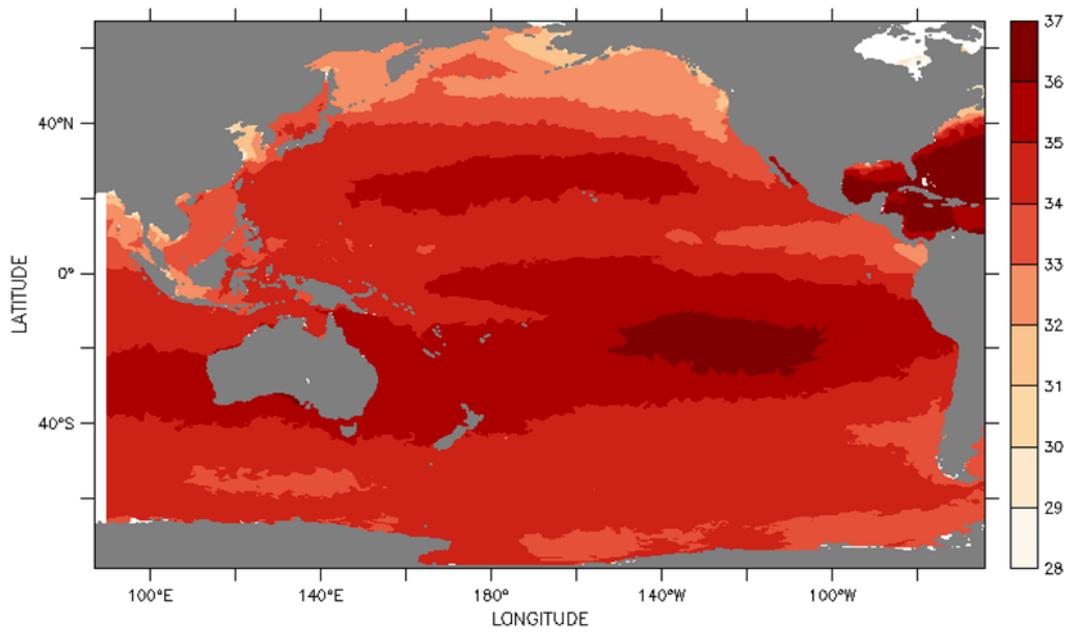


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.3-10 2003 年 7 月表層月平均溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

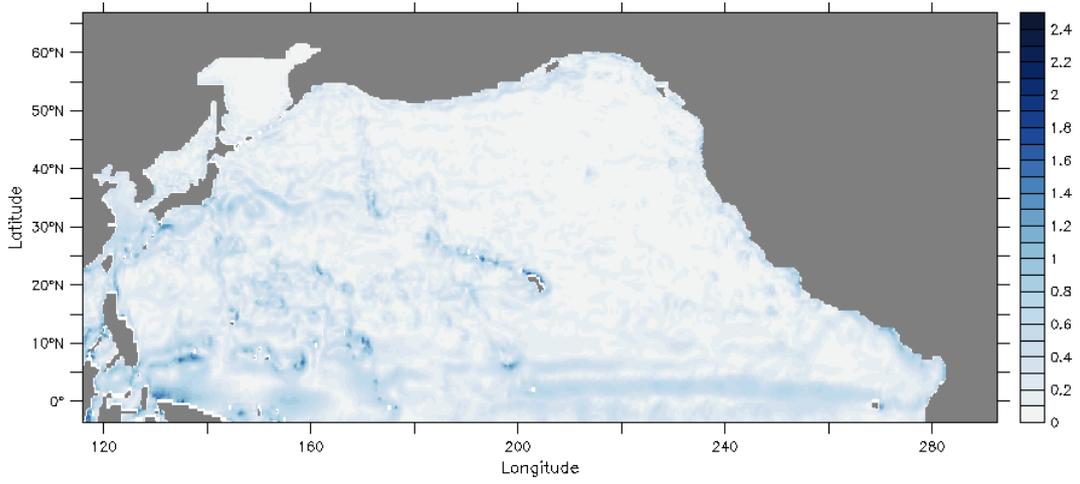


Monthly Mean of Salinity(psu)

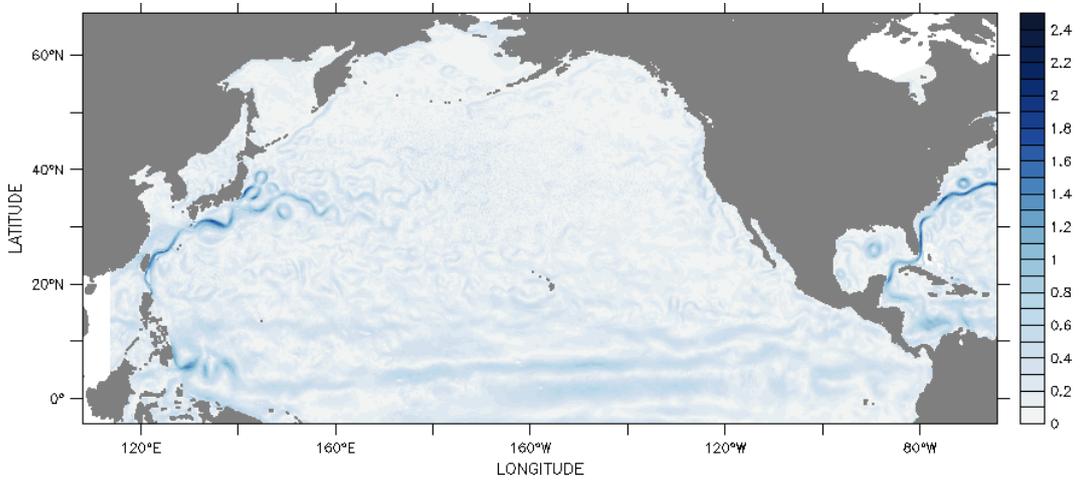


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.3-11 2003 年 7 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

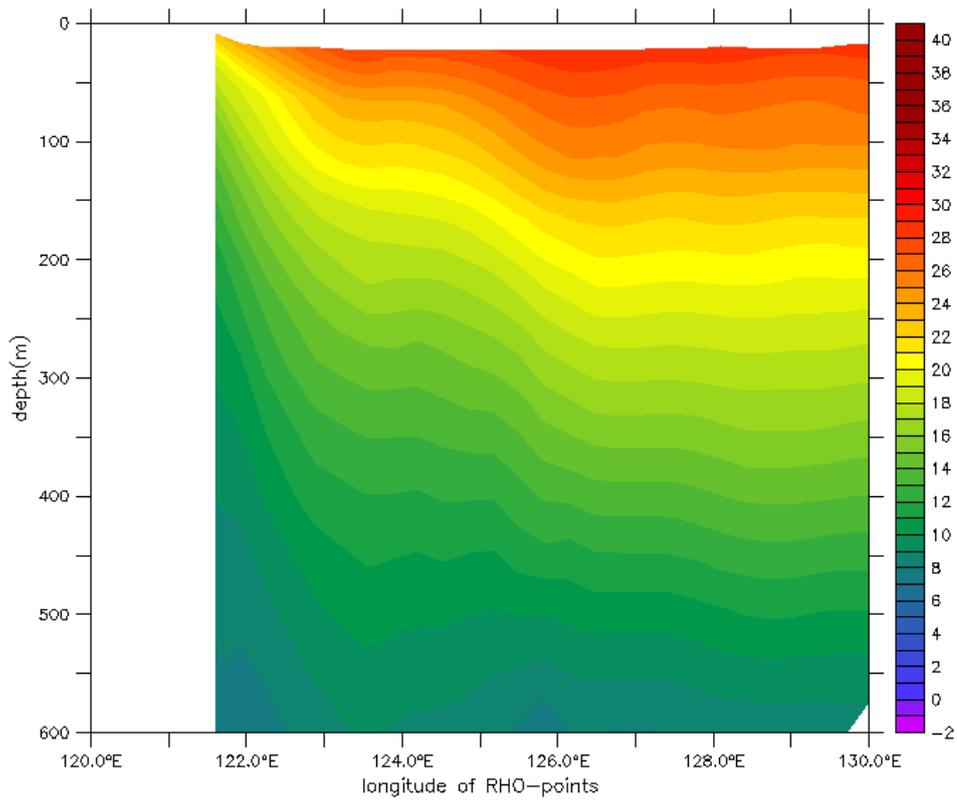


Monthly Mean of Velocity(m/s)

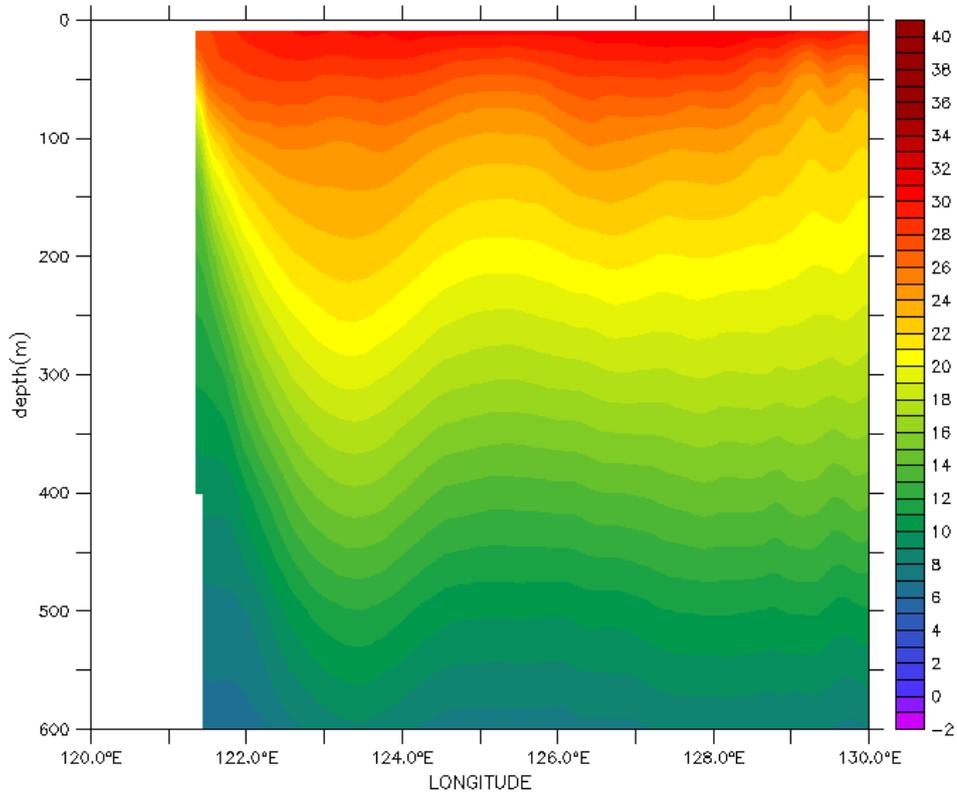


Monthly Mean of Velocity(m/s)

圖 4.3-12 2003 年 7 月表層月平均流速分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

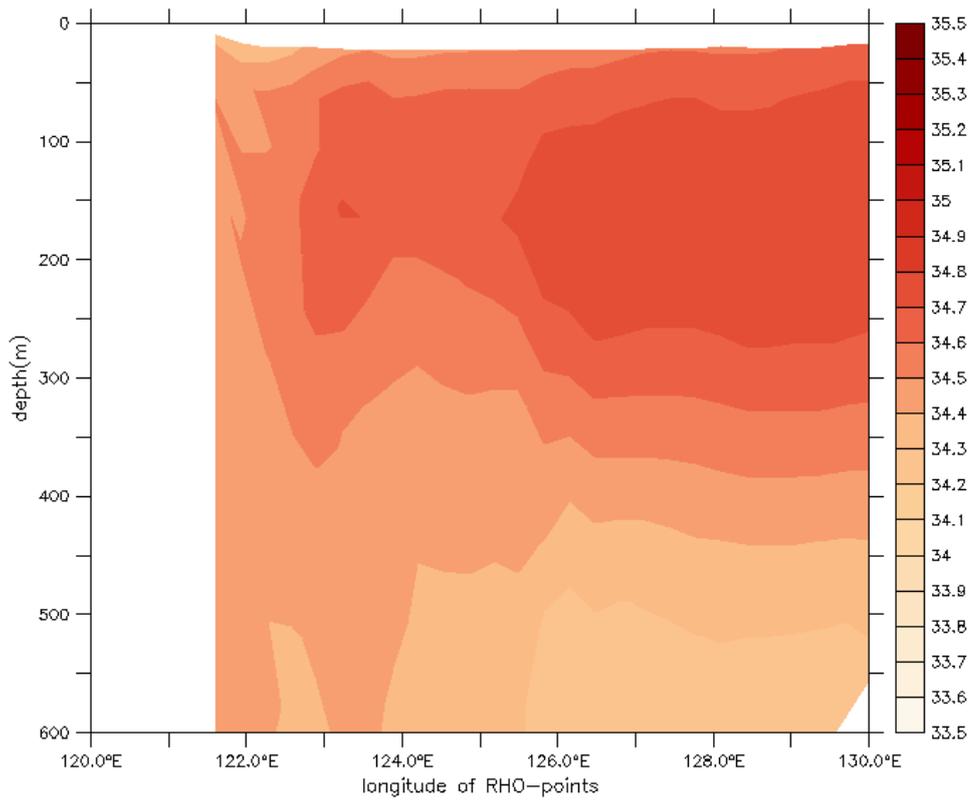


Monthly Mean of Temperature(degree)

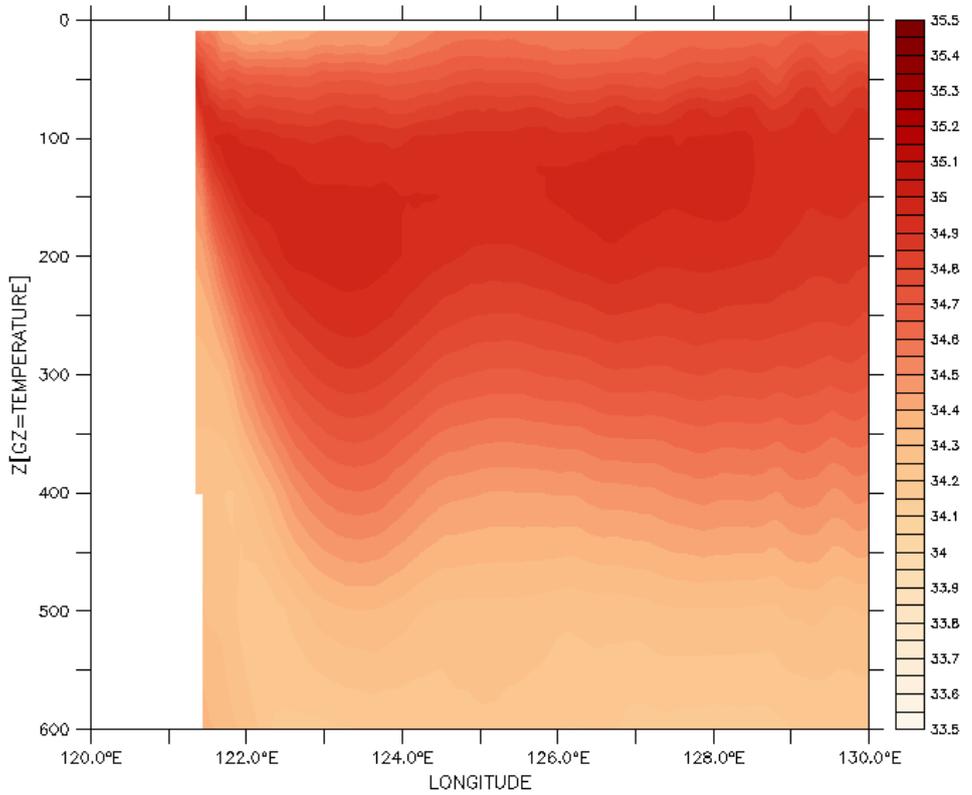


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.3-13 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

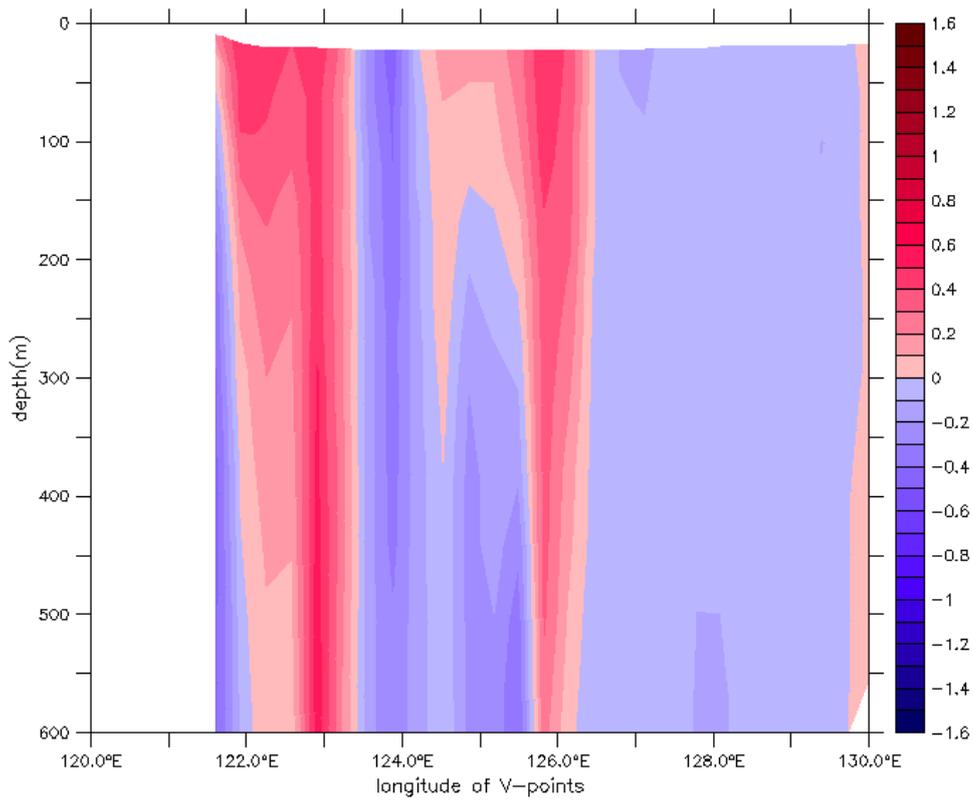


Monthly Mean of Salinity(psu)

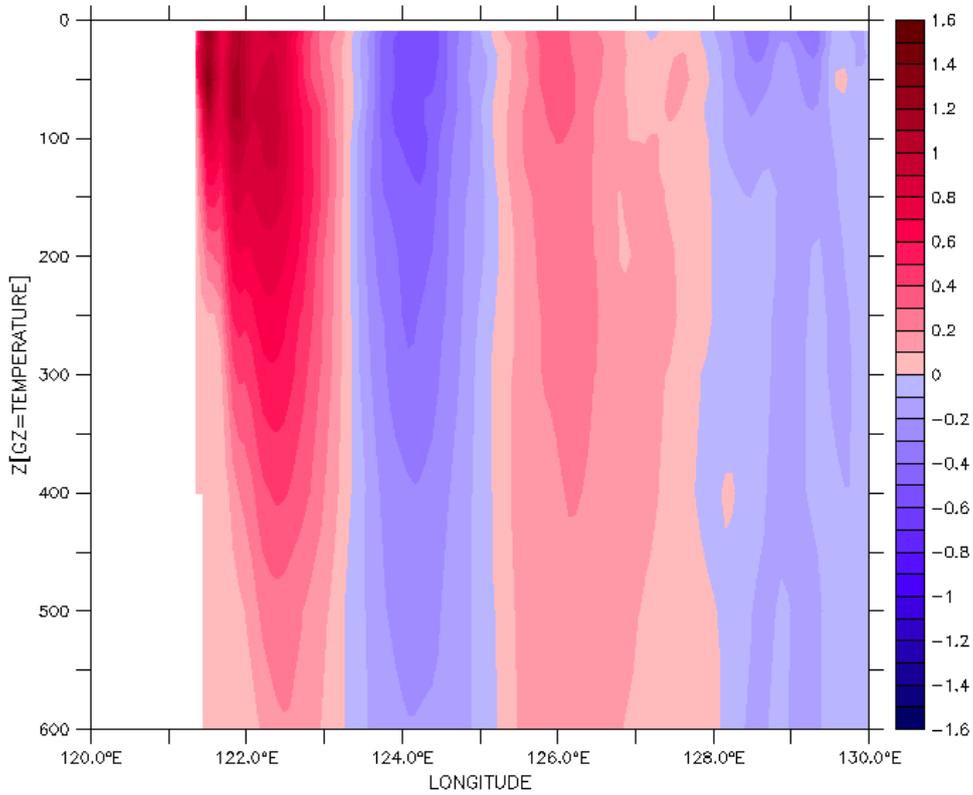


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.3-14 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

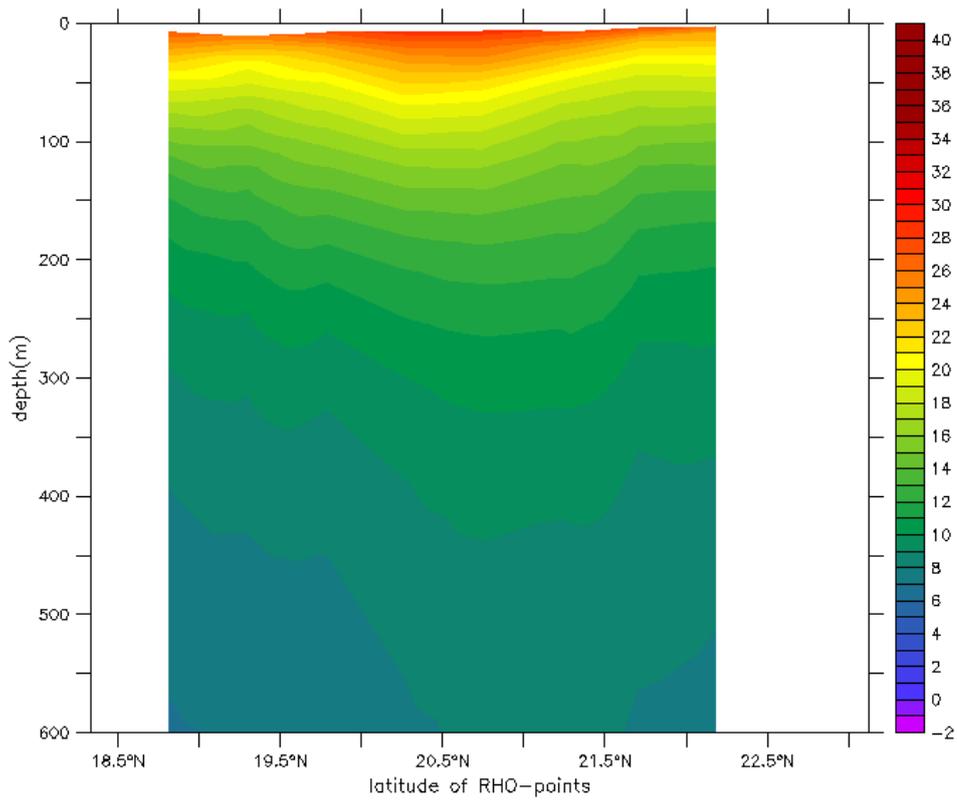


Monthly Mean of V-velocity(m/s)

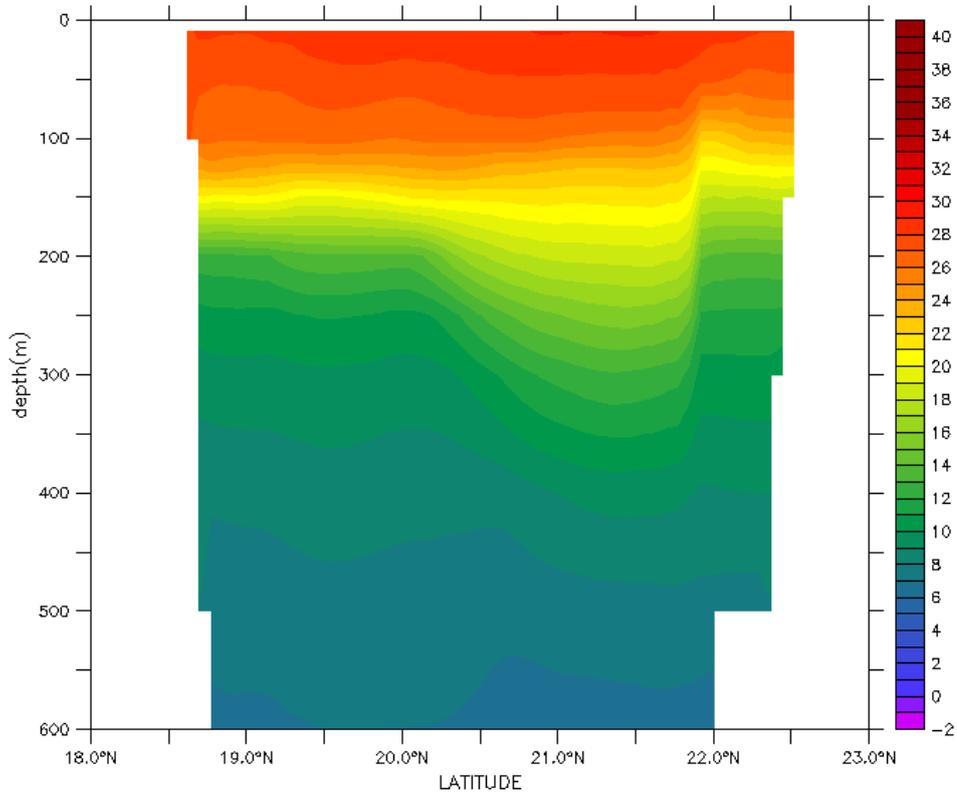


Monthly Mean of V-velocity(m/s)

圖 4.3-15 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面速度(V)分佈(紅色往北，紫色往南)(上：OCM1，下：HYCOM)

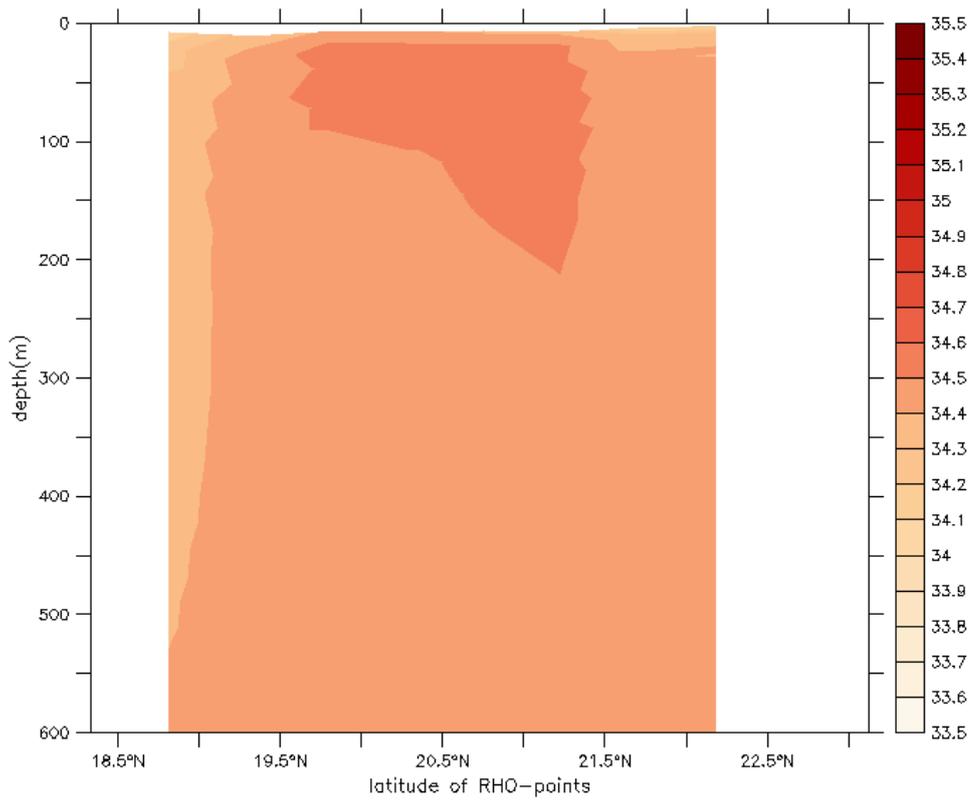


Monthly Mean of Temperature(degree)

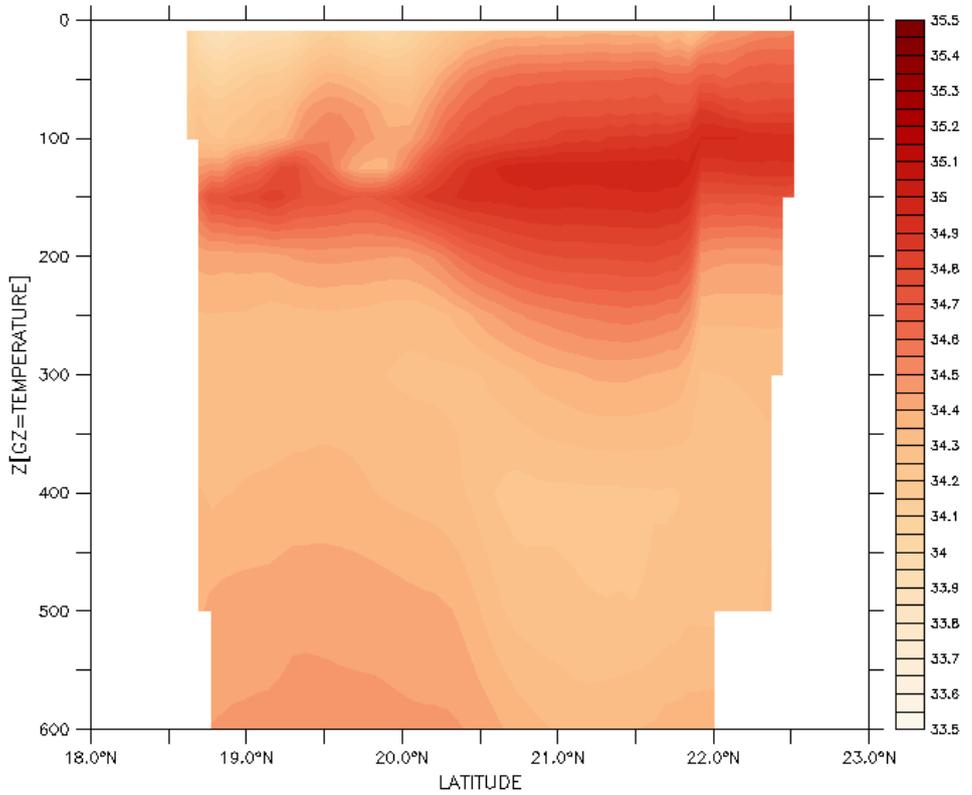


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 4.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)

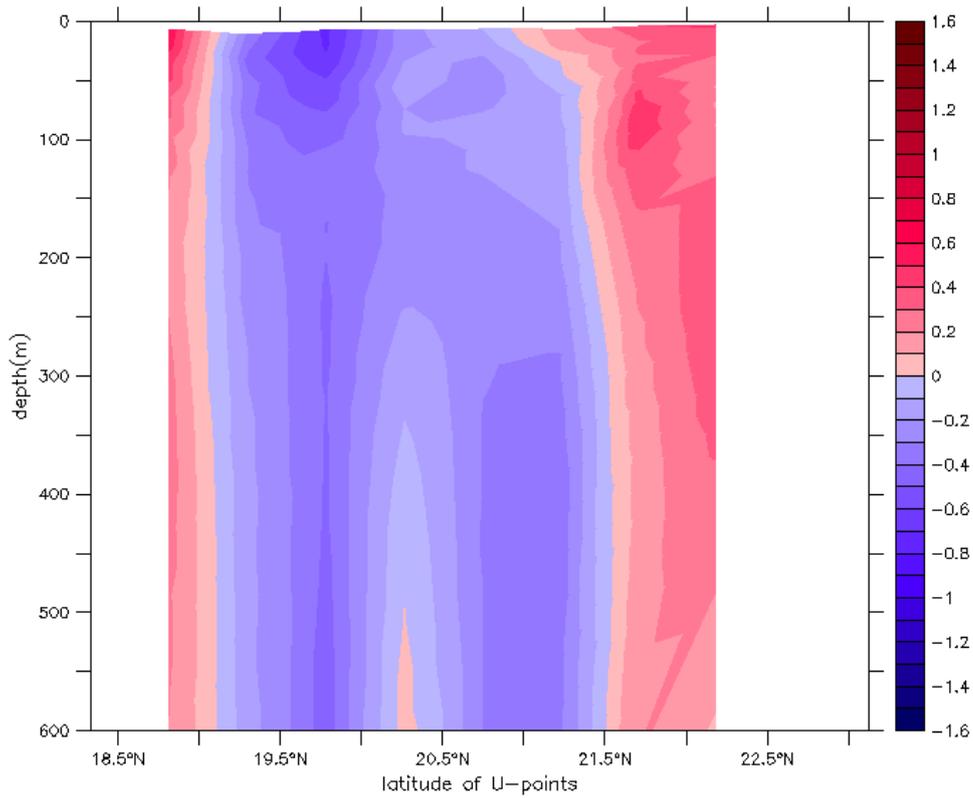


Monthly Mean of Salinity(psu)

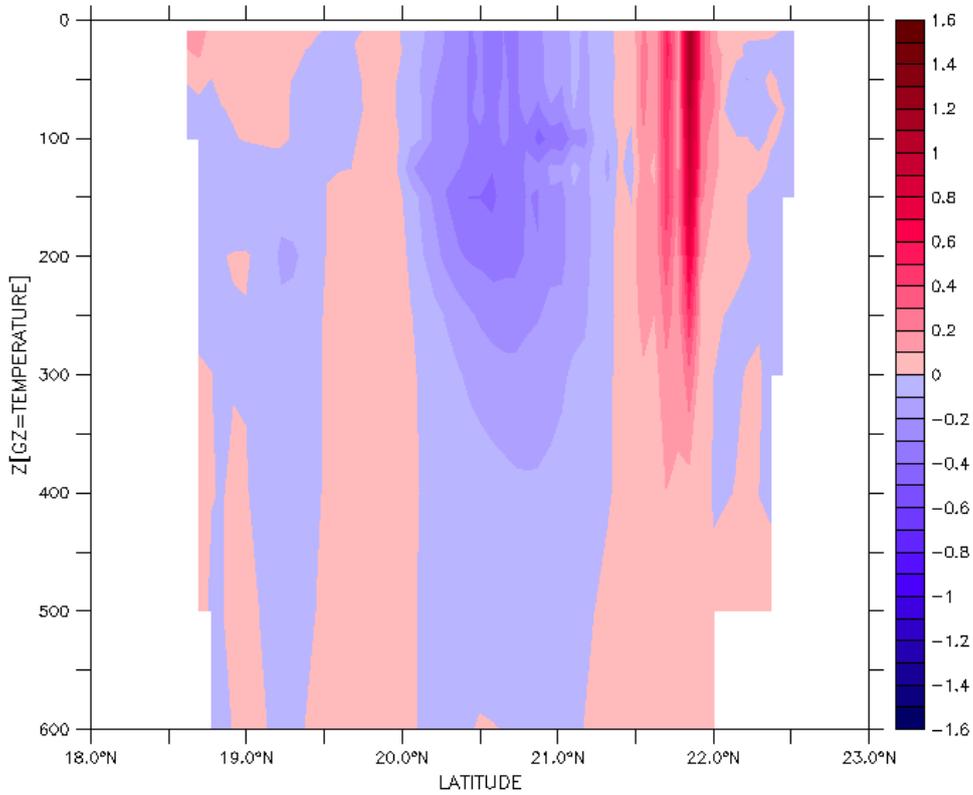


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 4.3-17 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM1，下：HYCOM)



Monthly Mean of U-velocity(m/s)



Monthly Mean of U-velocity(m/s)

圖 4.3-18 2003 年 7 月 東經 121 度 月 平均 垂直 剖面 速度 (U) 分 佈 (紅 色 往 東, 紫 色 往 西) (上: OCM1, 下: HYCOM)

4.4 計算效能及儲存空間評估

以目前太平洋環流模式的配置，於本團隊的 pc cluster 主計上計算，使用 8 顆 4 核心的 intel core2 cpu 計算，模式計算一天，需實際時間 50 分鐘左右，模式一個時間步長輸出(包含 2 維水位、水深平均流速、3 維流速、溫度、鹽度場以及下一階段起始的初始場)，所需磁碟空間大約為 700MB，進行一個月的模擬總時間為 26 小時，總使用硬碟空間為 400GB，包括月平均輸入驅動力(包含內插前大氣模式資料)，每小時及每日日平均輸出 3 維流速、水溫及鹽度場以及每天的啟動檔；若以未來的上線預報規劃，太平洋環流模式需現報一個月及預報一個月、使用時間更細的氣象輸入檔，以及保留前一次預報的結果以供隨時取用，建議需預留至少 2TB 的硬碟空間。

第五章 西北太平洋環流模式(OCM2)

依照海洋環流模式架構，本年度需建置太平洋環流模式及建置西北太平洋環流模式，提供未來台灣海域海流模式運算的邊界條件及初始條件。

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 10 秒，2 維步長設定為 1 秒。

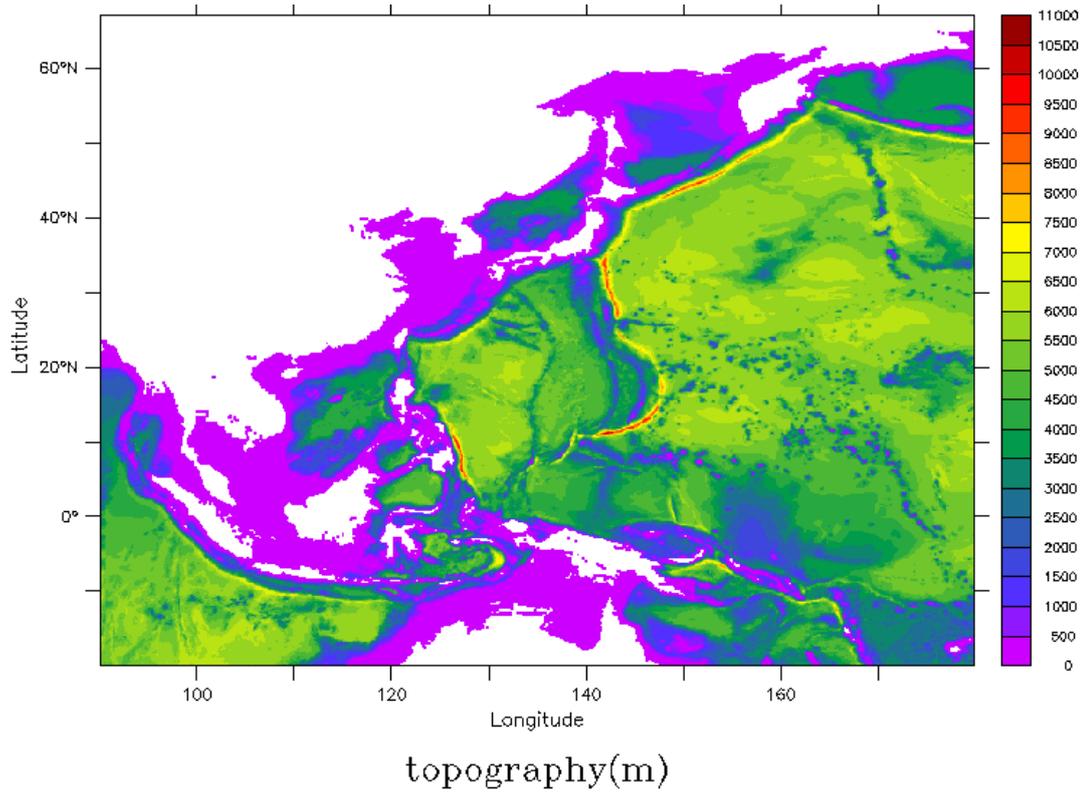


圖 5.1-1 西北太平洋環流模式範圍地形圖

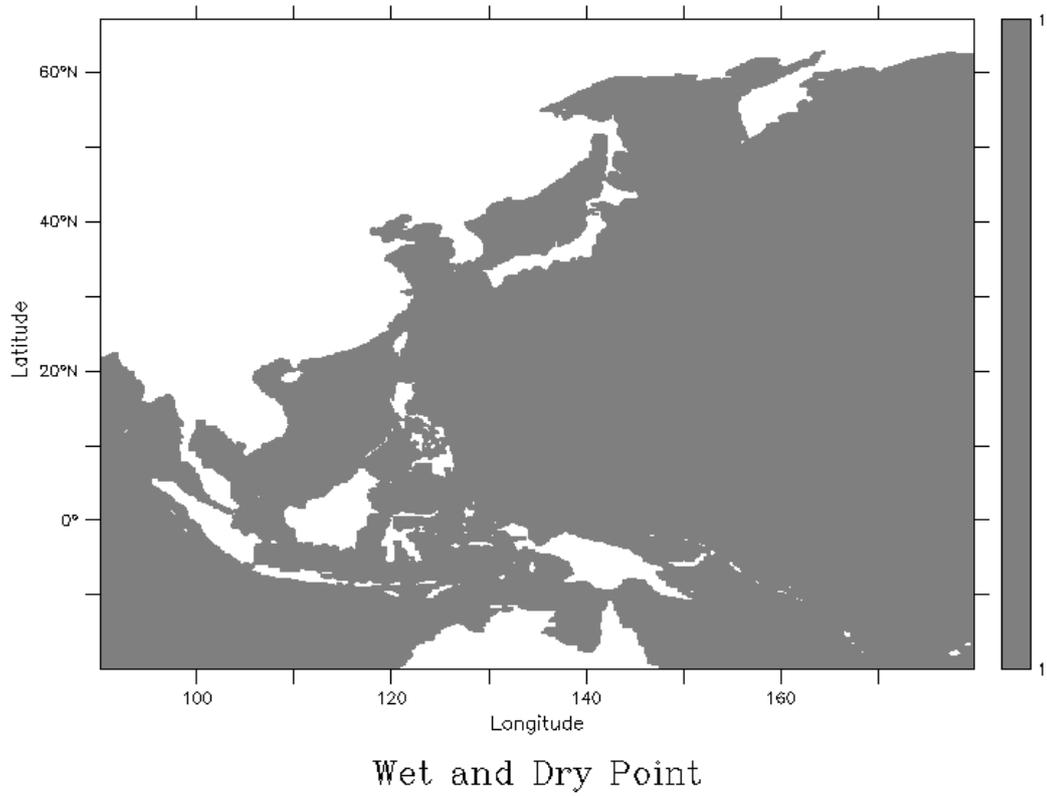


圖 5.1-2 西北太平洋環流模式計算點(濕點)配置

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經過校驗，因此目前仍暫時使用 HYCOM 全球模式(解析度為 1/12 度)2003 年 1 月 2 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，如圖 5.2-1 至圖 5.2-4。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。圖 5.2-5 至圖 5.2-10 為 OCM2 模式使用的溫度及鹽度邊界條件與 HYCOM 原始資料比較圖，目前邊界條件為使用月平均場輸入，邊界溫鹽剖面除了 HYCOM 在靠岸部份因為解析度較細，而有不同水深的水深變化外，整體的溫鹽剖面變化皆相同。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 2003 年 NCEP 重分析氣象資料(目前取得的資料為月平均值)進行驅動，圖 5.2-11 至圖 5.2-16 即為西北太平洋範圍之表面驅動力。

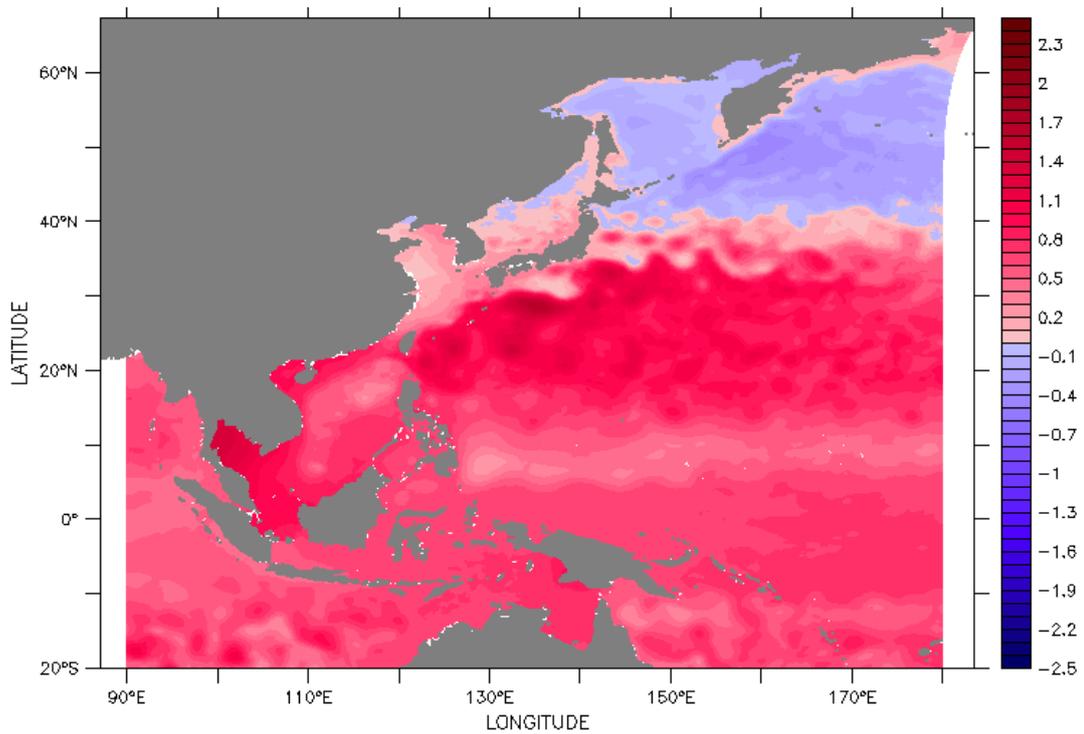
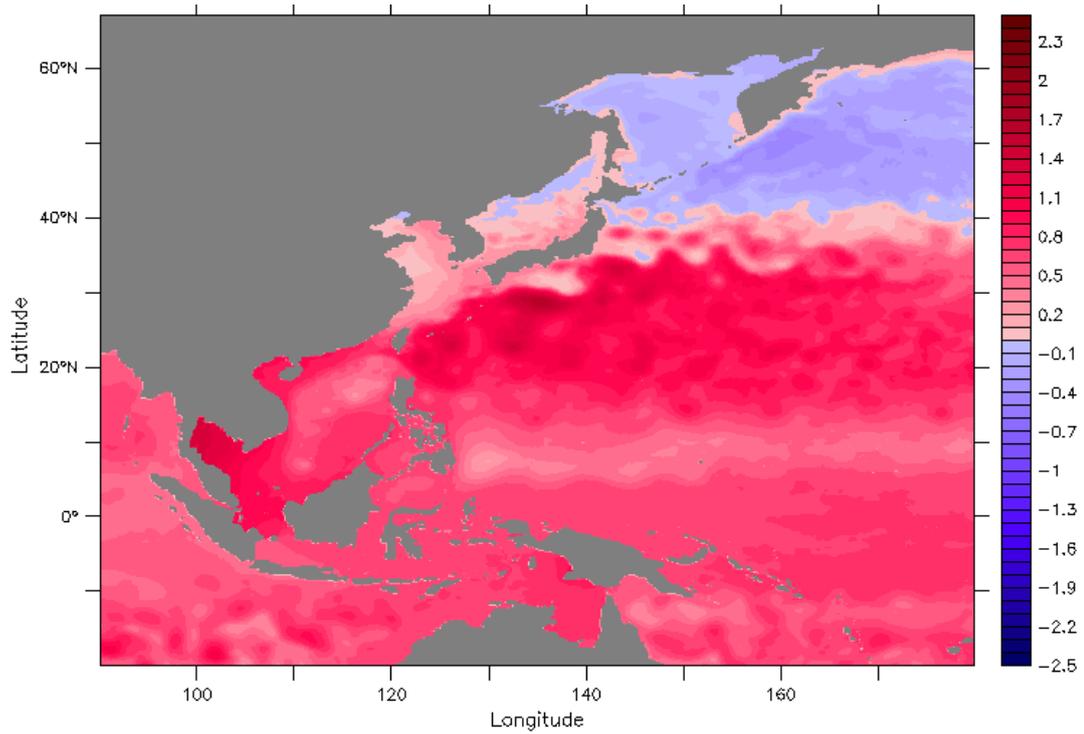
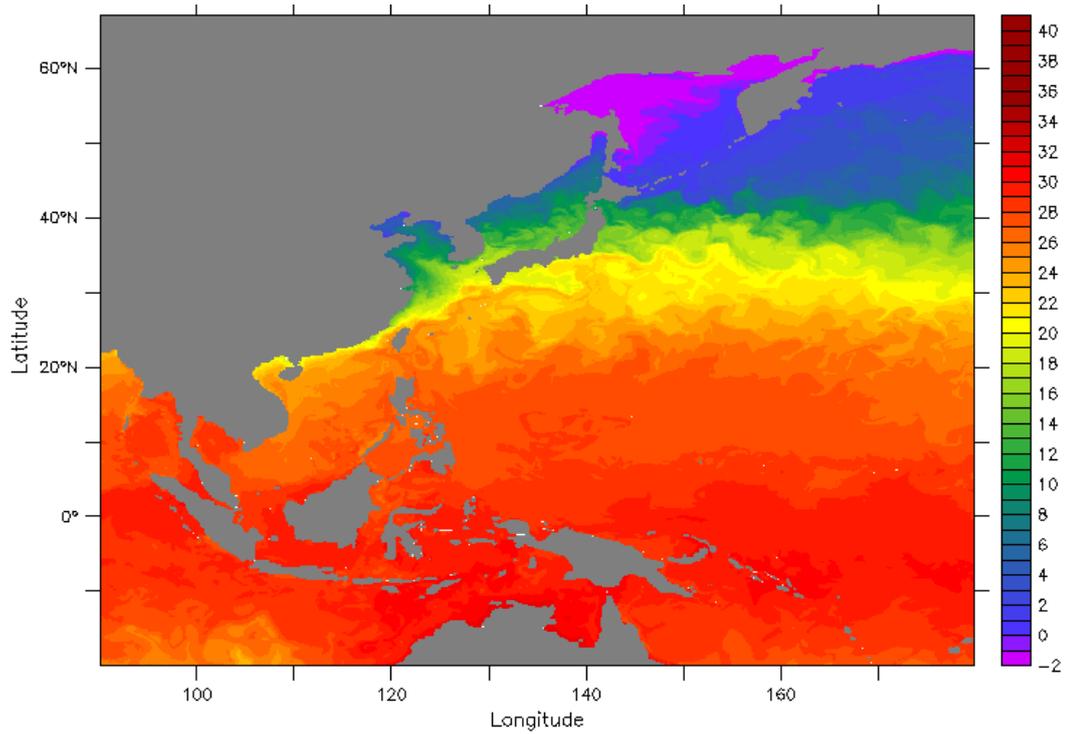
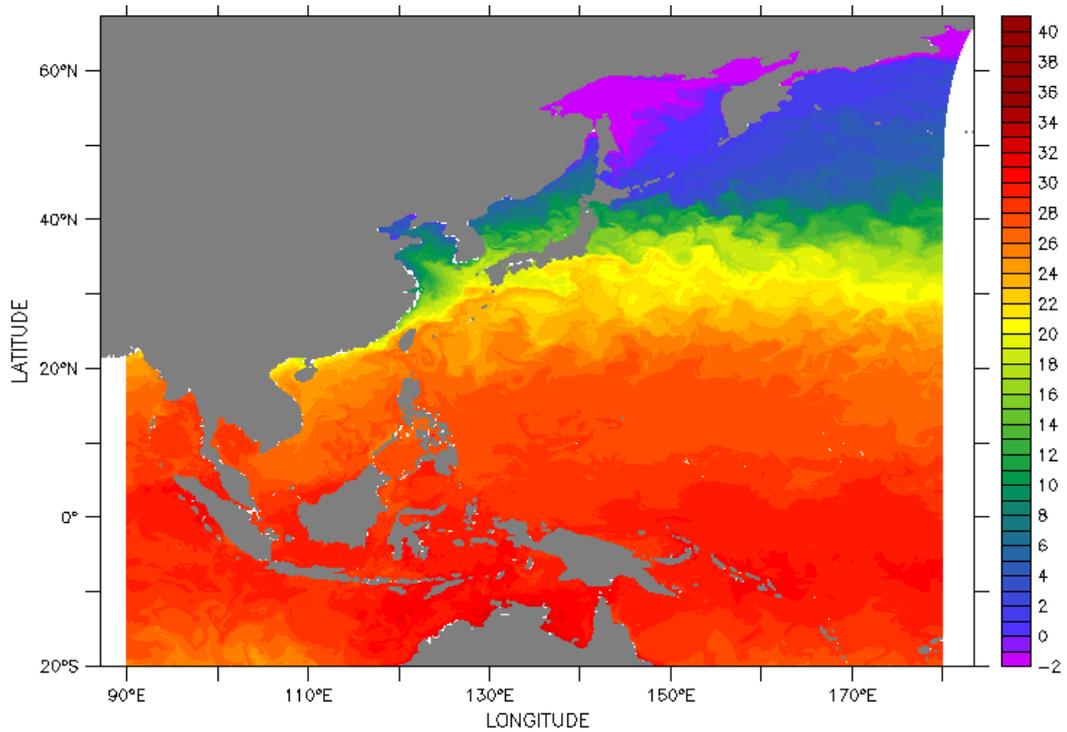


圖 5.2-1 2003 年 1 月模式海表面高起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)

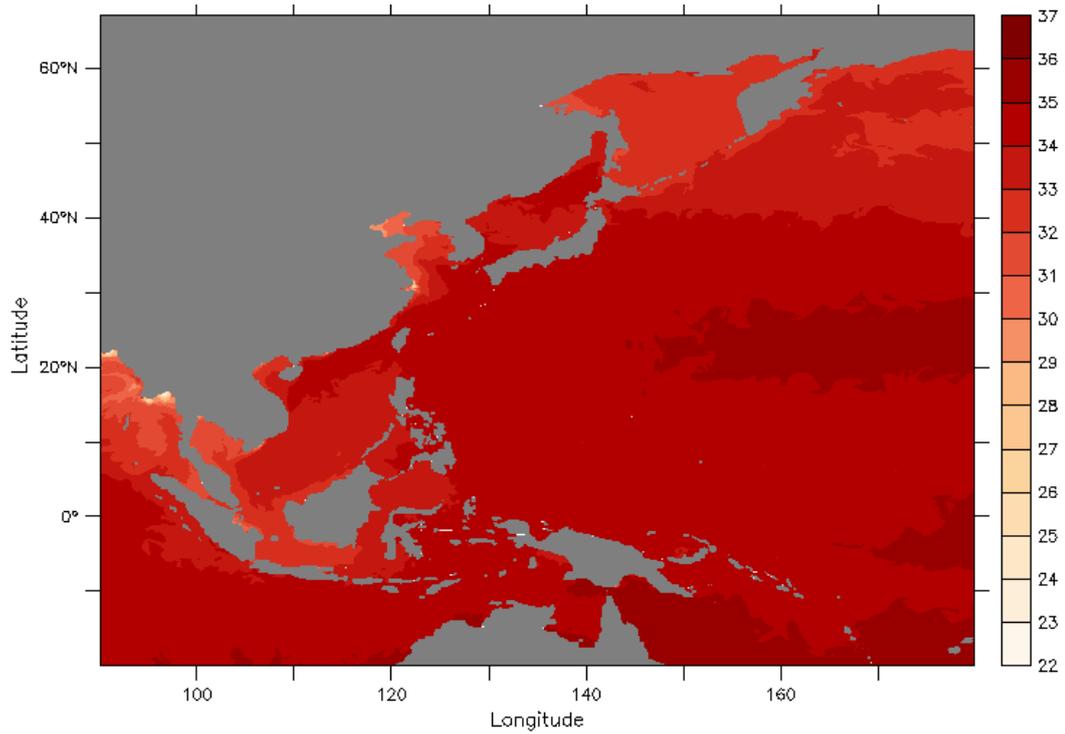


Sea Surface Temperature(degree)

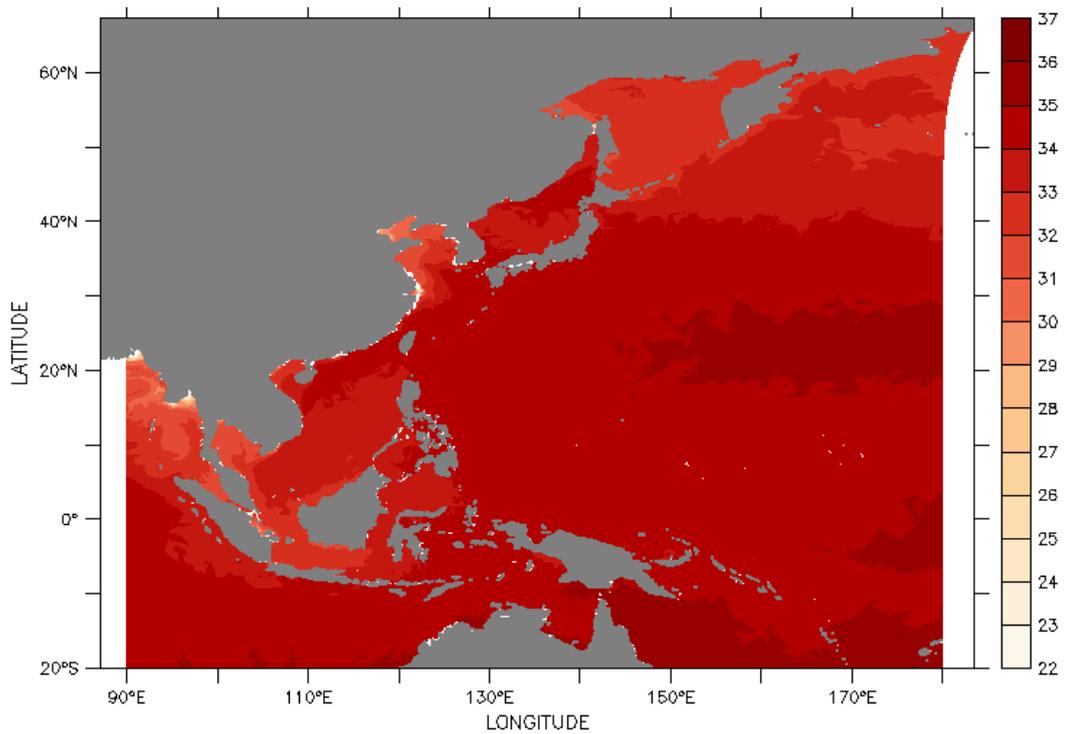


Sea Surface Temperature(degree)

圖 5.2-2 2003 年 1 月模式海表面溫度起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)

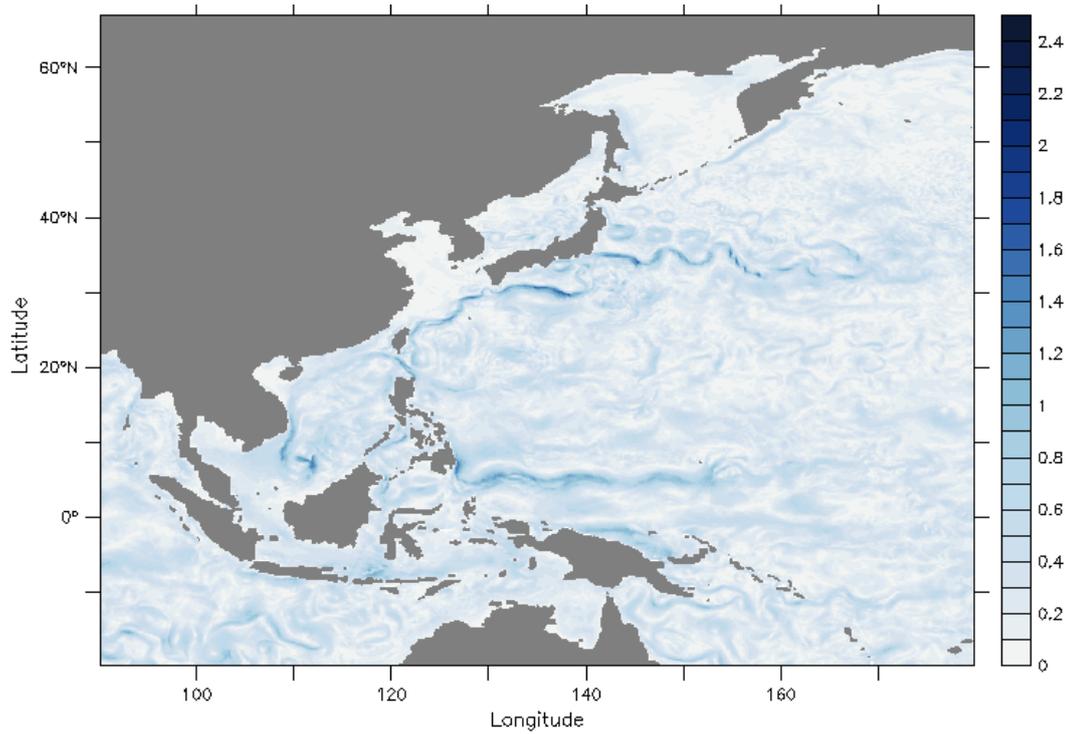


Sea Surface Salinity(psu)

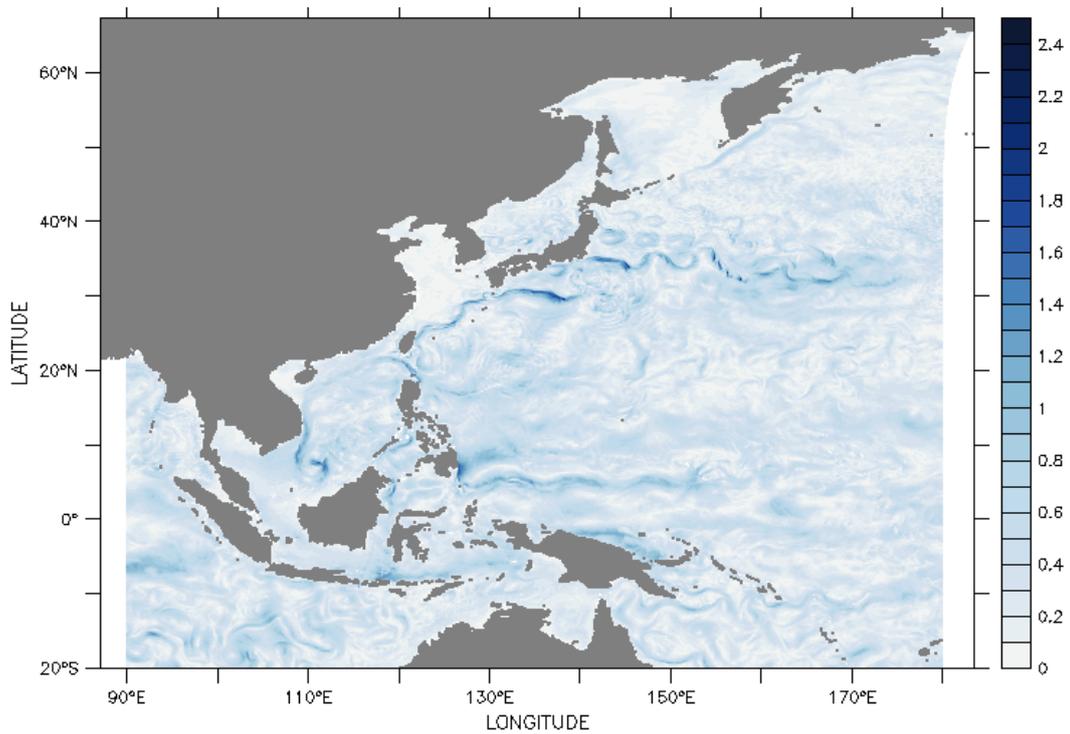


Sea Surface Salinity(psu)

圖 5.2-3 2003 年 1 月模式海表面鹽度起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)

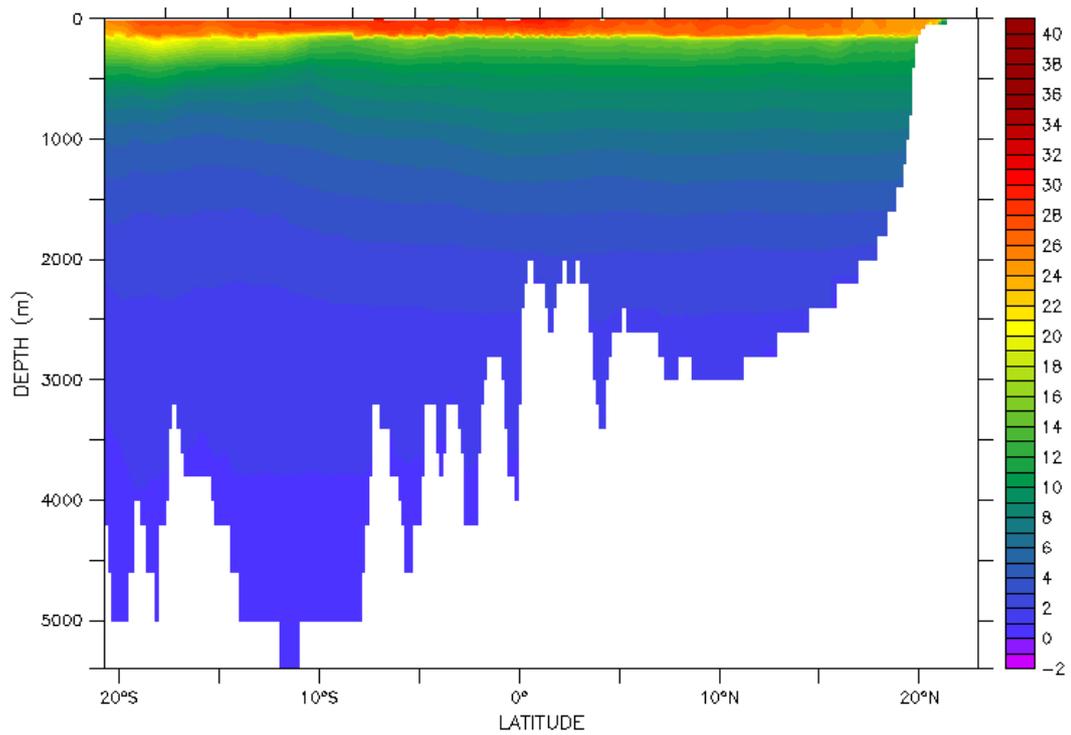


Sea Surface Velocity(m/s)

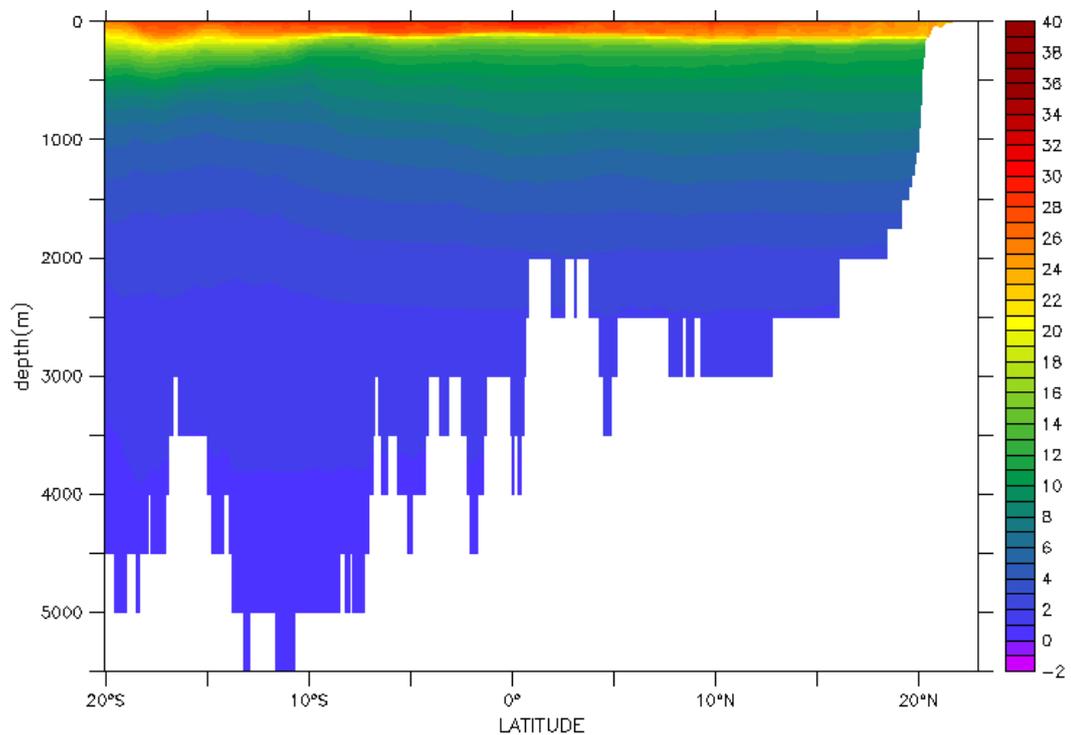


Sea Surface Velocity(m/s)

圖 5.2-4 2003 年 1 月模式海表面速度起始值分佈圖(上：OCM2，下：HYCOM)

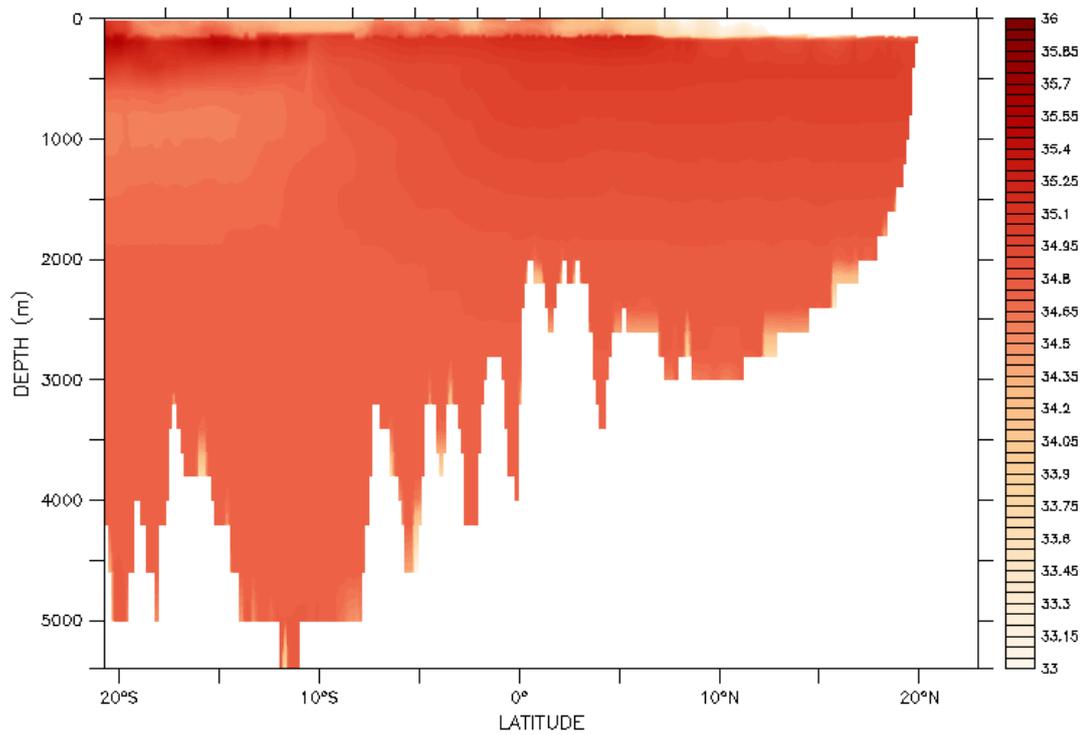


Monthly Mean of Temperature(degree)

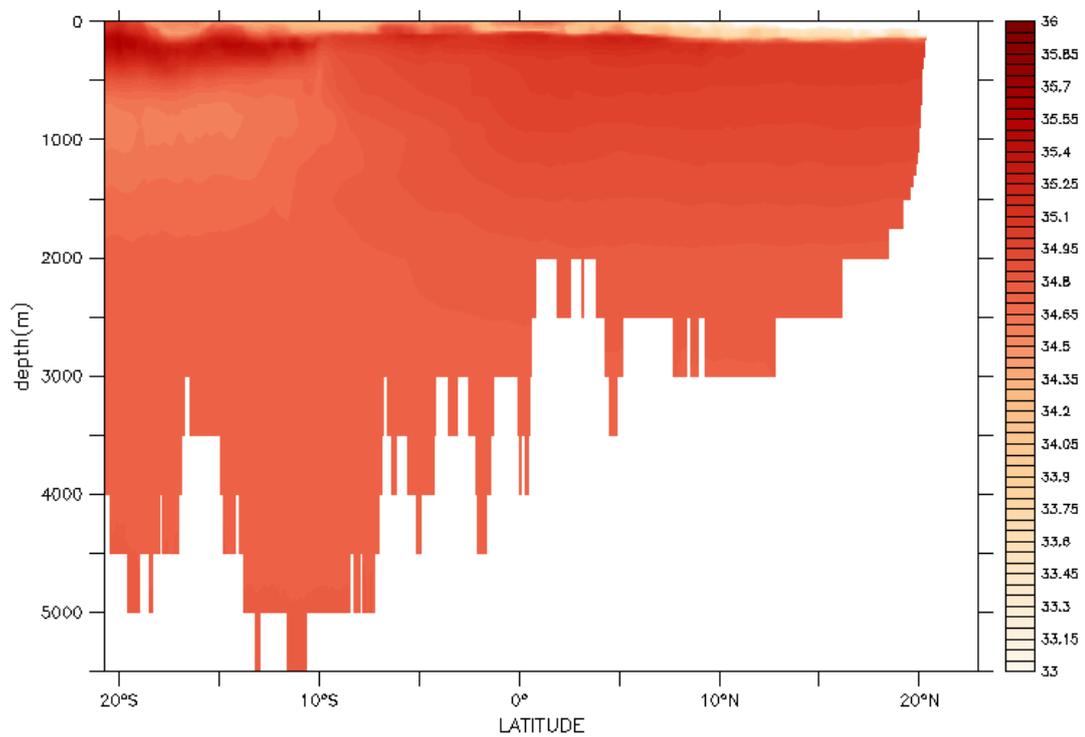


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.2-5 2003 年 1 月模式西邊界溫度分佈圖(上:OCM2,下:HYCOM)

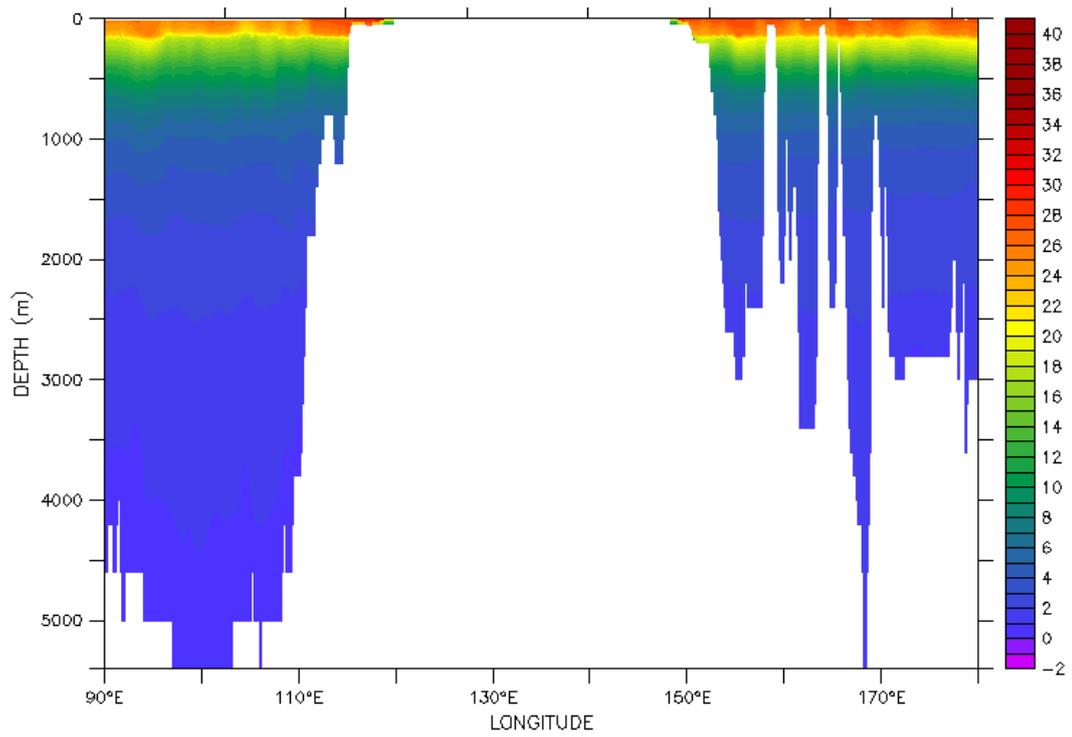


Monthly Mean of Salinity(psu)

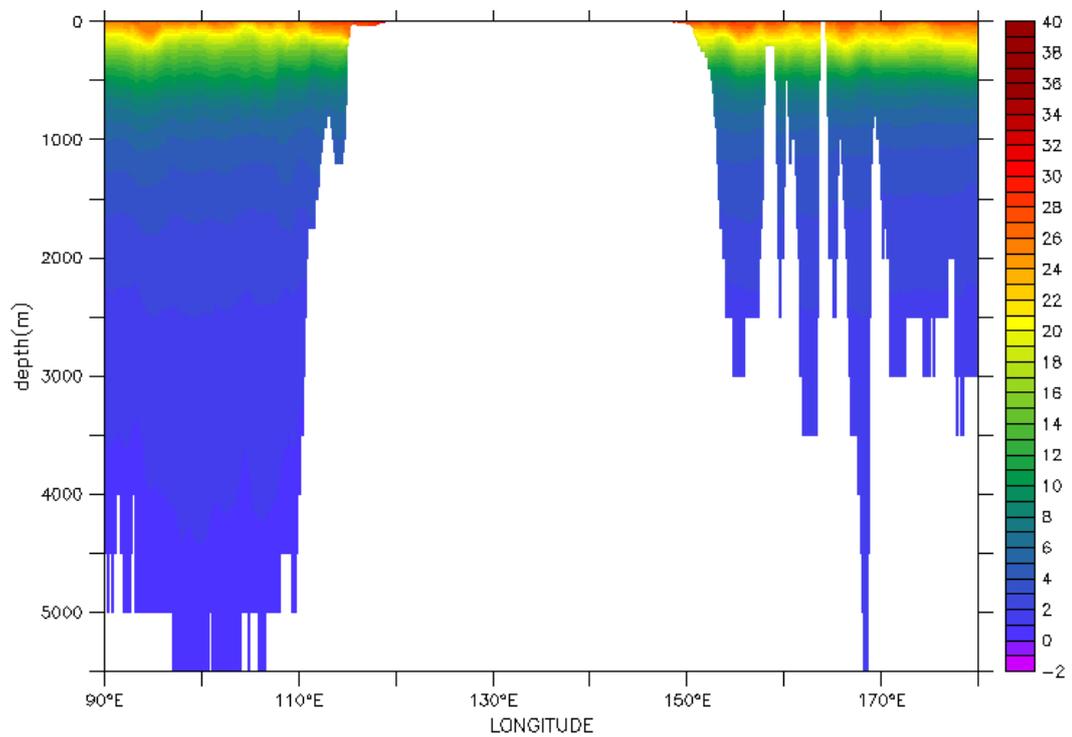


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.2-6 2003 年 1 月模式西邊界鹽度分佈圖(上:OCM2,下:HYCOM)

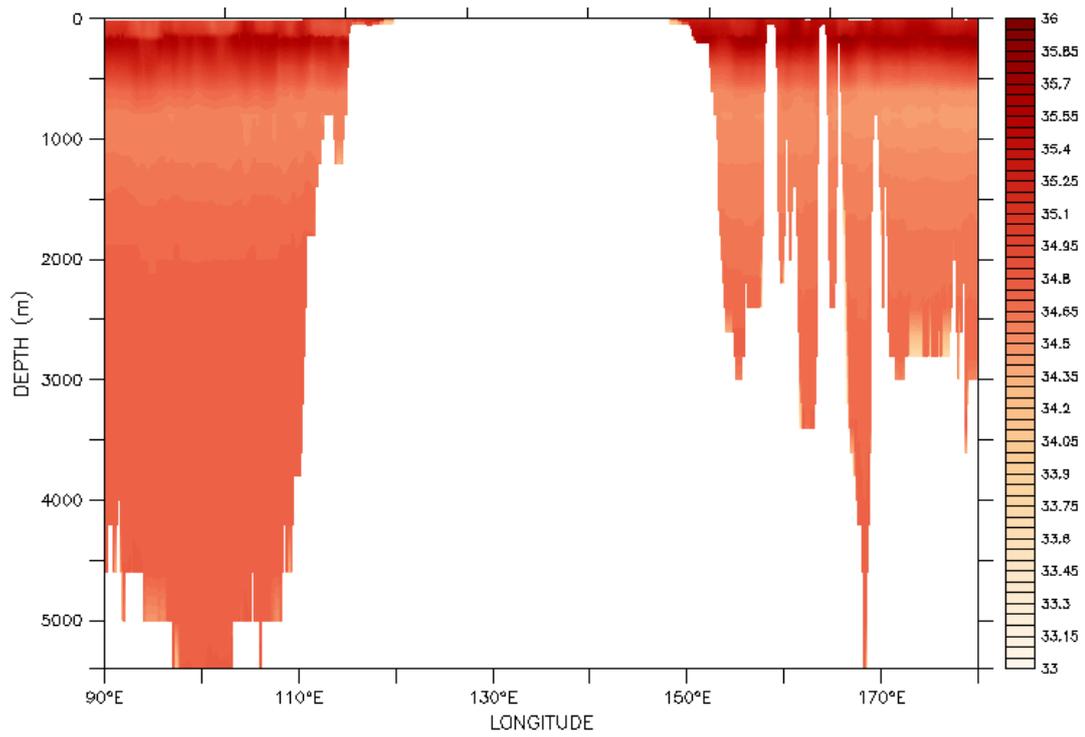


Monthly Mean of Temperature(degree)

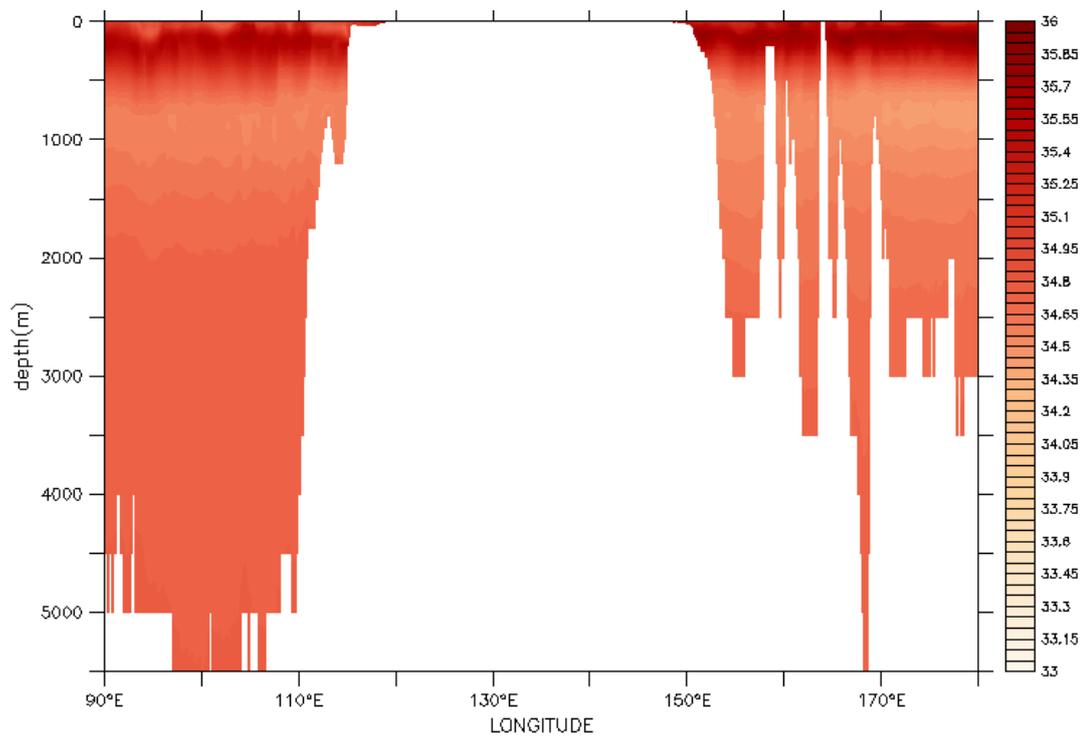


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.2-7 2003 年 1 月模式南邊界溫度分佈圖(上:OCM2,下:HYCOM)

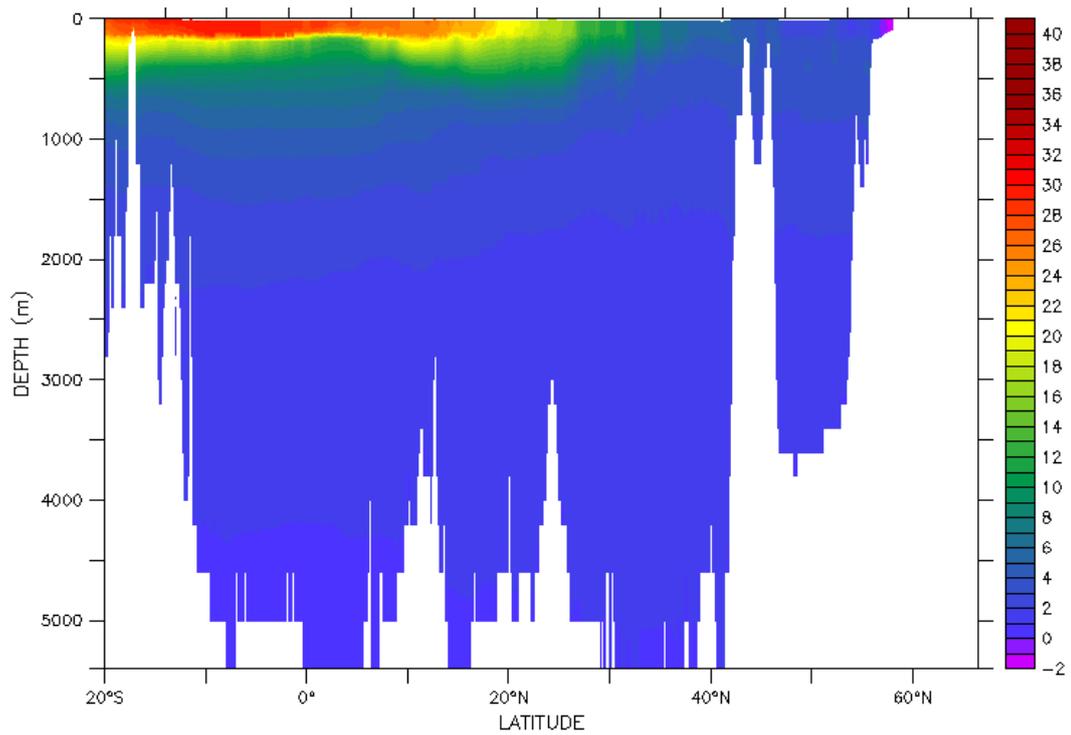


Monthly Mean of Salinity(psu)

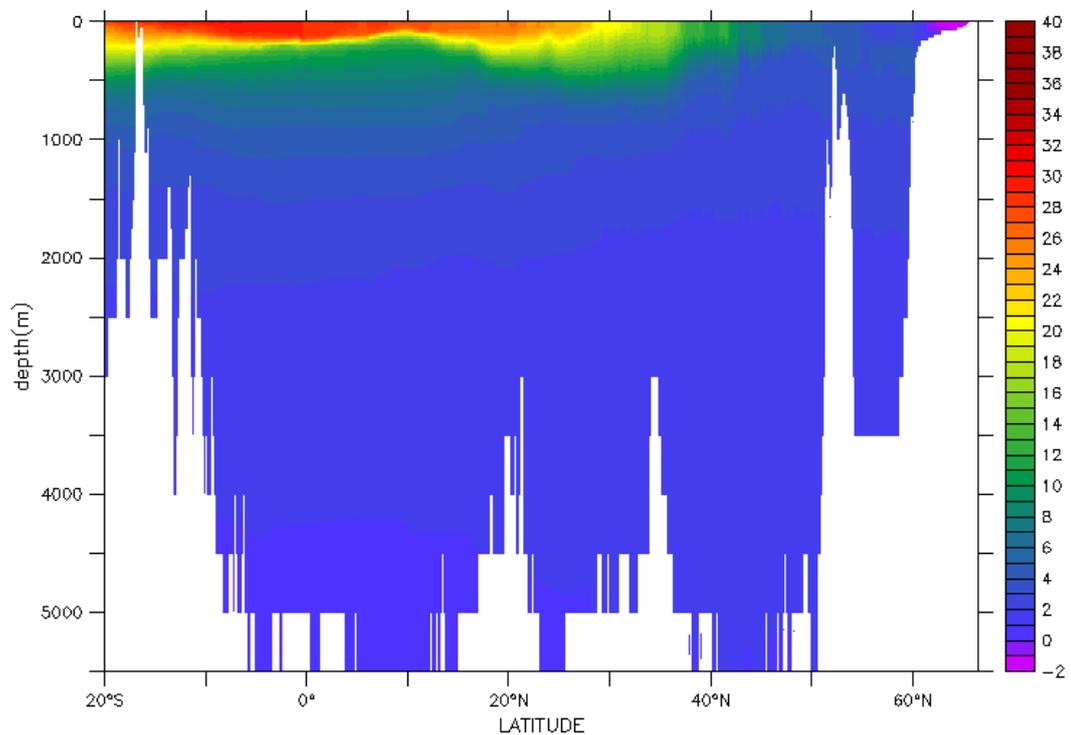


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.2-8 2003 年 1 月模式南邊界鹽度分佈圖(上:OCM2,下:HYCOM)

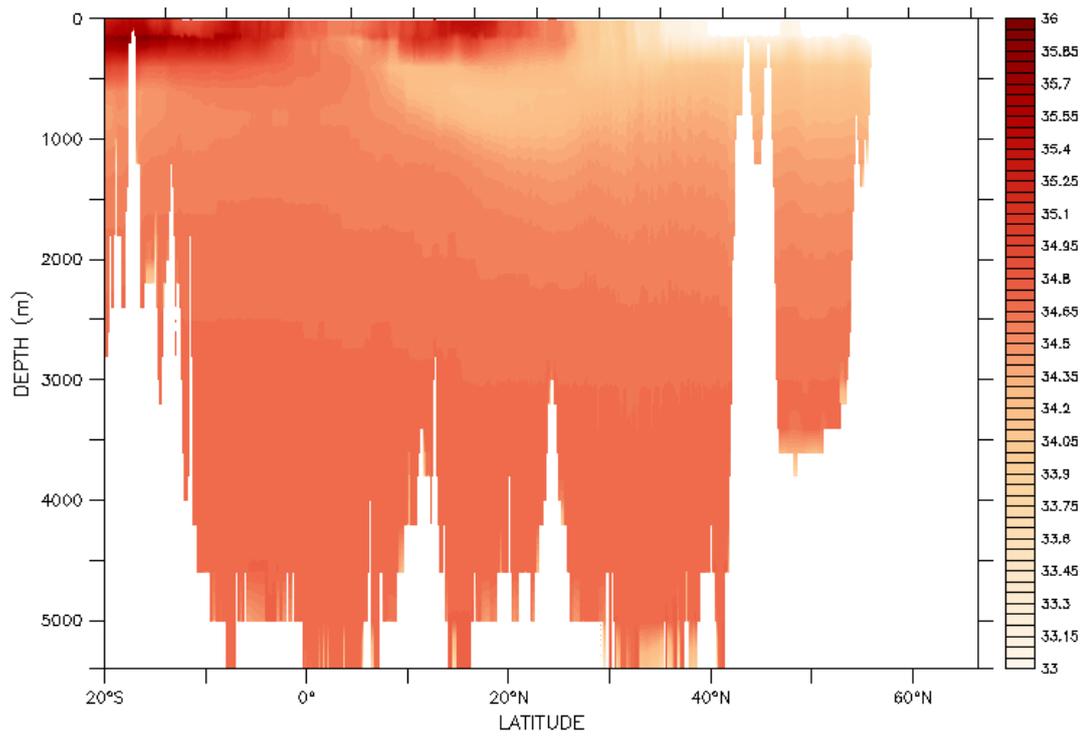


Monthly Mean of Temperature(degree)

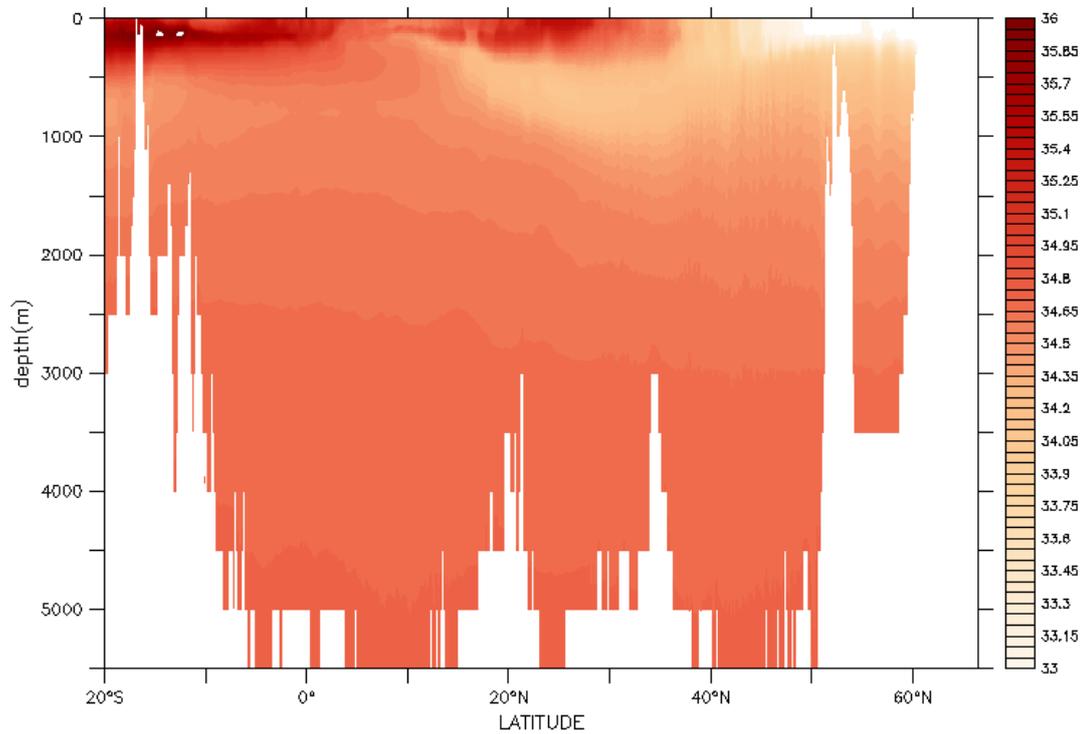


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.2-9 2003 年 1 月模式東邊界溫度分佈圖(上:OCM2,下:HYCOM)

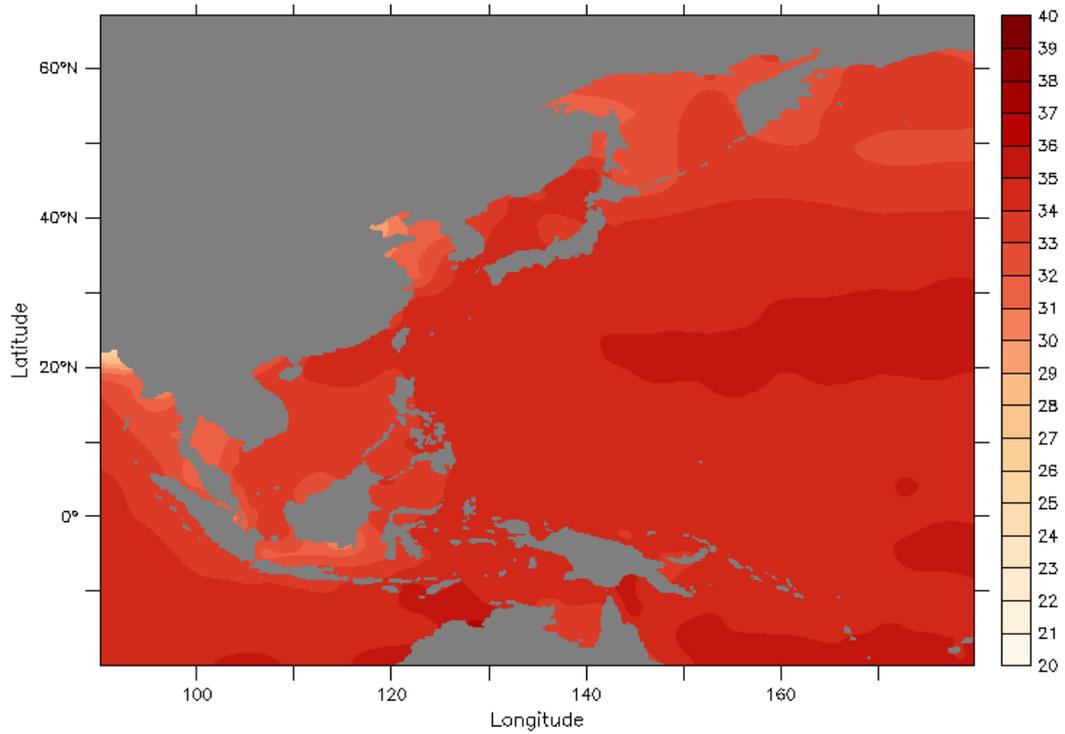


Monthly Mean of Salinity(psu)

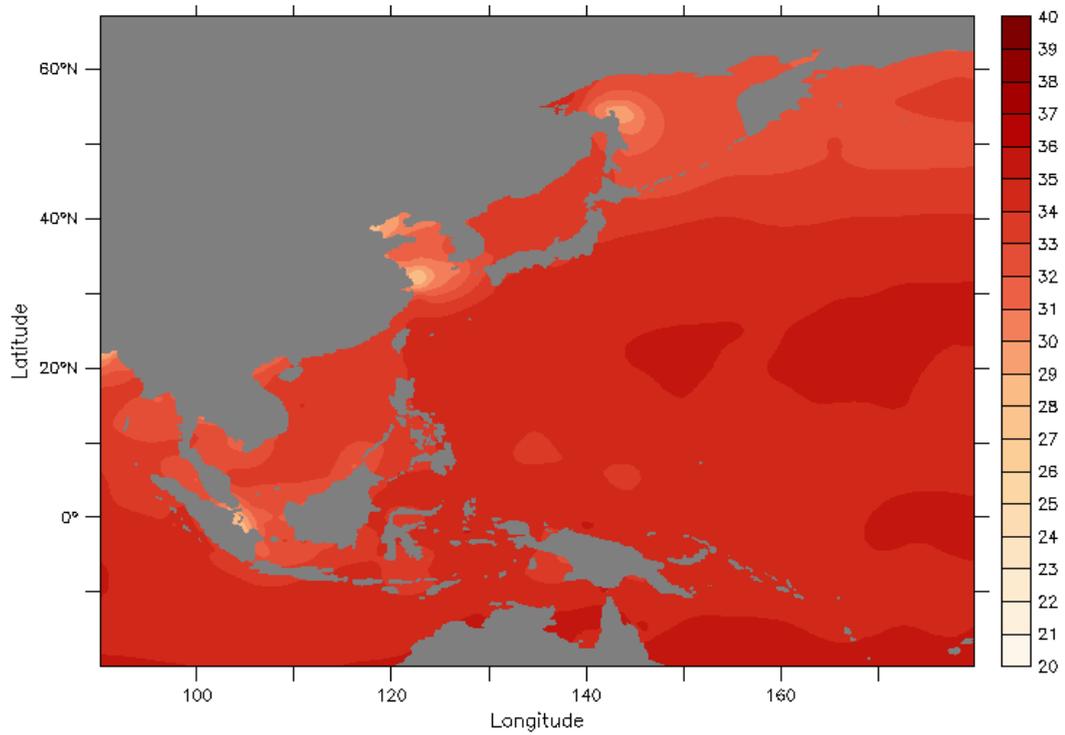


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.2-10 2003 年 1 月模式東邊界鹽度分佈圖(上:OCM2,下:HYCOM)

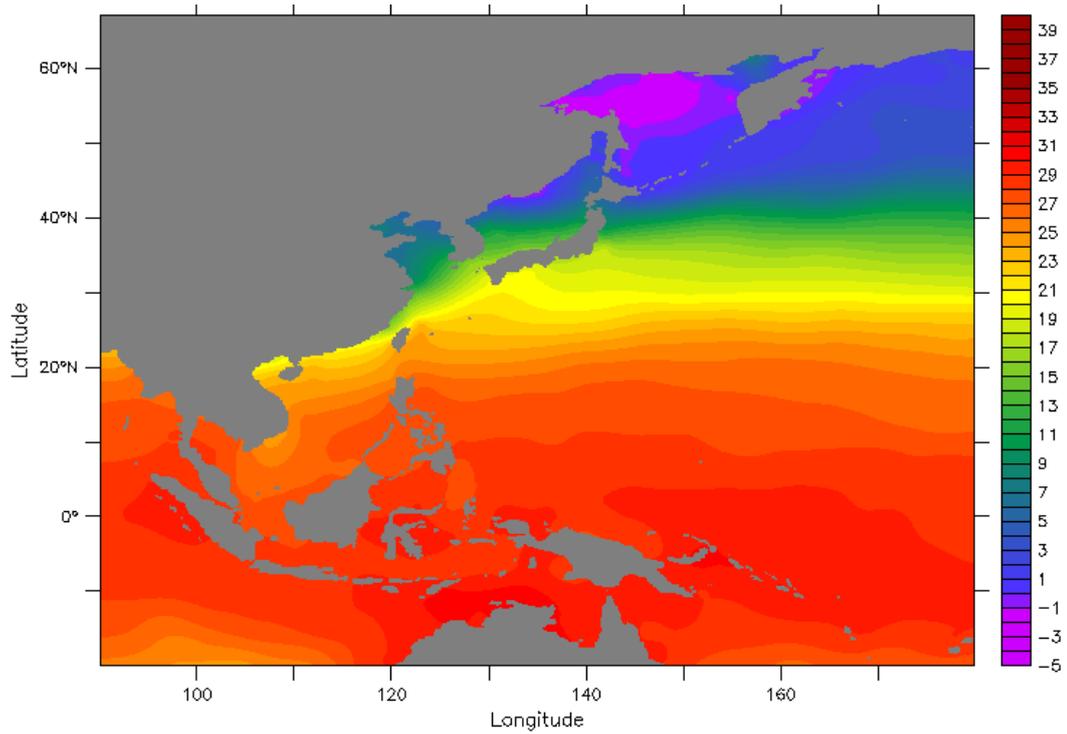


Sea Surface Salinity (psu)

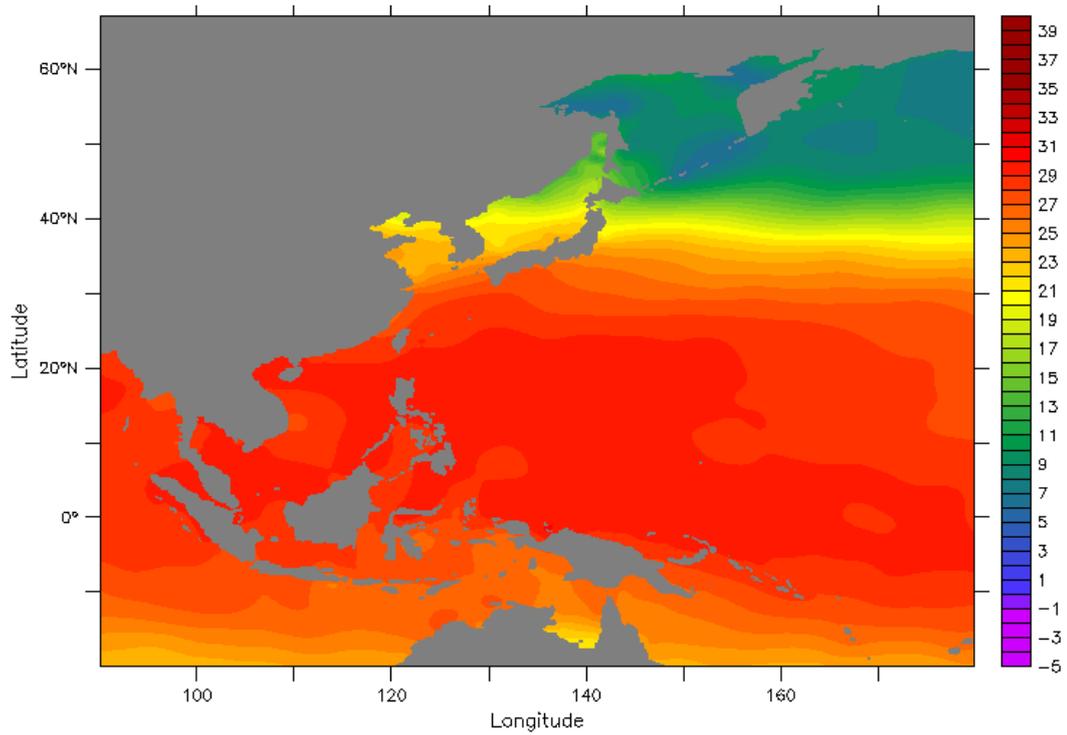


Sea Surface Salinity (psu)

圖 5.2-11 NCEP 模式 2003 年月平均海表面鹽度分佈圖(上：1 月，下：7 月)

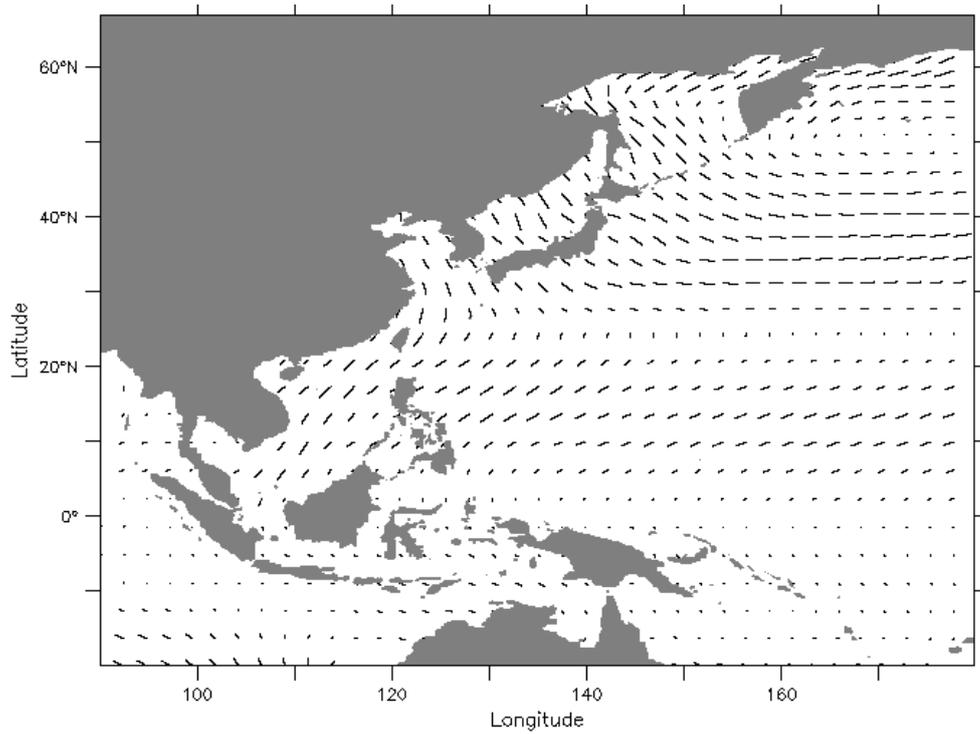


Sea Surface Temperature (Celsius)

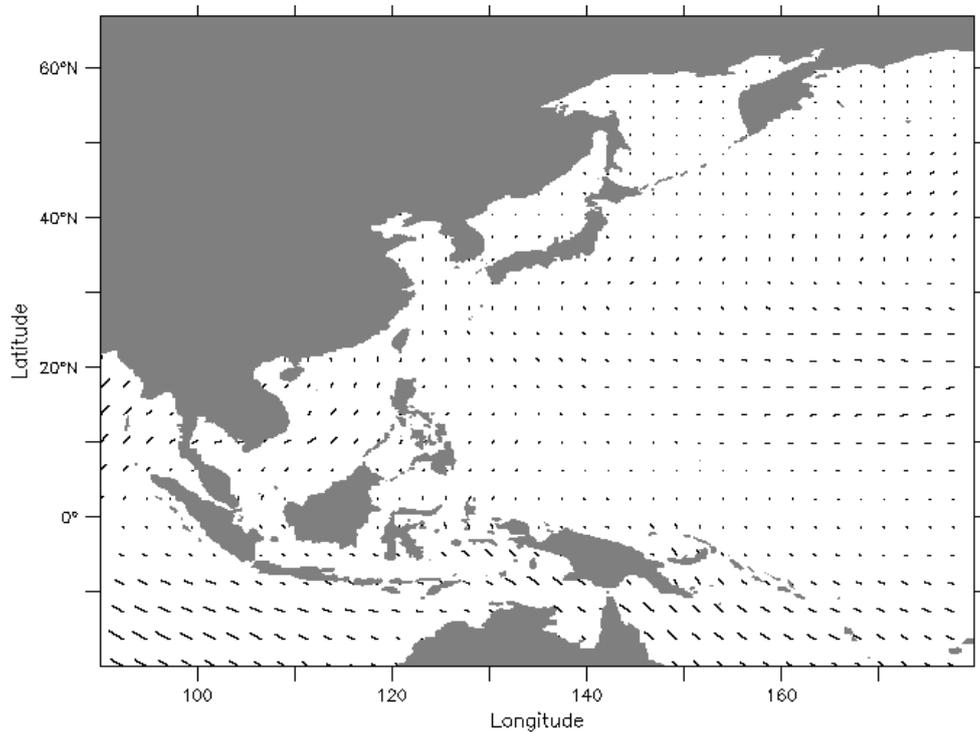


Sea Surface Temperature (Celsius)

圖 5.2-12 NCEP 模式 2003 年月平均海表面溫度分佈圖(上：1 月，下：7 月)

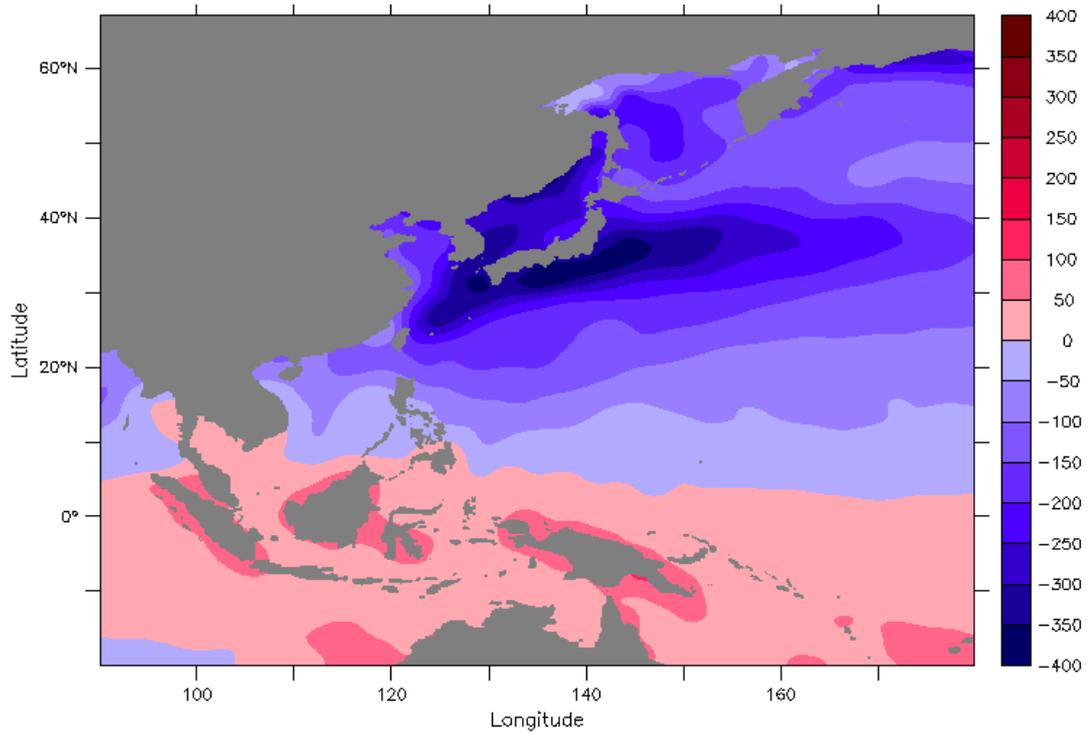


surface shear stress(newton meter⁻²)

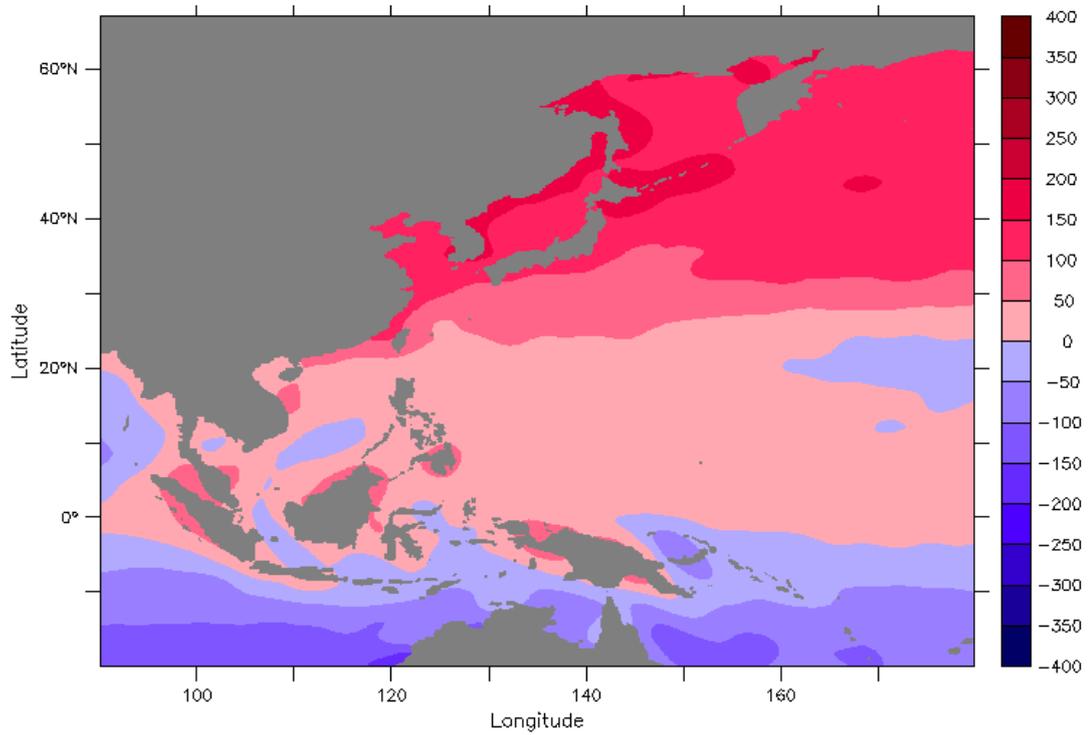


surface shear stress(newton meter⁻²)

圖 5.2-13 NCEP 模式 2003 年月平均海表面風剪力分佈圖(上：1 月，
下：7 月)

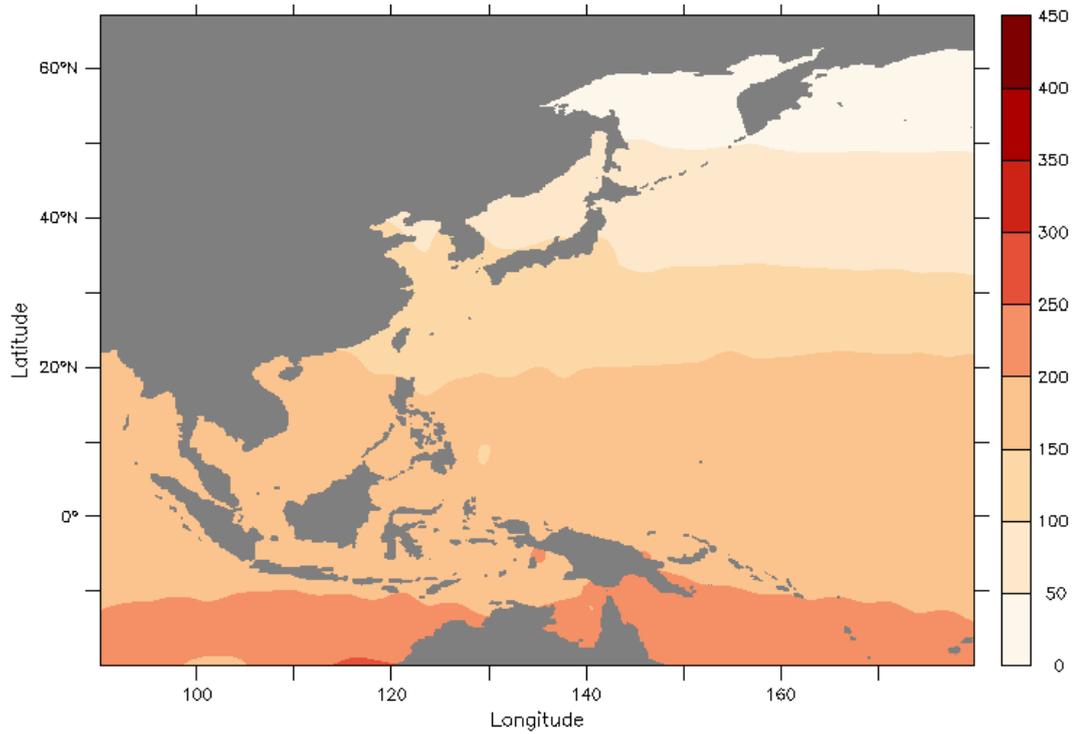


Surface net heat flux (Watt meter-2)

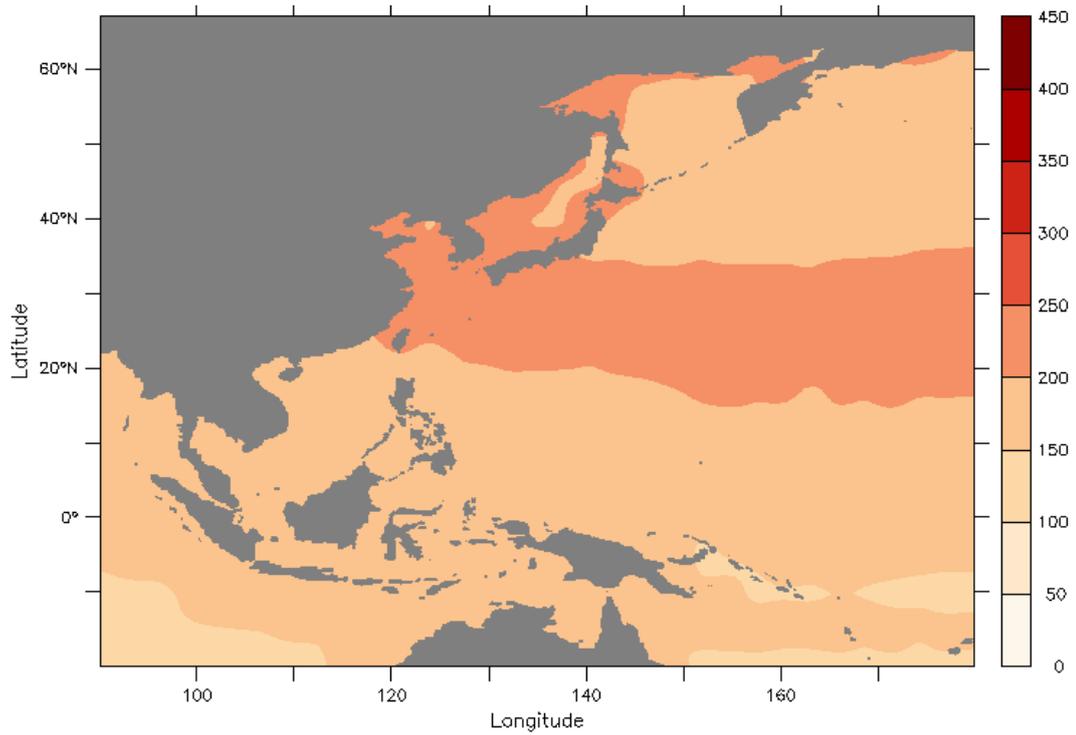


Surface net heat flux (Watt meter-2)

圖 5.2-14 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨熱通量分佈圖(上：1 月，下：7 月)

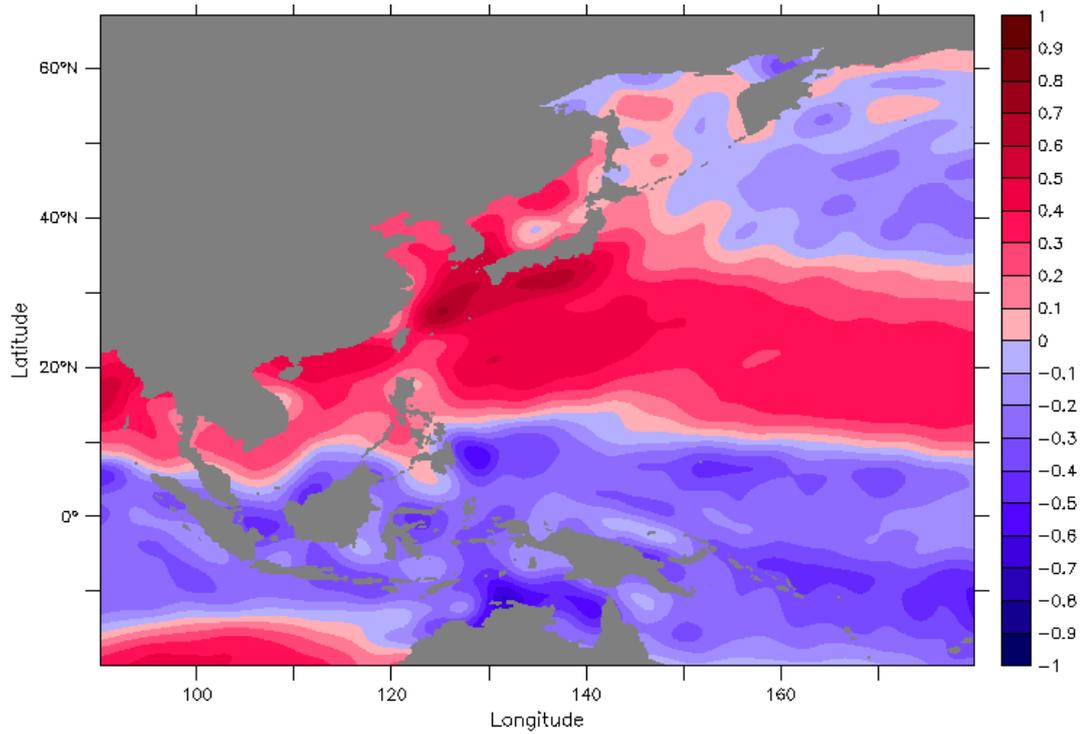


solar shortwave radiation (Watts meter-2)

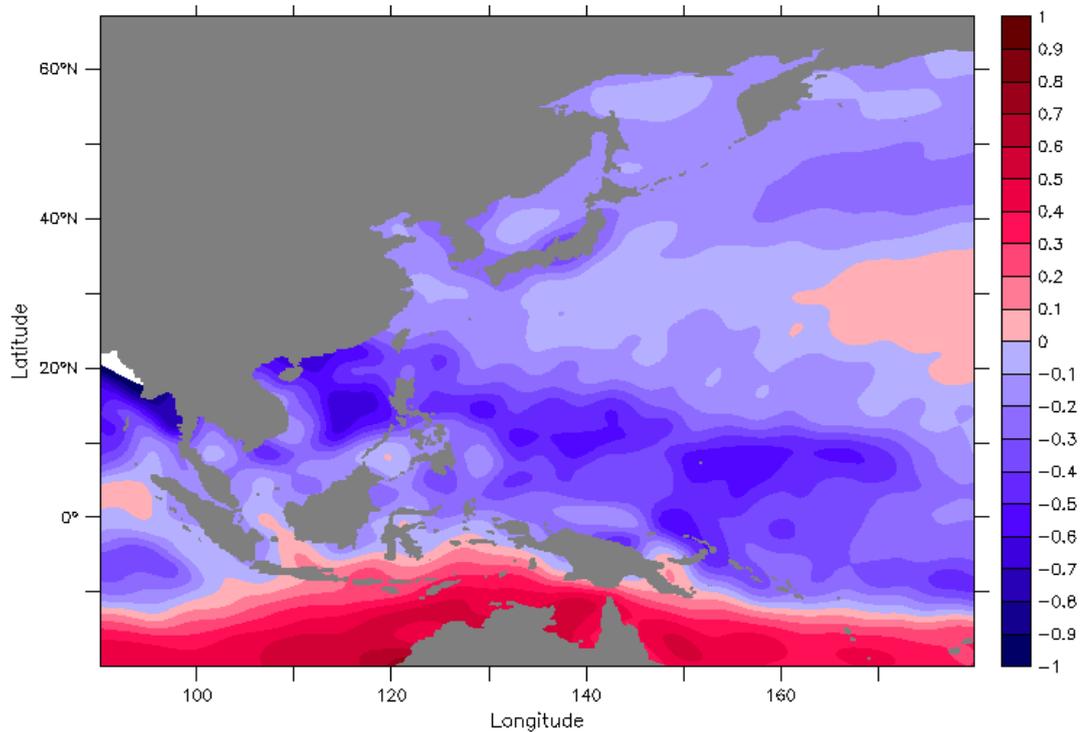


solar shortwave radiation (Watts meter-2)

圖 5.2-15 NCEP 模式 2003 年月平均海表面短波輻射分佈圖(上:1 月, 下:7 月)



surface freshwater flux (E-P) (centimeter day⁻¹)



surface freshwater flux (E-P) (centimeter day⁻¹)

圖 5.2-16 NCEP 模式 2003 年月平均海表面淨降雨量分佈圖(上:1 月, 下:7 月)

5.3 模式結果

本年度 OCM2 模式建置完成後，與 OCM1 一樣進行了冬季及夏季的模擬，冬季模擬時間為 2003 年 1 月，夏季的模擬時間則為 7 月，資料同樣使用 HYCOM 模式結果進行初步比對，為了展示方便，僅畫出東經 105 度至 140 度，北緯 15 度至 42 度，時間為月平均資料，比對的資料包括海表面水溫、鹽度及流速，另外也針對黑潮進行比對，包括北緯 23 度剖面及東經 121 度(呂宋海峽)剖面。

圖 5.3-1 至圖 5.3-9 為 1 月份的模擬比對結果。圖 4.3-1 至圖 4.3-3 為海表面水溫、鹽度及流速比對。OCM2 的海水表層溫度模擬結果與 HYCOM 的模擬結果大致相同，僅在越南、大陸沿岸地區至韓國沿岸區溫度較 HYCOM 結果高，以及黃海海域低溫水團較 HYCOM 範圍大。在海水表層鹽度分佈，OCM2 模式的結果與 HYCOM 的分佈同樣類似，除了南海海域鹽度較大值區域較 HYCOM 結果為寬，鹽度極小值落於渤海灣其部份黃海海域。海表面流速的比對差異比 OCM1 好，可明顯看出黑潮路徑於南海區域、菲律賓東部及台灣東部海域，不過延伸至日本後，OCM2 的結果就不如 HYCOM 的結果明顯，且在北緯 10 度菲律賓東部有較大的流速分佈，此部份 HYCOM 結果並未有此現象。

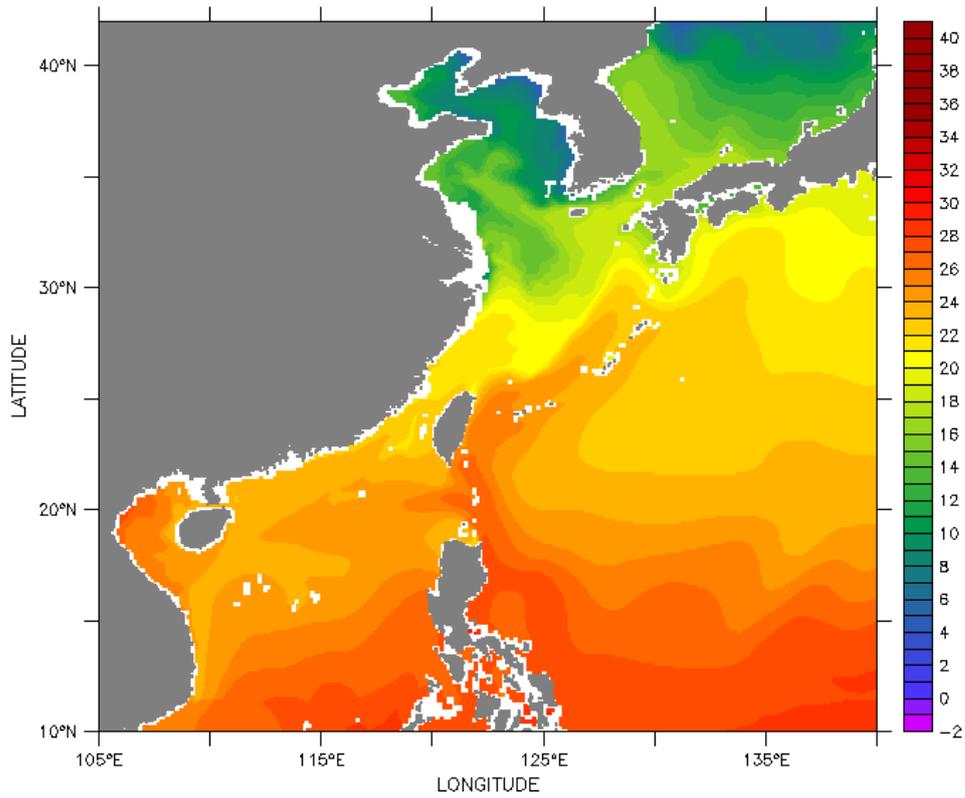
圖 5.3-4 至圖 5.3-9 為北緯 23 度(東經 120 至 130 度)及東經 121 度 1 月份 600 公尺以上垂直水溫、鹽度及流速分佈圖。位於北緯 23 度，垂直水溫分佈，OCM2 的暖水層比 OCM1 的模擬結果更不明顯，在水團寬度及水溫皆較 HYCOM 小，且在水平溫度分佈上也與 OCM1 及 HYCOM 不同；在鹽度部份，HYCOM 資料觀察到鹽度較高的中層海水，OCM2 結果一樣無法模擬出此現象，僅在外海部份有較高的鹽度分佈；流速分佈則可發現 OCM2 在向北流速部份較 HYCOM 結果大，往南的區域也較 HYCOM 寬。位於東經 121 度剖面處(呂宋海峽)，垂直溫度分佈，HYCOM 的暖水團厚度明顯較厚，最大厚度可達 150 至 200 公尺，OCM2 雖有較高水溫，然與 HYCOM 結果比仍然偏小；鹽度分佈則明顯不同，OCM2 鹽度較大區域並未模擬出來，

HYCOM 結果則在 100 至兩百公尺有鹽度極大值區域；流速分佈上，OCM2 的結果與 HYCOM 資料有類似的趨勢，但是在巴士海峽區域，則沒有流出呂宋海峽的訊號。

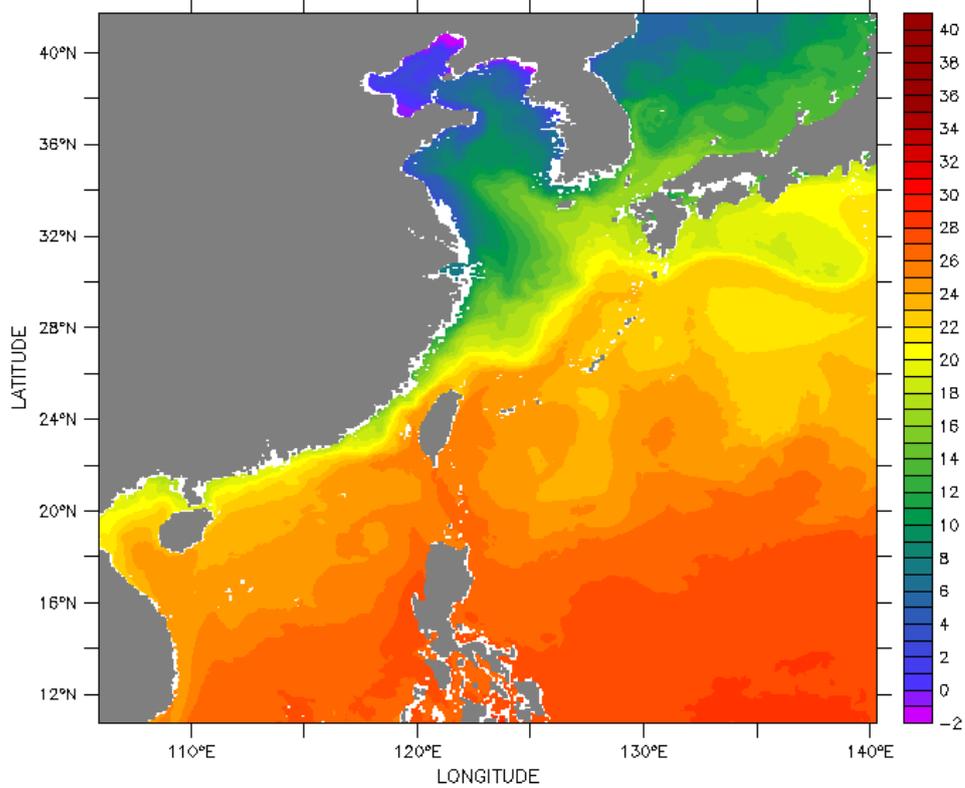
圖 5.3-10 至圖 5.3-18 為 7 月份的模擬比對結果。圖 5.3-10 至圖 5.3-12 為海表面水溫、鹽度及流速比對。與 1 月結果類似，在海表面水溫部份，OCM2 與 HYCOM 結果相當接近，僅在渤海灣及日本海有較大的差異，OCM2 溫度結果高於 HYCOM。鹽度的比對上，結果水溫類似，僅有幾處與 HYCOM 結果有差異，分別在南海及日本海區預，鹽度皆大於 HYCOM 結果，而鹽度較淡的區域與 1 月結果一樣分佈在渤海灣內及黃海北部海域。海表面流速分佈，7 月份黑潮趨勢較 1 月明顯，不管在 OCM2 的模擬結果還是 HYCOM 的模擬結果都可以發現，然 OCM2 的結果在路徑的完整度仍然比 HYCOM 少，且在北緯 10 度的南海區域及菲律賓東部海域產生流速過大的現象。

圖 5.3-13 至圖 5.3-18 為北緯 23 度(東經 120 至 130 度)及東經 121 度 7 月份 600 公尺以上垂直水溫、鹽度及流速分佈圖。位於北緯 23 度溫度垂直分佈，雖然溫度較 1 月份結果為高，且暖水團厚度也較 1 月份厚，但是結果仍然明顯低於 HYCOM 的結果；鹽度分佈上與 1 月比對結果類似，OCM2 並無法模擬出的此區的中層鹽度極值區；在流速的垂直分佈，斷面呈現兩區向北兩區向南的狀態，OCM2 與 HYCOM 在此斷面的結果相當類似。位於東經 121 度斷面處，在水溫垂直分佈上與北緯 23 度類似，雖然暖水團水溫及厚度皆有增加，仍然比 HYCOM 結果小很多；鹽度的分佈與 1 月的結果相同，OCM2 對於此區中層鹽度較高的水層沒辦法解析；流速分佈結果，OCM2 的結果與 HYCOM 類似，但是在靠台灣海岸區域流出的訊號較 HYCOM 為弱。

透過模式平面結果及垂直結果比對，OCM2 於海表面的模擬結果與 OCM1 類似，在趨勢上吻合度較高，但是於垂直剖面的比對結果同樣不盡理想，未來仍需進行更多的模式參數調整，以得到更好的結果。

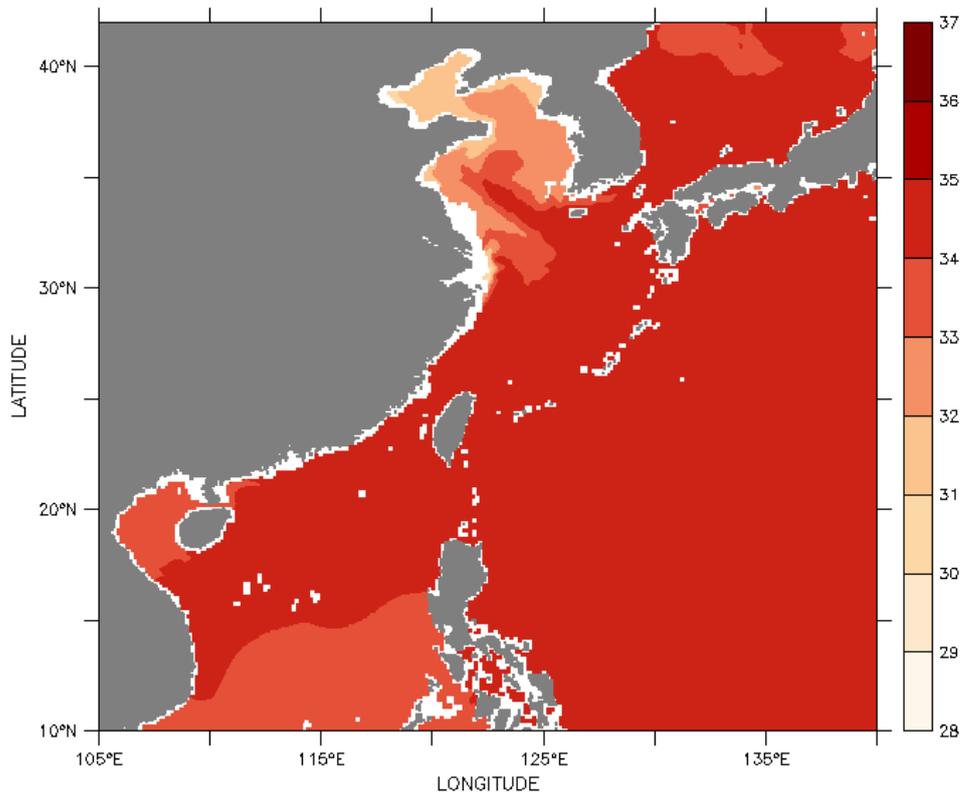


Monthly Mean of Temperature(degree)

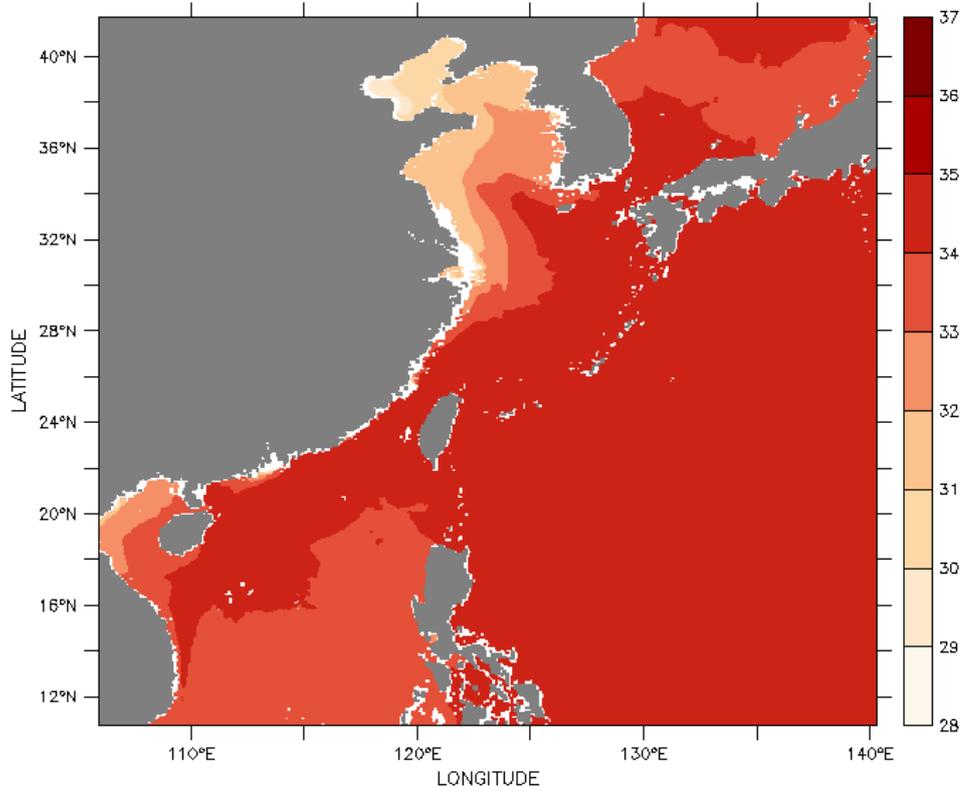


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.3-1 2003 年 1 月表層月平均溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

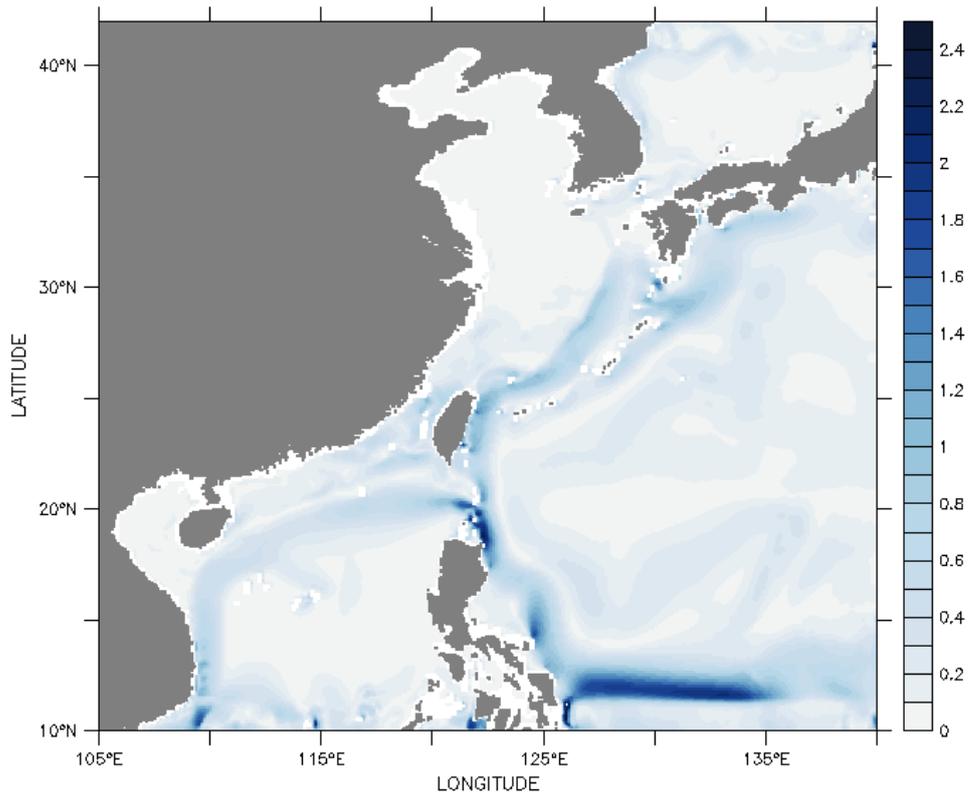


Monthly Mean of Salinity(psu)

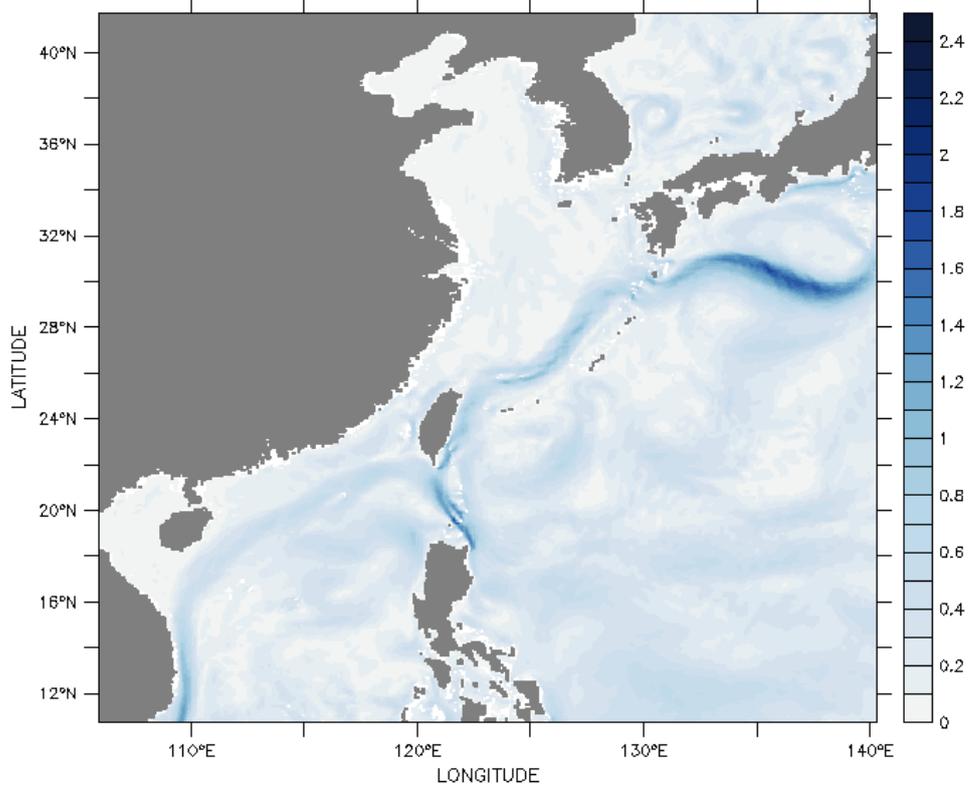


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.3-2 2003 年 1 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

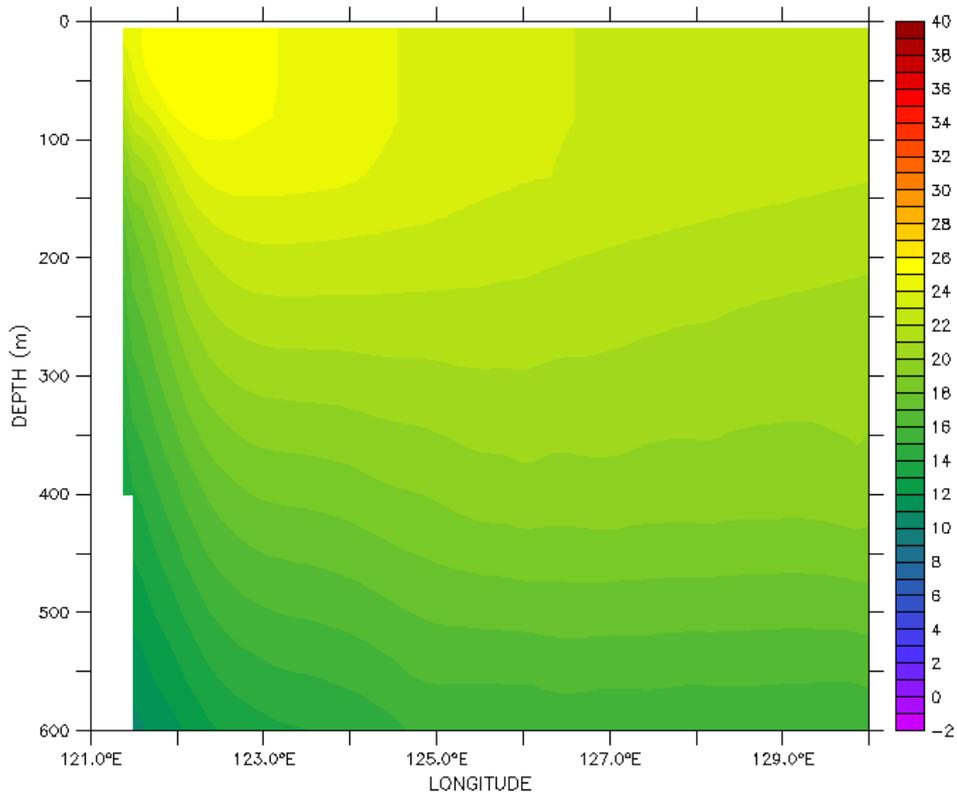


Monthly Mean of Velocity(m/s)

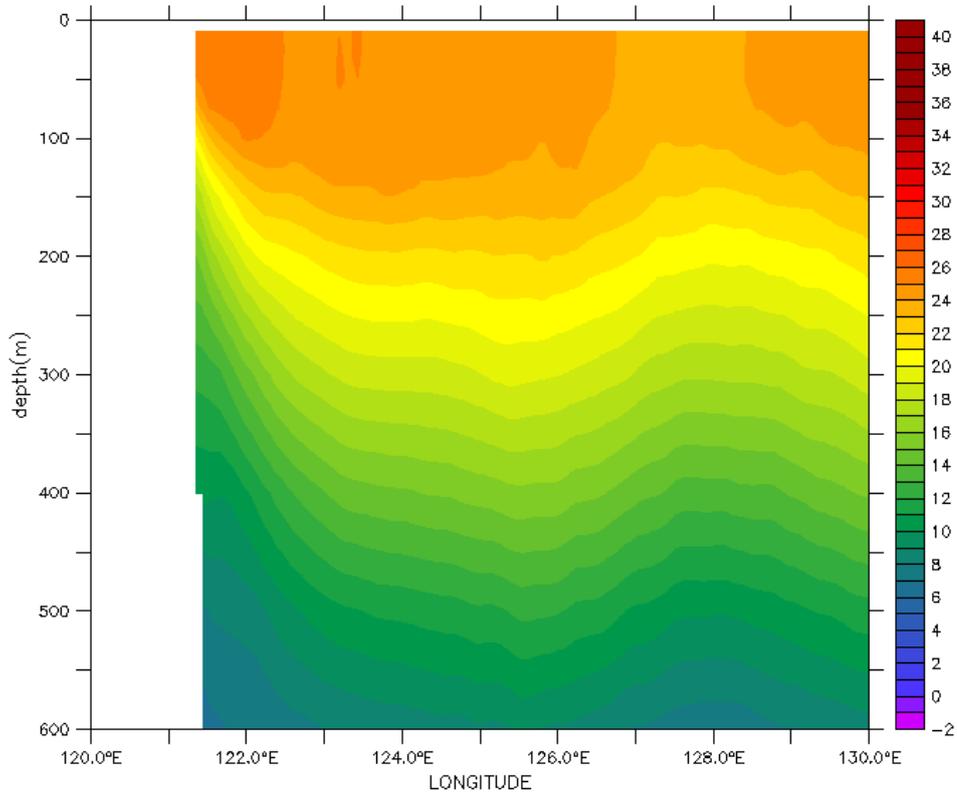


Monthly Mean of Velocity(m/s)

圖 5.3-3 2003 年 1 月表層月平均速度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

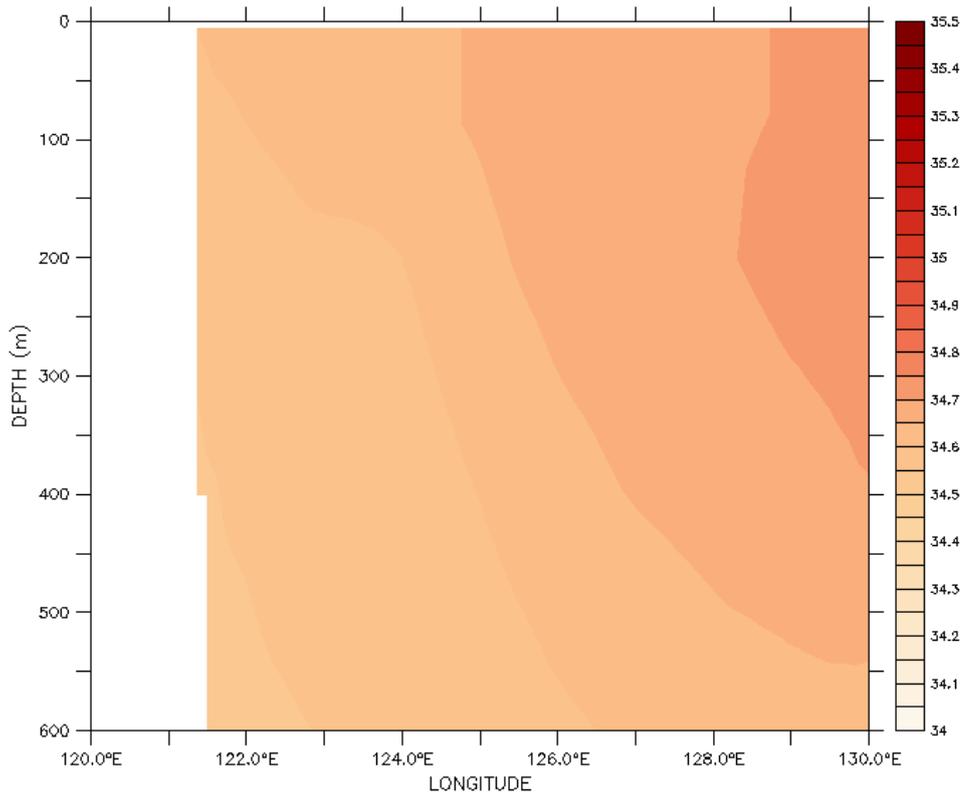


Monthly Mean of temperature(degree)

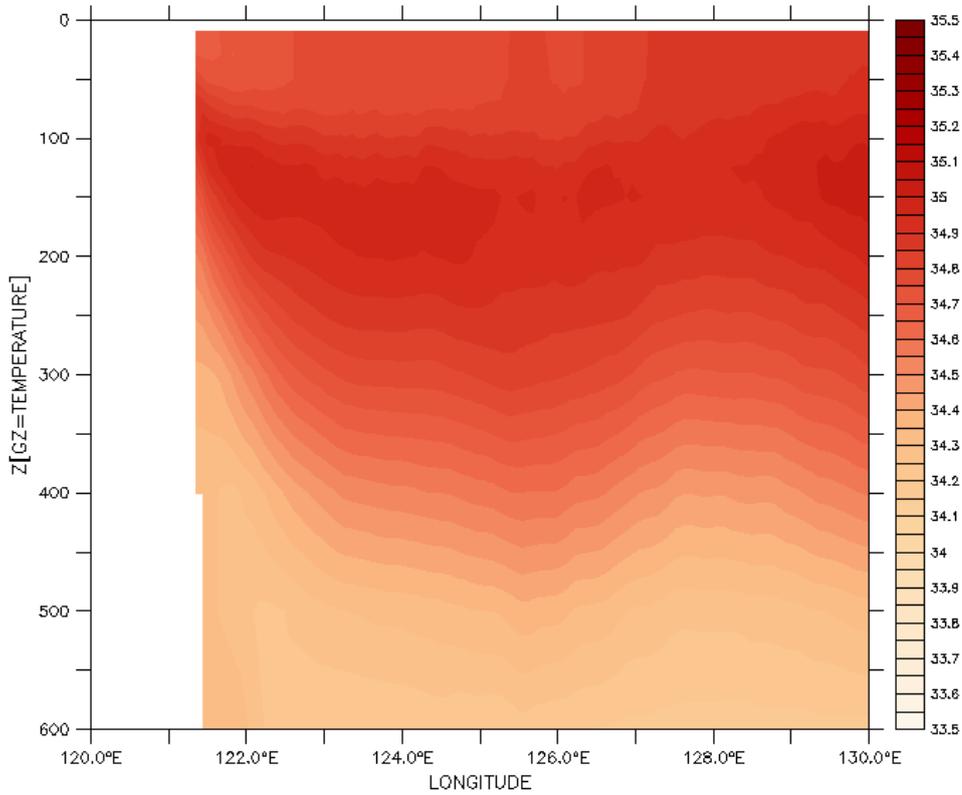


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.3-4 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，
下：HYCOM)

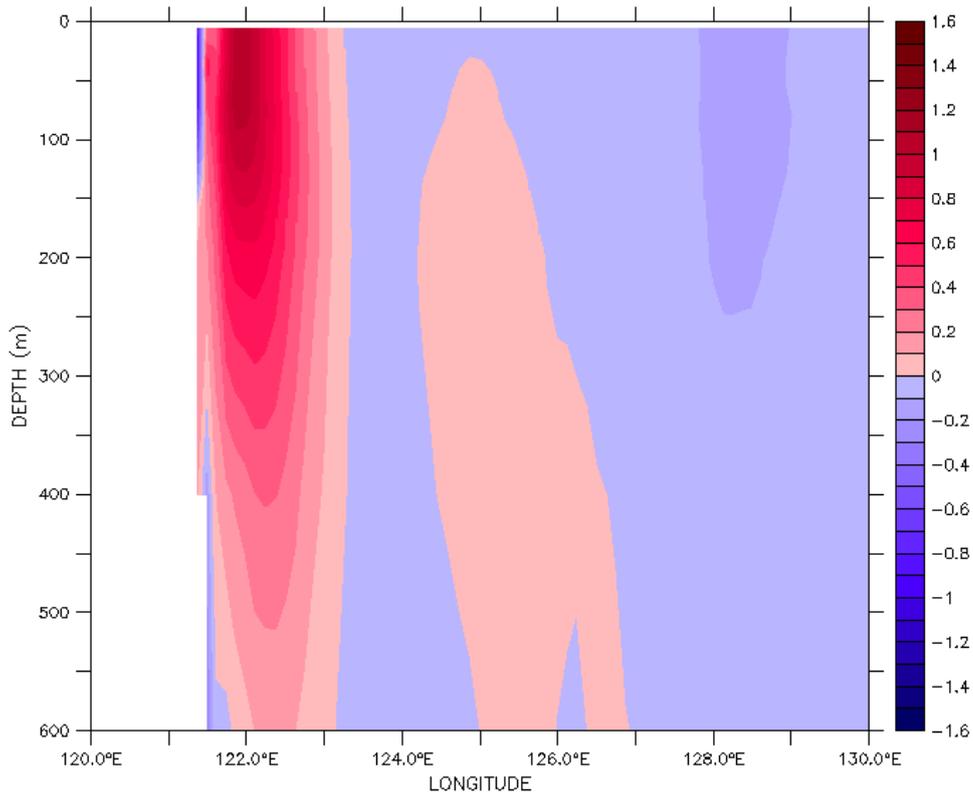


Monthly Mean of Salinity(psu)

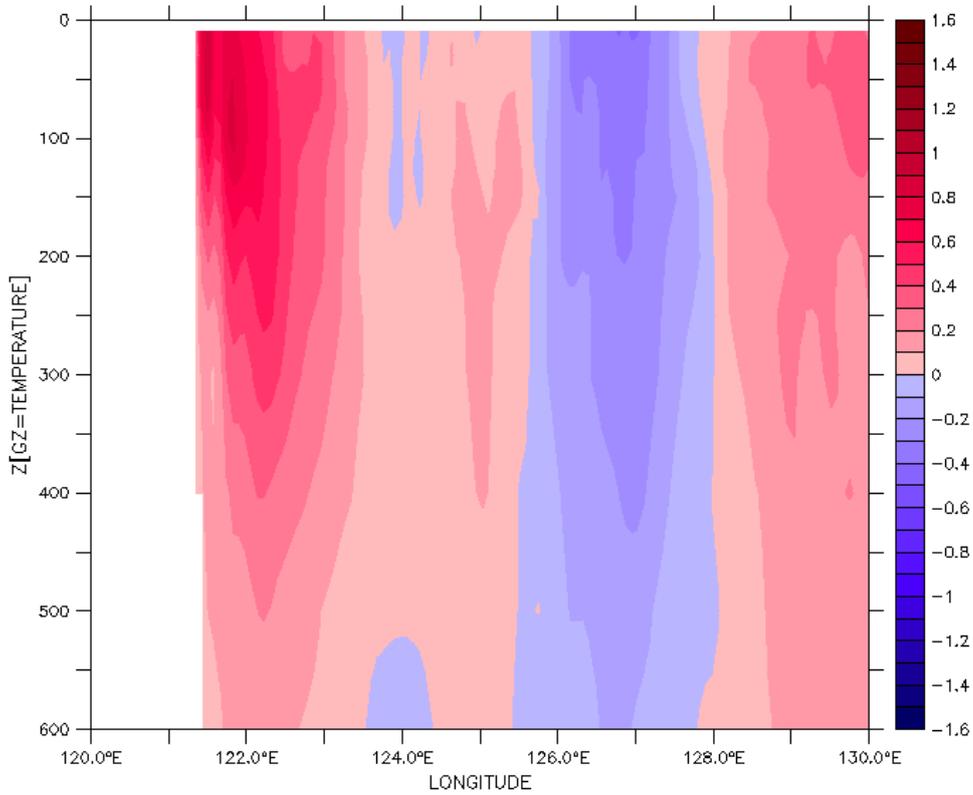


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.3-5 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

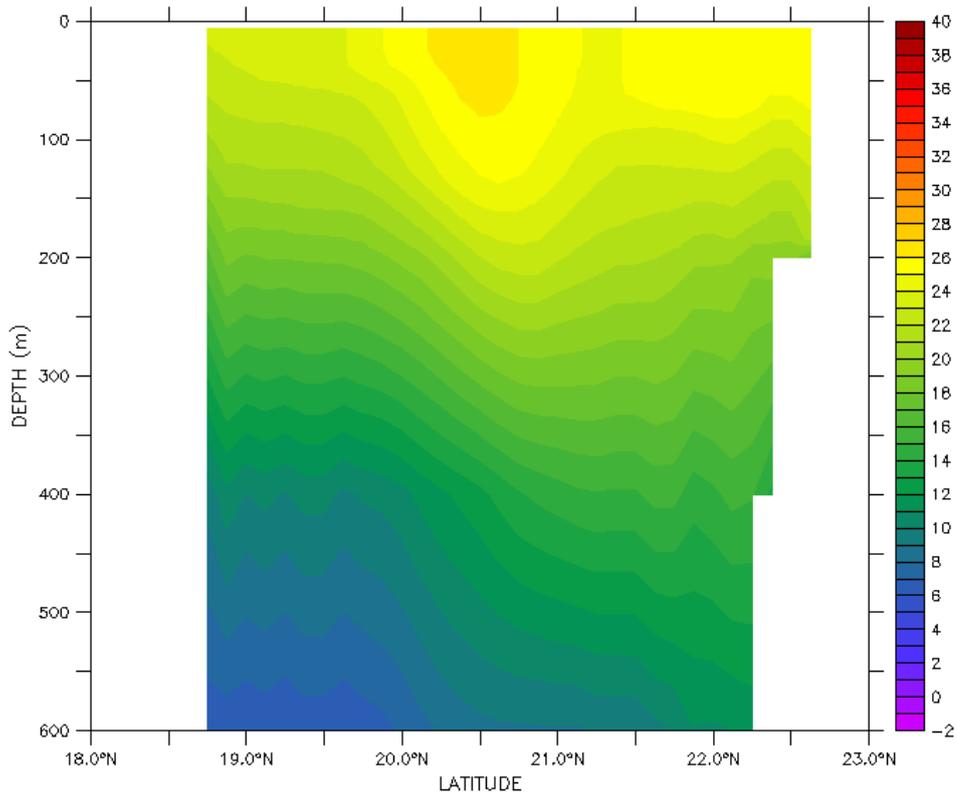


Monthly Mean of V-Velocity(psu)

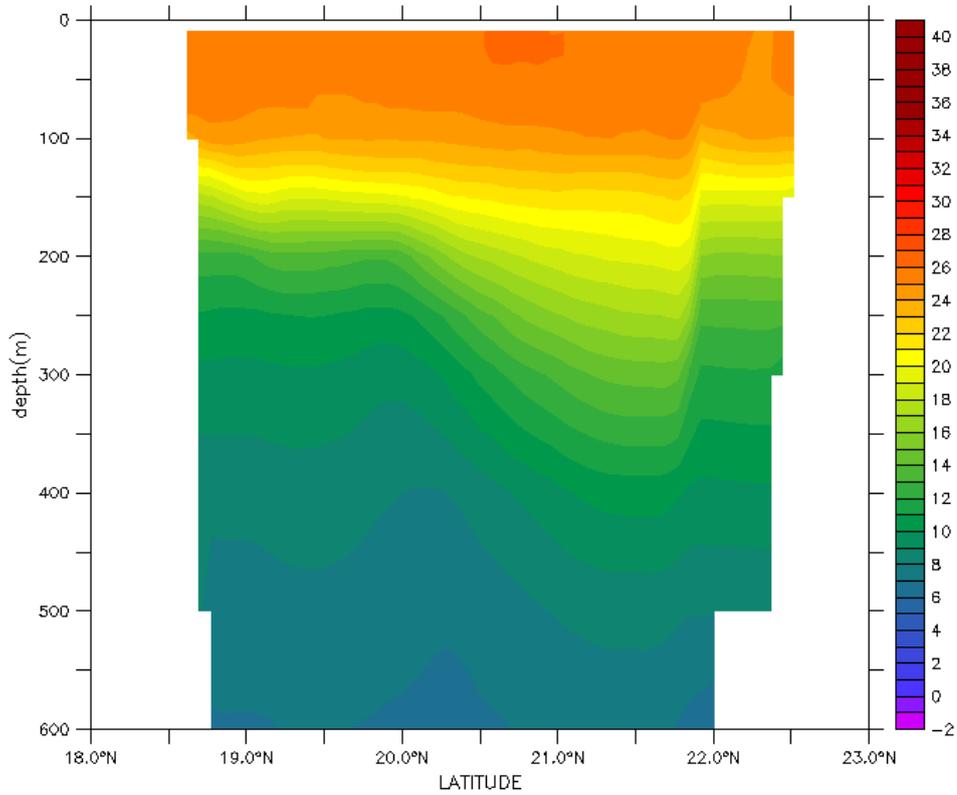


Monthly Mean of V-velocity(m/s)

圖 5.3-6 2003 年 1 月北緯 23 度月平均垂直剖面流速(V)分佈(紅色往北，紫色往南)(上：OCM2，下：HYCOM)

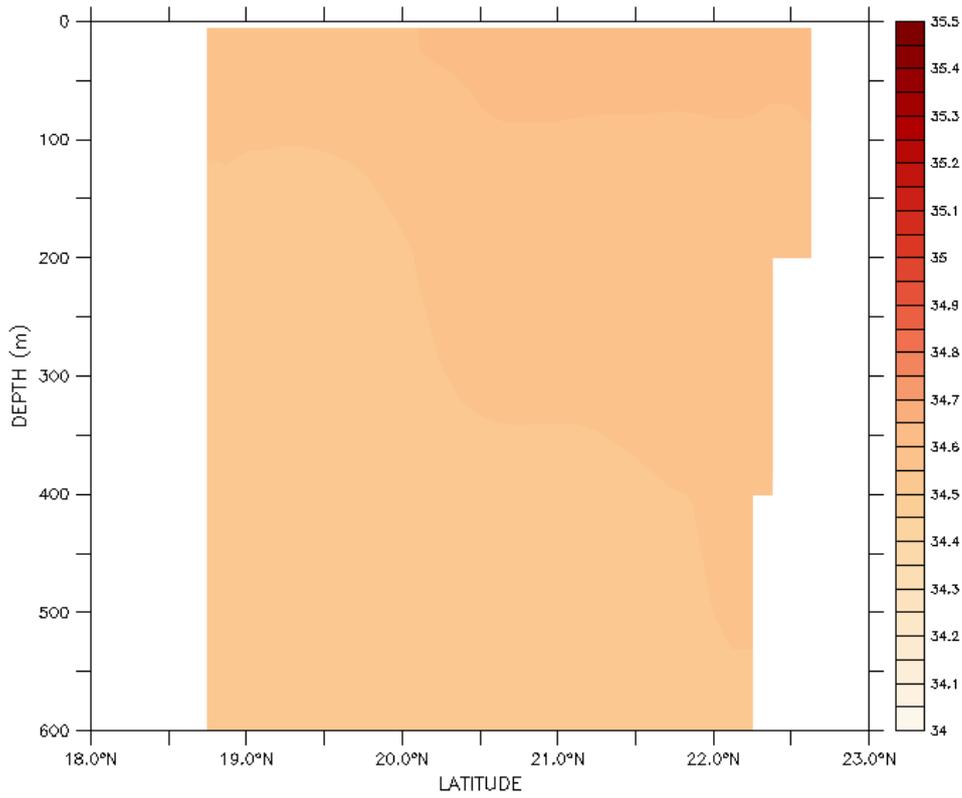


Monthly Mean of temperature(degree)

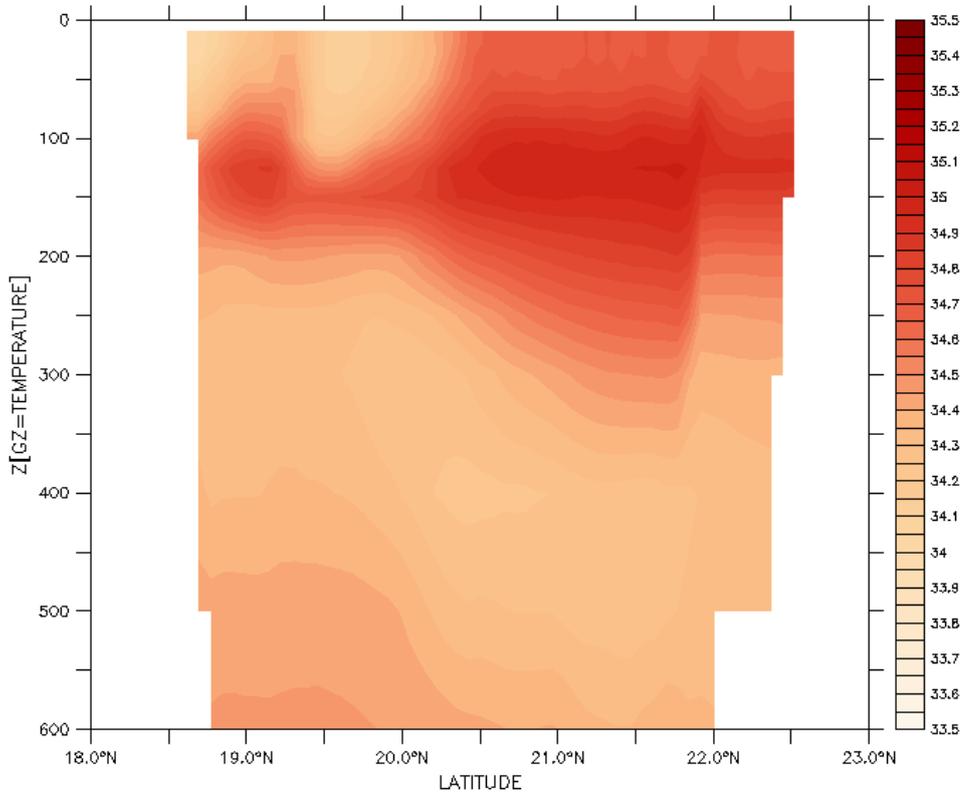


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.3-7 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

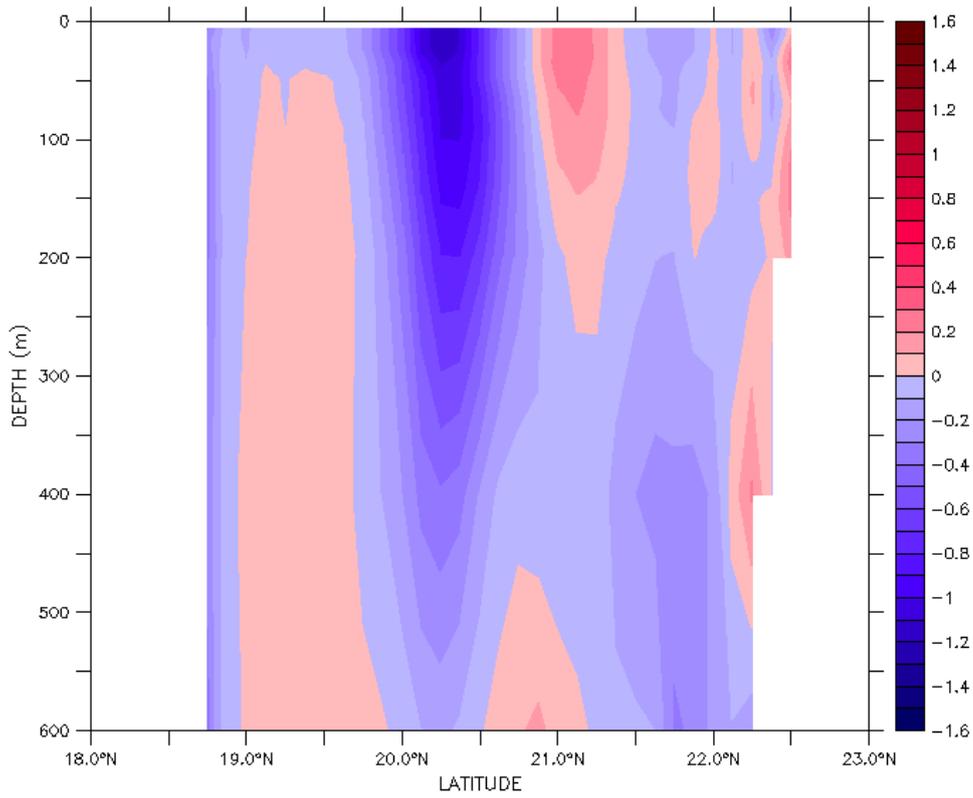


Monthly Mean of Salinity(psu)

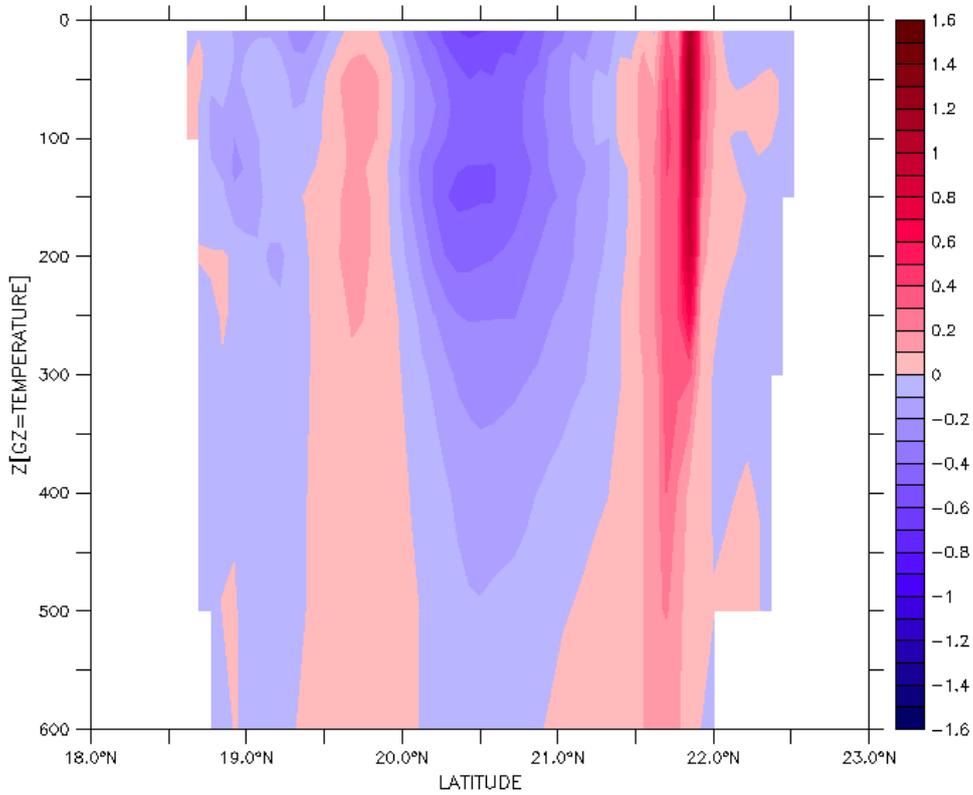


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.3-8 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

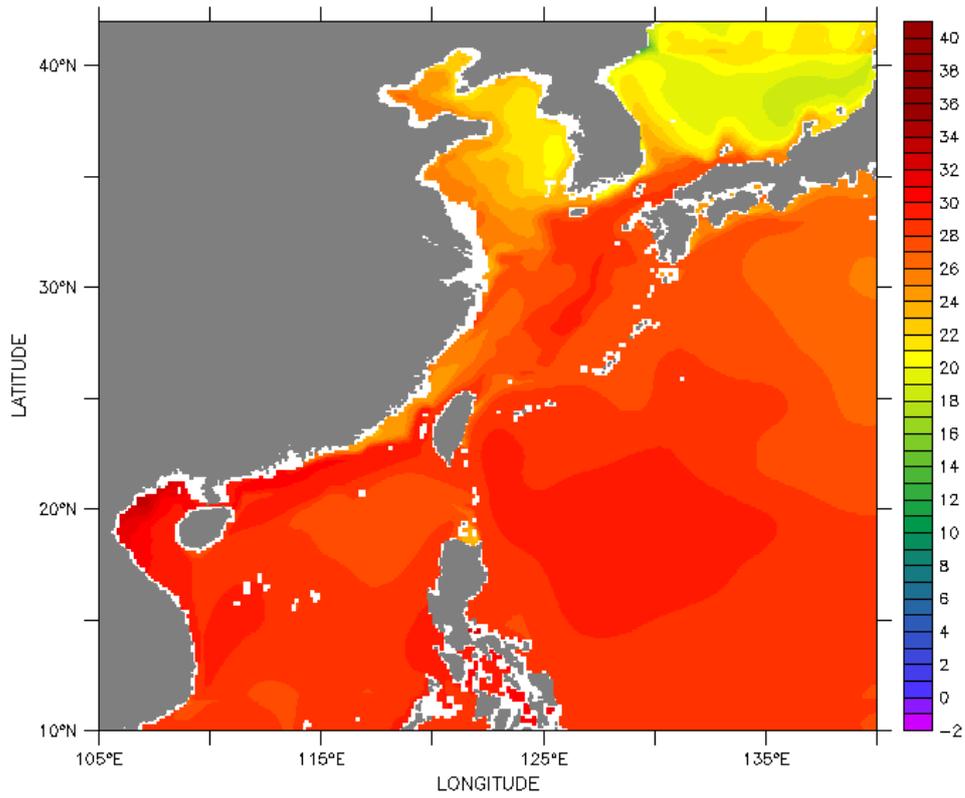


Monthly Mean of U-velocity(psu)

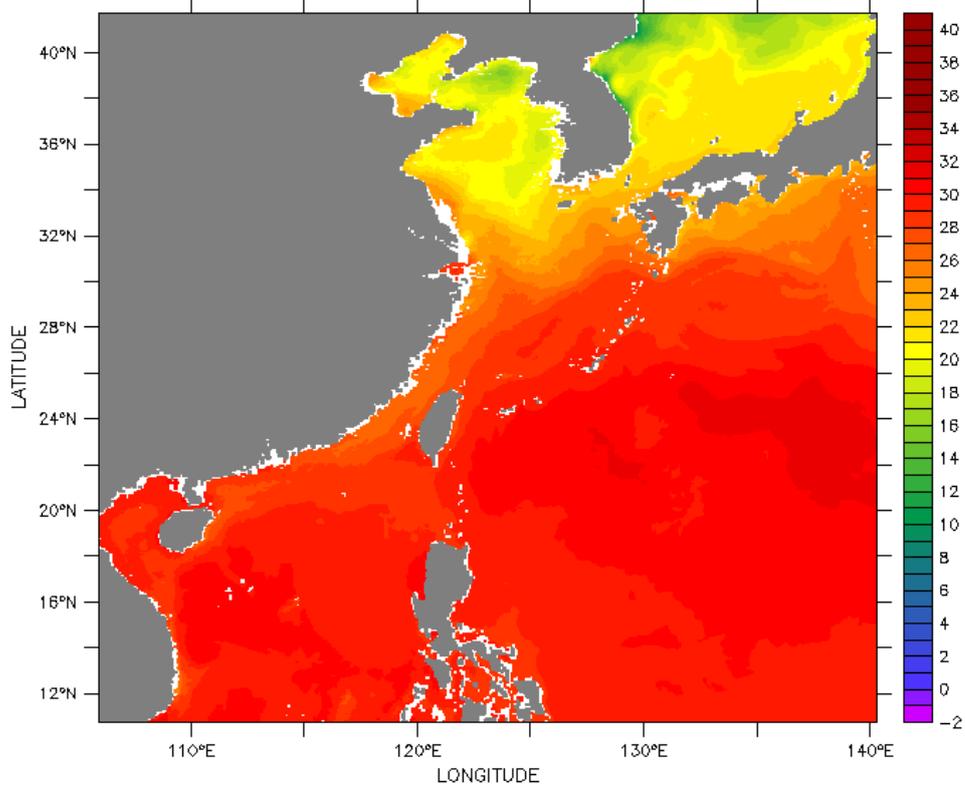


Monthly Mean of U-velocity(m/s)

圖 5.3-9 2003 年 1 月東經 121 度月平均垂直剖面流速(U)分佈(紅色往東，紫色往西)(上：OCM2，下：HYCOM)

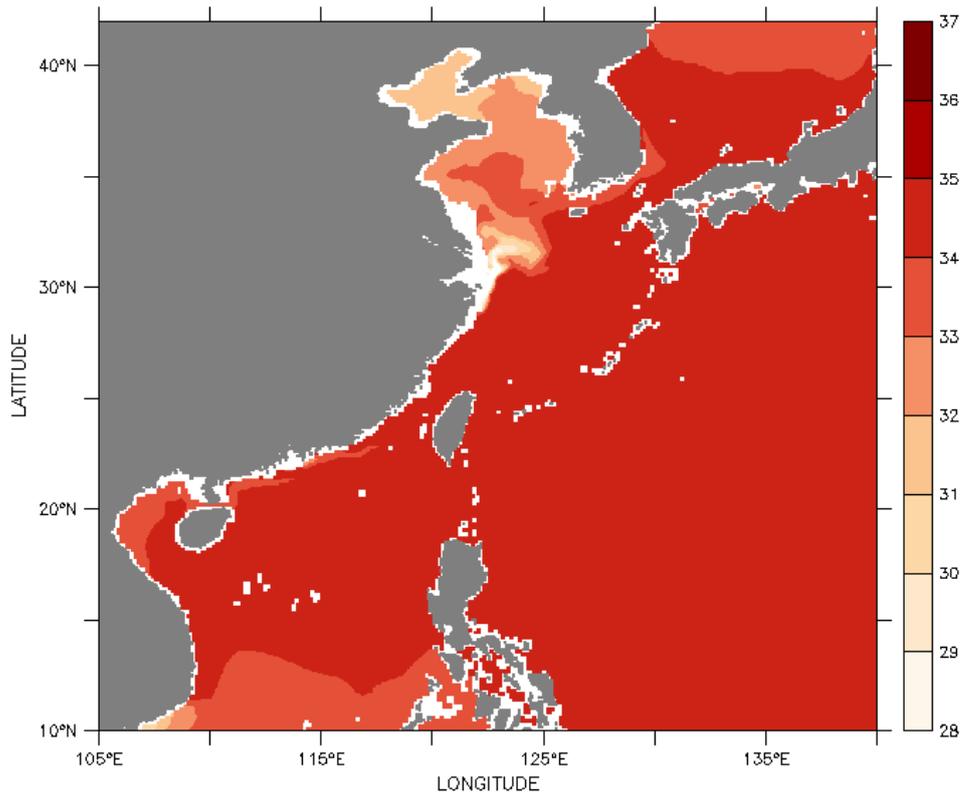


Monthly Mean of Temperature(degree)

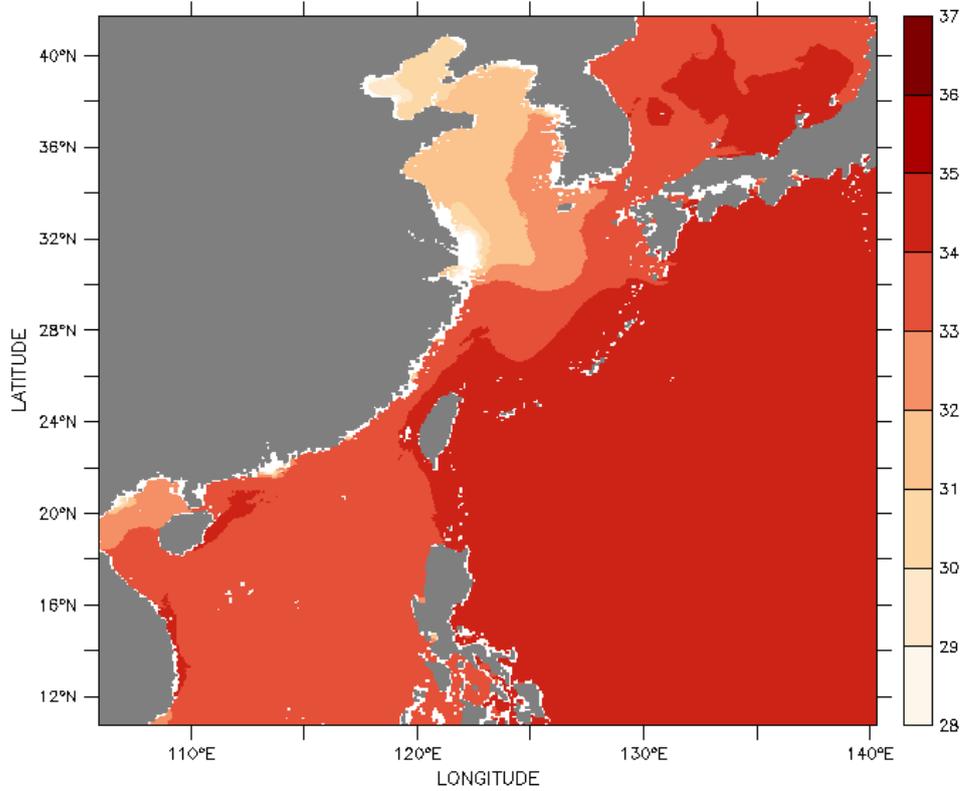


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.3-10 2003 年 7 月表層月平均溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

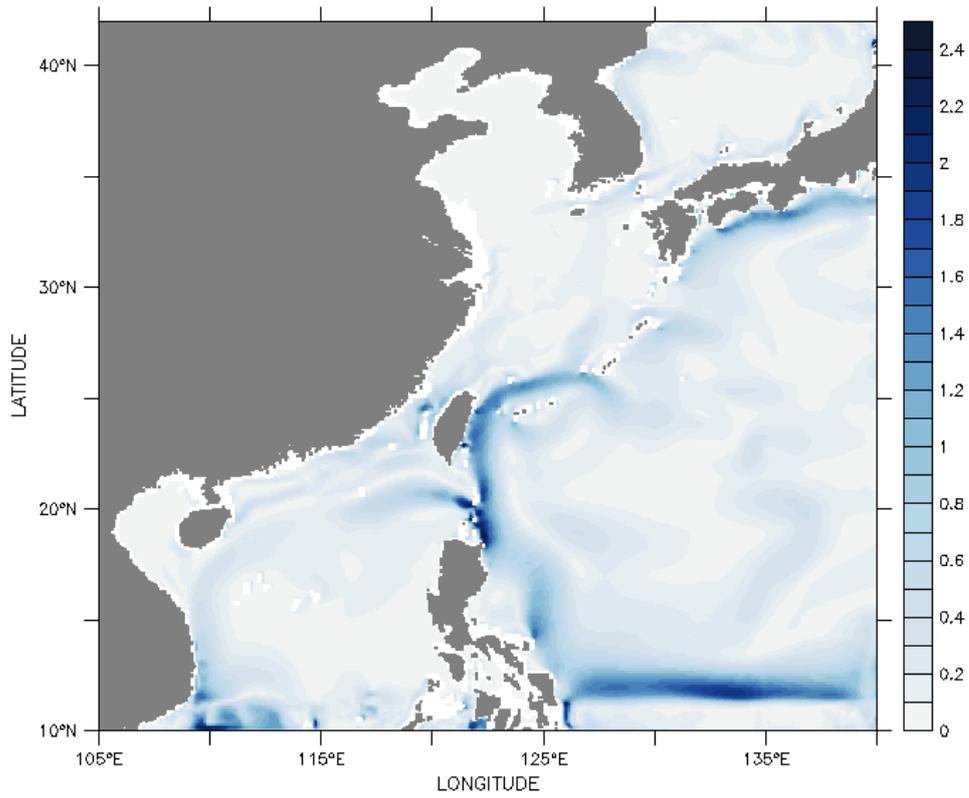


Monthly Mean of Salinity(psu)

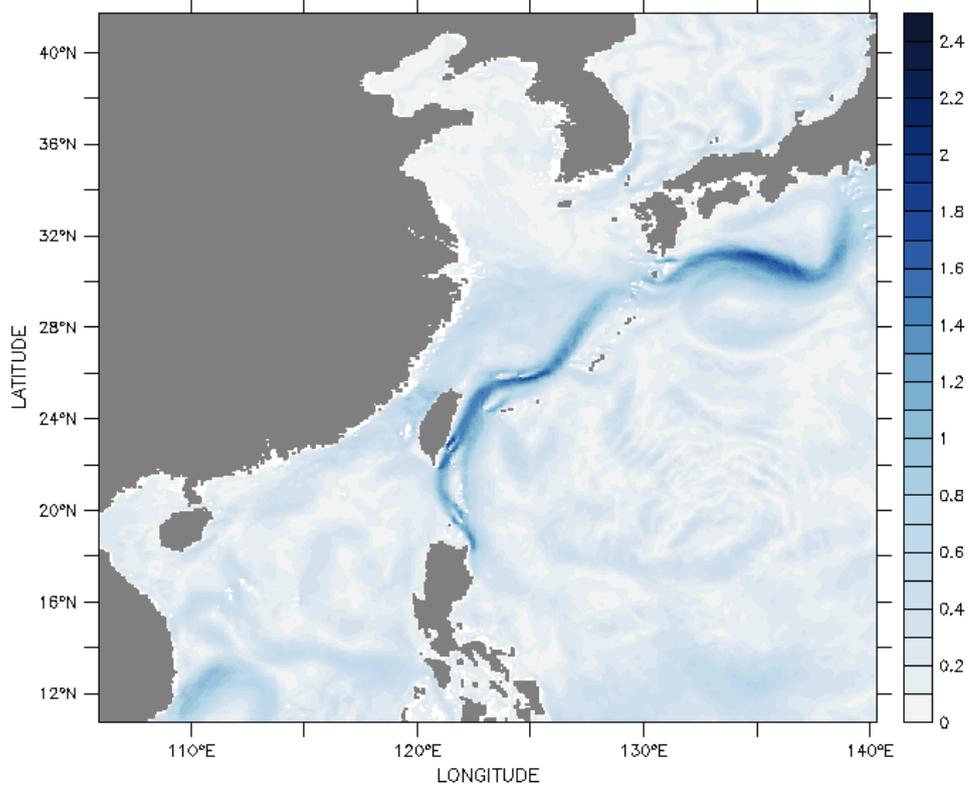


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.3-11 2003 年 7 月表層月平均鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

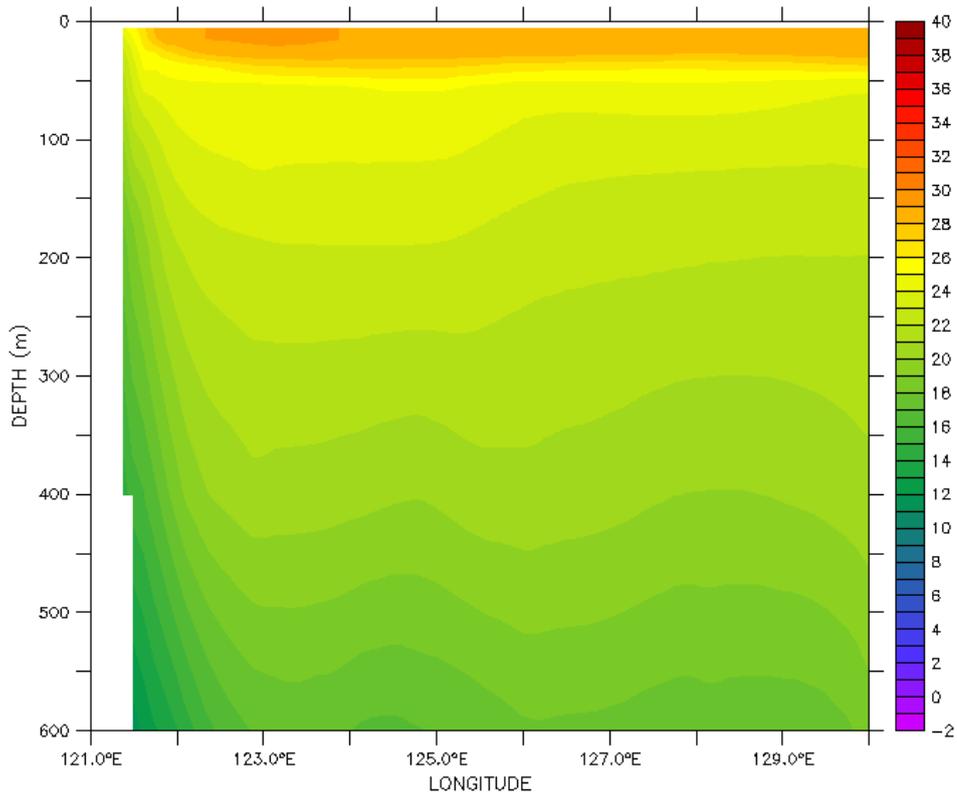


Monthly Mean of Velocity(m/s)

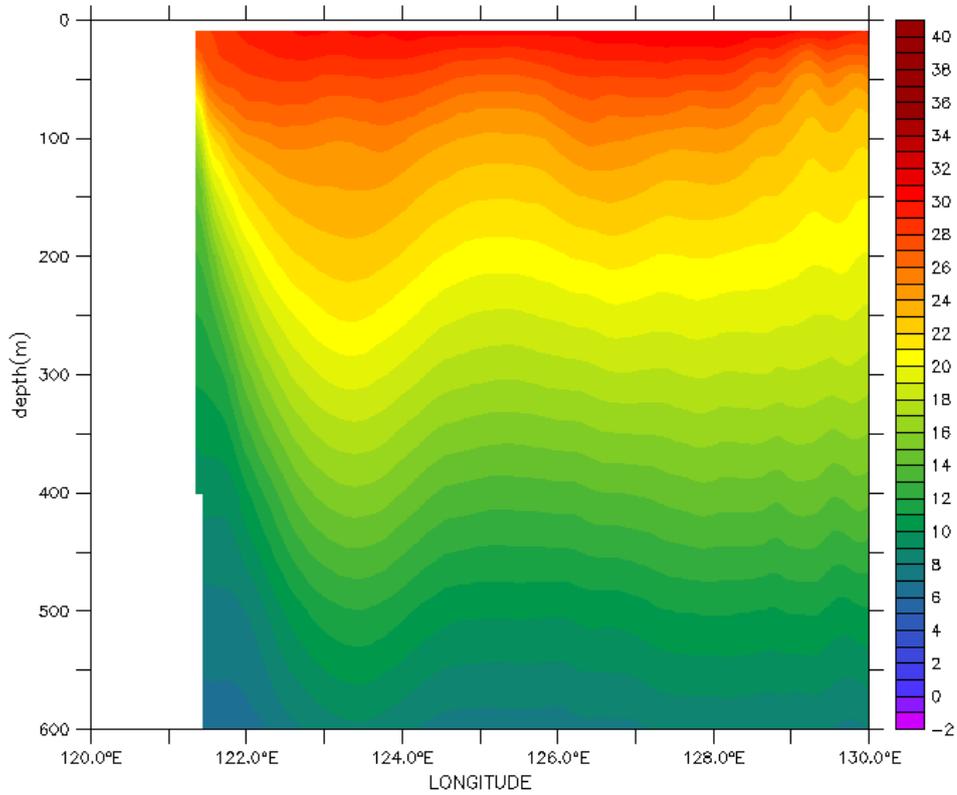


Monthly Mean of Velocity(m/s)

圖 5.3-12 2003 年 7 月表層月平均流速分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

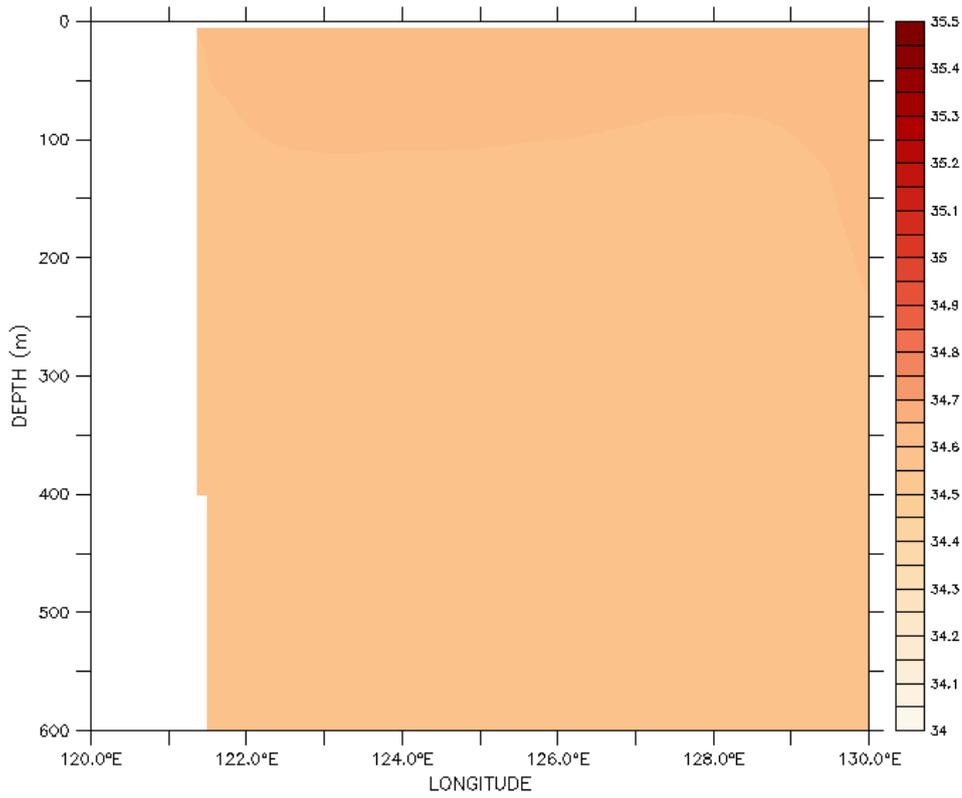


Monthly Mean of temperature(degree)

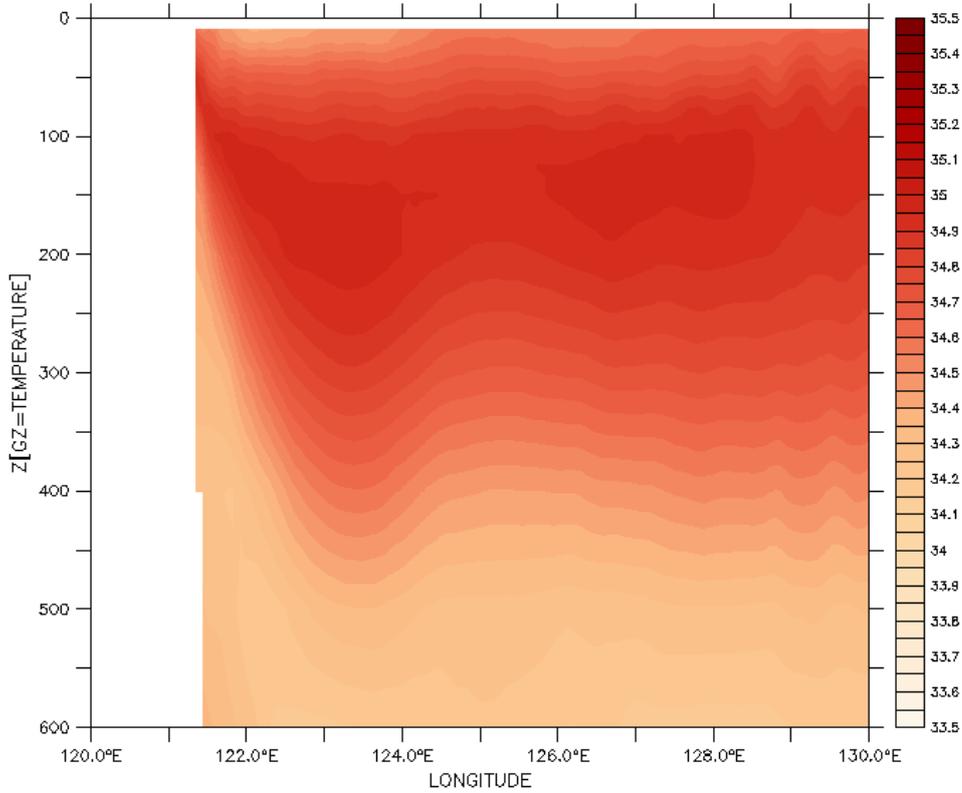


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.3-13 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

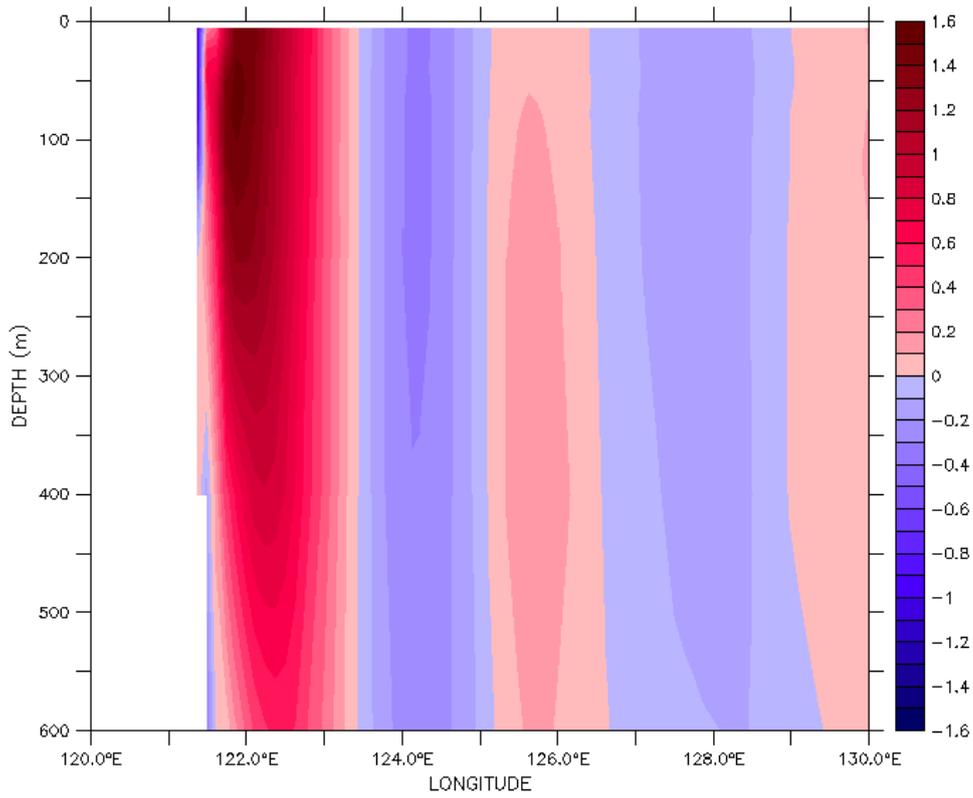


Monthly Mean of Salinity(psu)

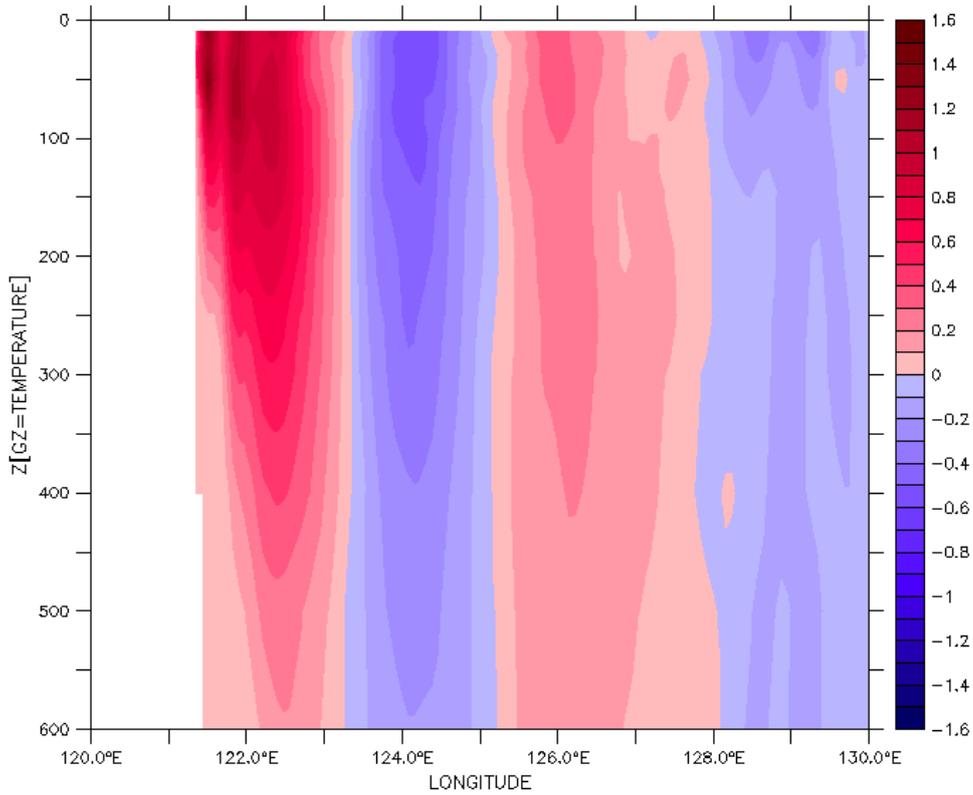


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.3-14 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

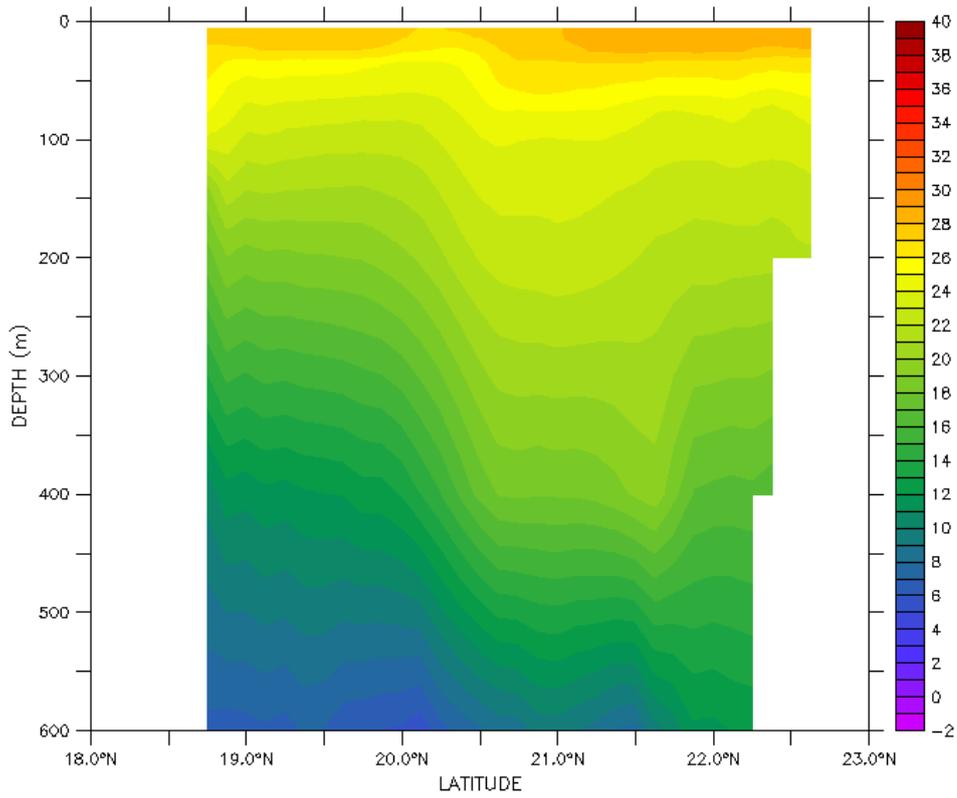


Monthly Mean of V-Velocity(psu)

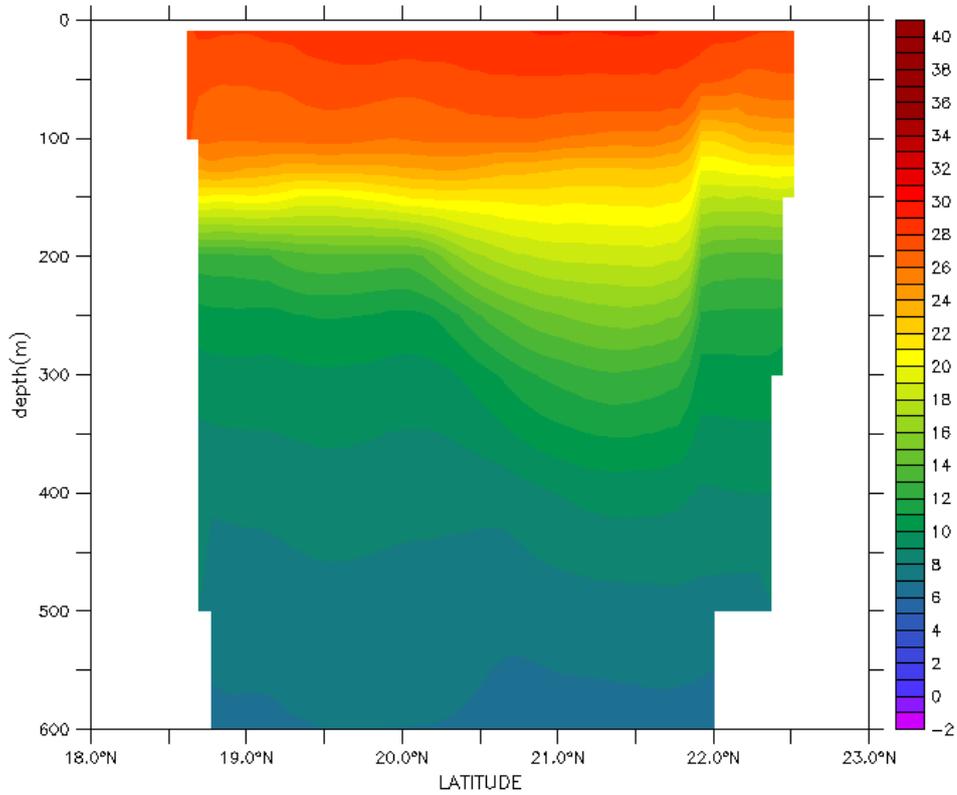


Monthly Mean of V-velocity(m/s)

圖 5.3-15 2003 年 7 月北緯 23 度月平均垂直剖面速度(V)分佈(紅色往北，紫色往南)(上：OCM2，下：HYCOM)

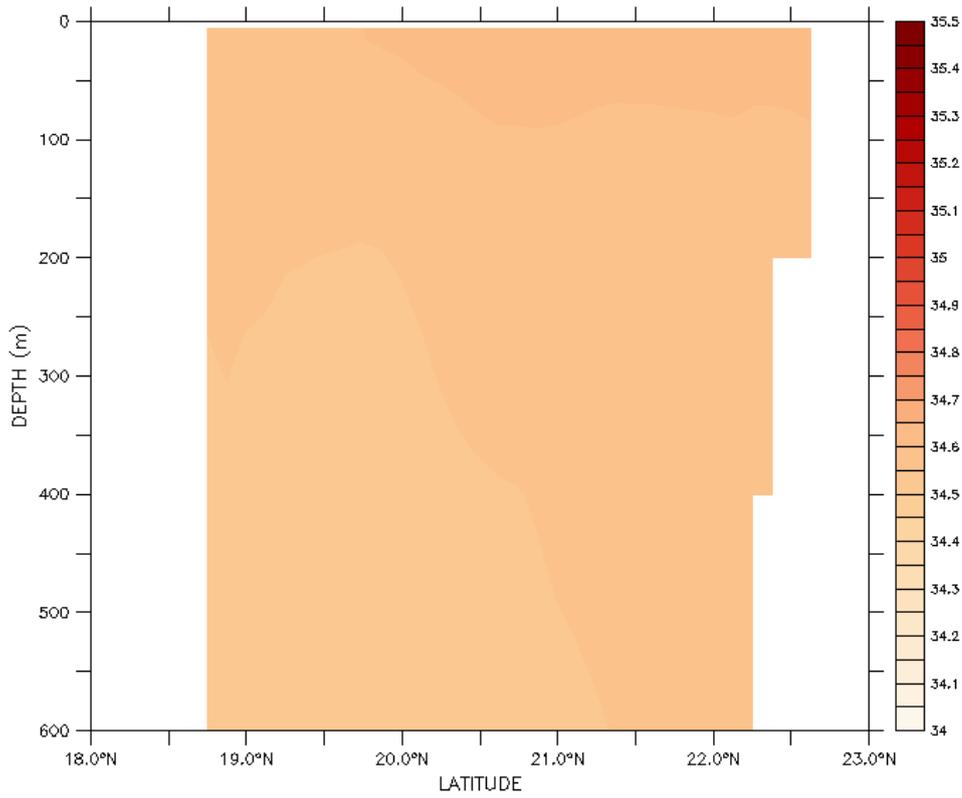


Monthly Mean of temperature(degree)

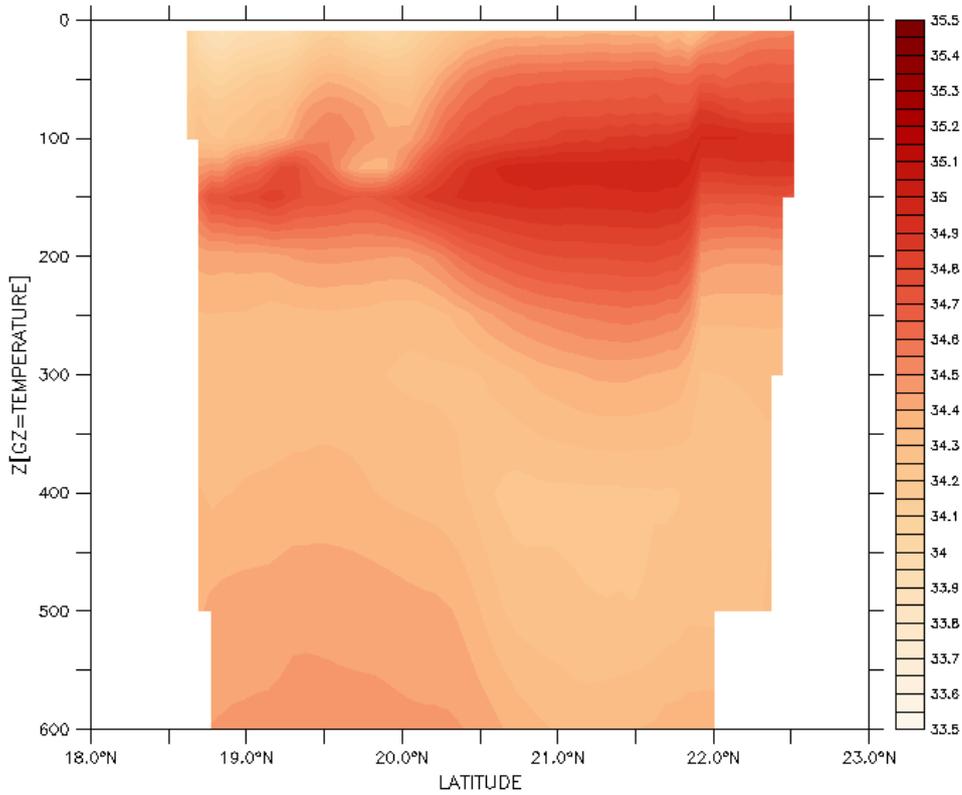


Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 5.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面溫度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)

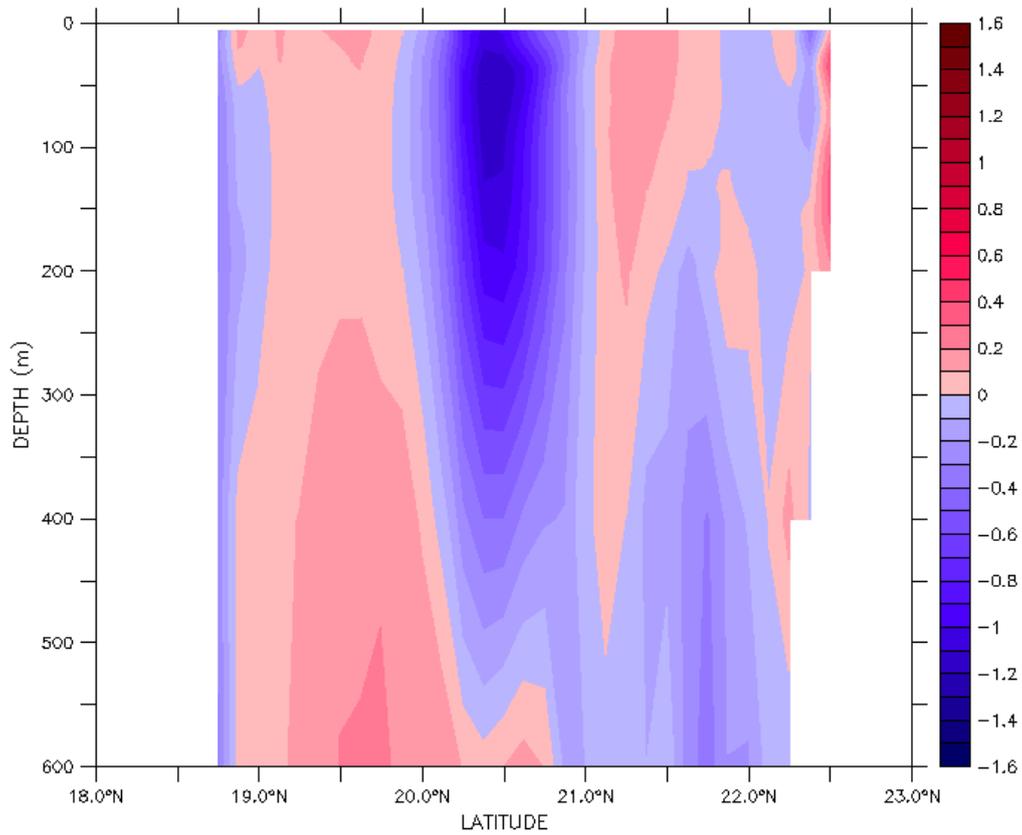


Monthly Mean of Salinity(psu)

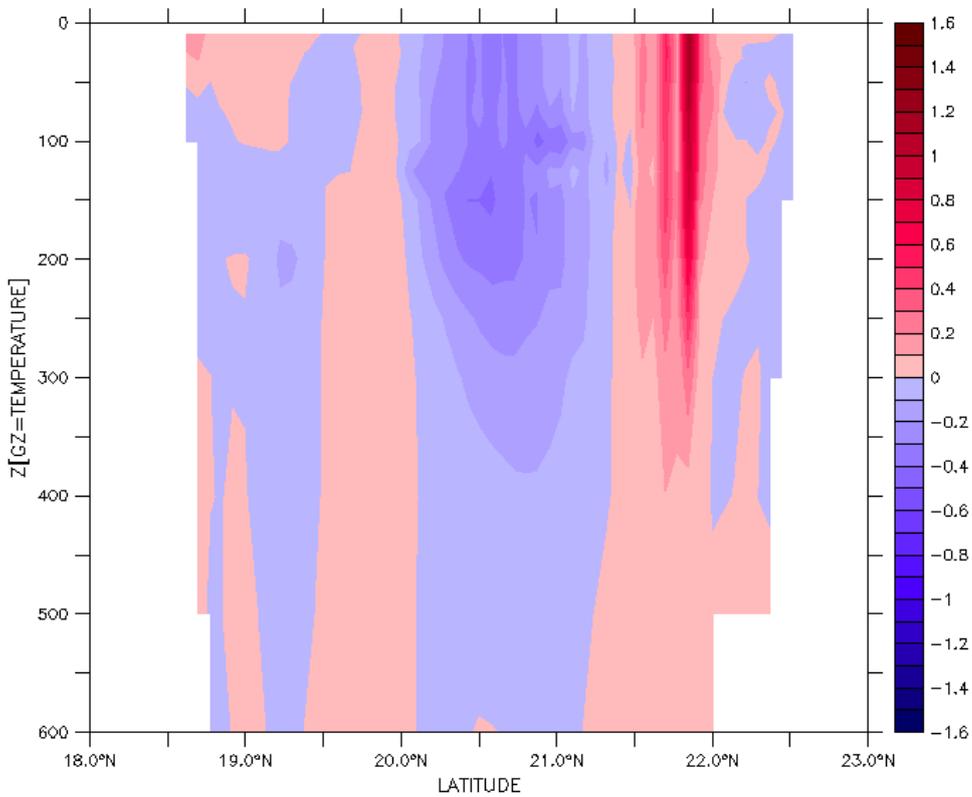


Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 5.3-16 2003 年 7 月東經 121 度月平均垂直剖面鹽度分佈(上：OCM2，下：HYCOM)



Monthly Mean of U-Velocity(psu)



Monthly Mean of U-velocity(m/s)

圖 5.3-16 2003 年 7 月 東經 121 度 月 平均 垂直 剖面 速度 (U) 分 佈 (紅 色 往

東，紫色往西)(上：OCM2，下：HYCOM)

5.4 計算效能及儲存空間評估

以目前西太平洋環流模式的配置，於本團隊的 pc cluster 主計上計算，使用 8 顆 4 核心的 intel core2 cpu 計算，模式計算一天，需實際時間 180 分鐘左右，模式一個時間步長輸出(包含 2 維水位、水深平均流速、3 維流速、溫度、鹽度場以及下一階段起始的初始場)，所需磁碟空間大約為 1GB，進行兩個星期的模擬總時間為 42 小時，總使用硬碟空間為 500GB，包括月平均輸入驅動力(包含內插前大氣模式資料)，每小時及每日日平均輸出 3 維流速、水溫及鹽度場以及每天的啟動檔；若以未來的上線預報規劃，西北太平洋環流模式需現報兩星期及預報兩星期、使用時間更細的氣象輸入檔，以及保留前一次預報的結果以供隨時取用，雖然模式預報及現報時間較太平洋環流模式短，但是計算網格點卻增加一倍，在空間使用上與太平洋環流模式接近，建議仍需預留至少 2TB 的硬碟空間以供存放使用。

第六章 結論與未來工作

6.1 結論

本年度完成太平洋環流模式及西北太平洋環流模式的建置，並進行冬季(2003年1月)及夏季月份(2003年7月)的模擬，並與HYCOM模式進行初步結果比對。

兩個模式結果在海表面溫度及鹽度模擬，皆與HYCOM結果接近，而在海流部份，西北太平洋環流模式在黑潮路徑的模擬結果較太平洋環流模式明顯，然兩模式對於黑潮的路徑皆不若HYCOM模式結果明顯。

垂直海流、溫度及鹽度模擬，就較海表面模擬結果不理想，在黑潮流經的斷面，垂直溫度、鹽度場分佈低於HYCOM模式，黑潮的高溫高鹽訊號並不明顯，特別是鹽度部份，兩模式結果並無法模擬出鹽度較高的中層水團。

模式目前雖建置完成，但仍有許多調整的空間，此部份本團隊會繼續努力進行模式的校驗工作，使模式結果更符合真實情況，以供未來上線預報使用

6.2 未來工作

本年度完成建置海流預報系統中的大範圍環流模式，然模式比對結果仍有改善空間，因此在下一年度工作中，本團隊會積極進行此兩模式的校驗，包括模式參數及模組的調整、氣象驅動力於時間尺度上增加筆數、模式邊界條件調整，以期得到更好的模式結果。

明年度同時持續進行本系統最後一層台灣海域海流模式的建置及校驗。

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. TOMS 網站 <http://www.myroms.org/index.php?model=toms>
5. Wiki ROMS 網站
https://www.myroms.org/wiki/index.php/Documentation_Portal
6. 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
7. Berger MJ, Bokhari SH. (1987) A Partitioning Strategy for Non-uniform Problems on Multiprocessors. *IEEE Transactions on Computers* C-36, 5:570-580.
8. 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
9. Bleck, R. (2002) An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. *Ocean Modeling*, Vol. 4, 55-88.
10. Blumberg, A. F., (1994) A primer for Ecom-si. Technical Report of HydroQual, Inc., 66 pp
11. 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.
12. Blumberg, A.F. and G. Mellor (1987) A three-dimensional coastal ocean model. Three dimensional models., N.S. Heaps (ed), AGU, 1-16.
13. Bouttier, F. (1994) A dynamical estimation of forecast error covariances in an assimilation system, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 122, pp. 2376-2390.
14. Bratseth, A. M. (1986) Statistical interpolation by means of successive corrections, *Tellus*, 38A, pp. 439-447.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
 18. 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.
 19. Cressman, G. P. (1959) An operational objective analysis system, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 87, pp 367-374.
 20. Daley, R. (1985) The analysis of synoptic scale divergence by a statistical interpolation procedure, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 113, pp 1066-1079.
 21. Daley, R. (1993) *Atmospheric Data Analysis*, Cambridge University Press, ISBN 9780521458252, pp 6-24
 22. 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.
 23. 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
 24. 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
 25. Hansen, D. V. and Poulain, P. M., (1996) Processing of WOCE/TOGA drifter data, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 13, pp. 900-909
 26. 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.
 27. Halliwell, G. (2002) HYCOM Overview.
 28. 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
 29. 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

30. Halliwell, G.R. Jr., R. Bleck and E. Chassignet, (1998) Atlantic Ocean simulations performed using a new hybrid-coordinate ocean model. EOS, Fall 1998 AGU Meeting
31. 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
32. 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
33. 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
34. 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
35. Hu, D., (1997) Global-scale water masses, meridional circulation, and heat transport simulated with a global isopycnic ocean model. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 27, pp 96~120
36. 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.
37. Jazwinsky, A. H. (1970) Stochastic Processes and Filtering Theory, Academic Press, pp. 376.
38. 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.
39. 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.
40. 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
41. 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.
42. 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.

43. 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.
44. 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
45. 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. Pceanpgr.*, Vol. 27, pp 2418~2447
46. Lorenc, A. C. (1988) Optimal nonlinear objective analysis, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 114, pp. 205-240.
47. Lorenzo, E.D., (2003) Seasonal dynamics of the surface circulation in the Southern California Current System. *Deep-Sea Research II*, Vol. 50, pp2371~2388
48. 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.
49. Marchesiello, P., James C. McWilliams and Alexander Shchepkin, (2003) Equilibrium Structure and Dynamics of the California Current System, *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 33, pp753~783
50. 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.
51. 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.*
52. 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.
53. 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.
54. 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
55. 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.
56. 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
 57. 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
 58. Shriver, J.F., H.E. Hurlburt, O.M. Smedstad, A.J. Wallcraft and R.C. Rgodes, (2007) $1/32^\circ$ real-time global ocean prediction and value-added over $1/16^\circ$ resolution. *Journal of Marine Systems*, Vol. 65, issues 3, pp 3~26
 59. 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 $1/16^\circ$ global ocean nowcast/forecast system. *Journal of Marine Systems*, Vol. 40-41, pp 341~361
 60. Thacker, W.C., (2003) Data-model-error compatibility. *Ocean Modeling*, Vol. 5, pp 233~247.
 61. Thiébaux, H. J., and M. A. Pedder (1987) Spatial Objective Analysis with Applications in Atmospheric Science, *Academic Press*, pp 299
 62. 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.
 63. 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 A 太平洋環流模式操作使用手冊

交通部中央氣象局
海象測報中心

太平洋環流模式

操作使用手冊

民國 98 年 12 月

目錄.....	A-i
圖目錄.....	A-ii
第一章模式原理介紹	A-1
第二章模式執行流程	A-11
第三章太平洋環流模式檔案設定流程	A-13
3.1 計算環境設定.....	A-15
3.2 地形及乾濕點設定.....	A-16
3.3 驅動力、邊界條件及初始條件設定	A-17
3.4 模組檔設定.....	A-18
3.5 參數輸入檔設定.....	A-18
3.6 模式編譯及執行.....	A-19

圖目錄

圖 1.1-1 ROMS 系統架構圖	A-2
圖 1.2-2 ROMS 水平網格變數配置	A-5
圖 1.2-3 ROMS 垂直網格變數配置	A-5
圖 1.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖	A-8
圖 1.2-5 curvilinear 網格示意圖	A-10
圖 2-1 ROMS 執行流程圖	A-12
圖 3-1 ROMS 建置流程圖	A-14
圖 3.1-1 ROMS 檔案架構	A-16
圖 3.1-2 Compilers 目錄內之檔案	A-16
圖 3.2-1 RNT toolbox 目錄內容	A-17
圖 3.4-1 OCM1 模組設定檔	A-19
圖 3.4-2 模組說明檔	A-20
圖 3.5-1 OCM1 輸入參數檔內容	A-21

第一章 模式原理介紹

太平洋環流模式使用 ROMS(Regional Ocean Modeling System)模式進行建置，ROMS 的特性及原理描述如下：

1.1 ROMS 模式特性

ROMS 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。其為一套自由表面設定，垂直座標使用 s 座標系統，且適用範圍相當廣的模式，圖 1.1-1 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 在資料同化的也提供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 (σ) 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

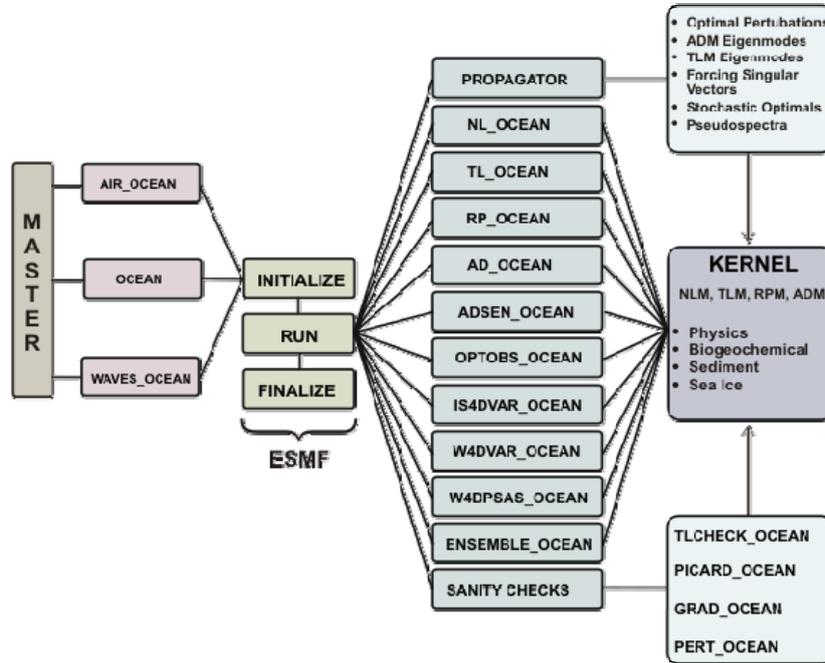


圖 1.1-1 ROMS 系統架構圖

1.2 ROMS 控制方程式

(1) 基本控制方程式

ROMS 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，因此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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{v} \cdot \Delta u - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \bar{v} \cdot \Delta v - fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v$$

溫度及鹽度擴散方程式

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

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

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)

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

其中 \vec{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($z = \zeta(x, y, t)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_s^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref})$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = (E - P)S$$

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

在底層($z = -h(x, y)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_b^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_b^y(x, y, t)$$

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

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

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = 0$$

$$-w + \vec{v} \cdot \nabla h = 0$$

其中 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最需要進行處理，ROMS 會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 1.2-2 所示，變數水位(zeta)、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 1.2-3 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(Akt、Akv...等)則置於網格上下邊緣。

續的現象，因此變出現了可依據地形變化等比例分配的座標系統 (sigma 座標)，此座標系統最早是應用在大氣方面，其後才使用於海洋的模擬。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 1.2-4。以下為 S 座標的定義：

$$\begin{aligned}\hat{x} &= x \\ \hat{y} &= y \\ \hat{t} &= t \\ z &= \zeta + (1 + \frac{\zeta}{h}) [h_c s + (h - h_c) C(s)] \\ C(s) &= (1 - b) \frac{\sinh(\theta s)}{\sinh \theta} + b \frac{\tanh \left[\theta (s + \frac{1}{2}) \right] - \tanh(\frac{1}{2} \theta)}{2 \tanh(\frac{1}{2} \theta)}\end{aligned}$$

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 值則可增加或減少表層的層數。

兩種不同的座標轉換方式如下

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \frac{\partial}{\partial z} &= \left(\frac{\partial s}{\partial z}\right) \frac{\partial}{\partial s} = \frac{1}{H_z} \frac{\partial}{\partial s}\end{aligned}$$

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

經過上述的座標轉換，ROMS 的動態方程式可以轉換如下：

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} - f v + \vec{v} \cdot \nabla u &= -\frac{\partial \phi}{\partial x} - \left(\frac{g \rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F_u + D_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + f u + \vec{v} \cdot \nabla v &= -\frac{\partial \phi}{\partial y} - \left(\frac{g \rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + F_v + D_v \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T &= F_T + D_T\end{aligned}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla S = F_s + D_s$$

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

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

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

其中

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

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

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

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

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($z = -h(x, y)$)

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

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

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

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

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

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

$$\Omega = 0$$

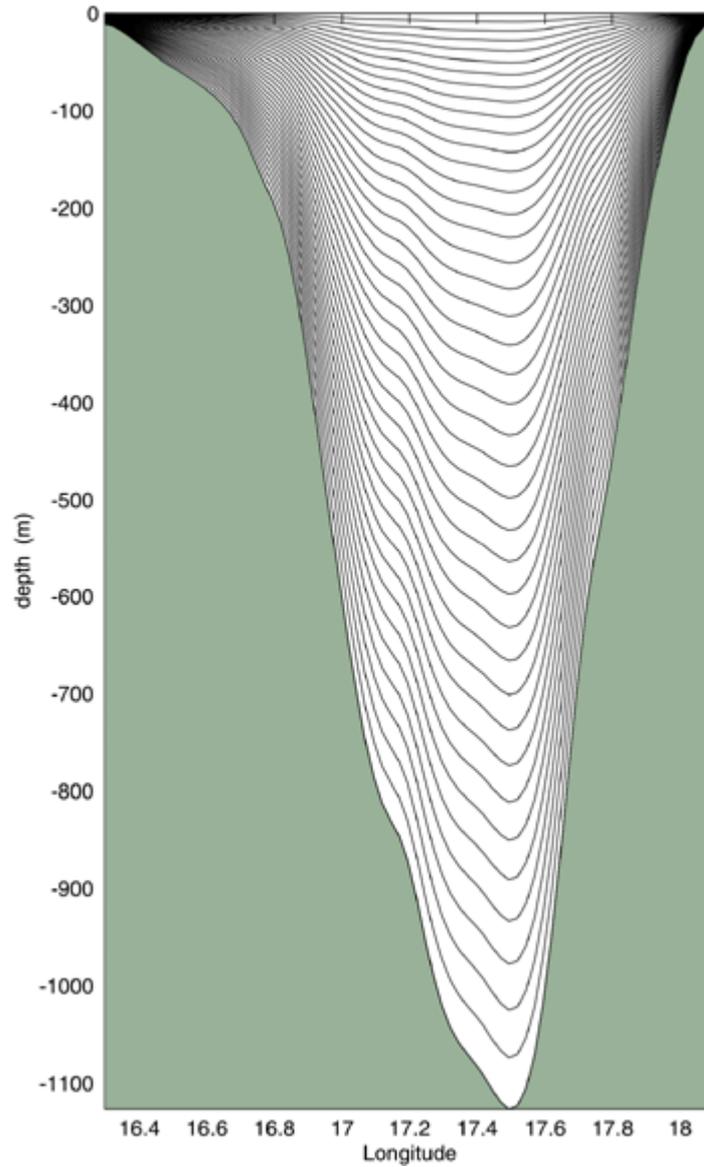


圖 1.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖

(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，在解析力的部份是不足的，特別是針對計算流體的運動，因此 ROMS 為了解決這個問題，在水平座標採用了可以產生不規則網格的 curvilinear 座標系統，如圖 1.2-5 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

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

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

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

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

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

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。

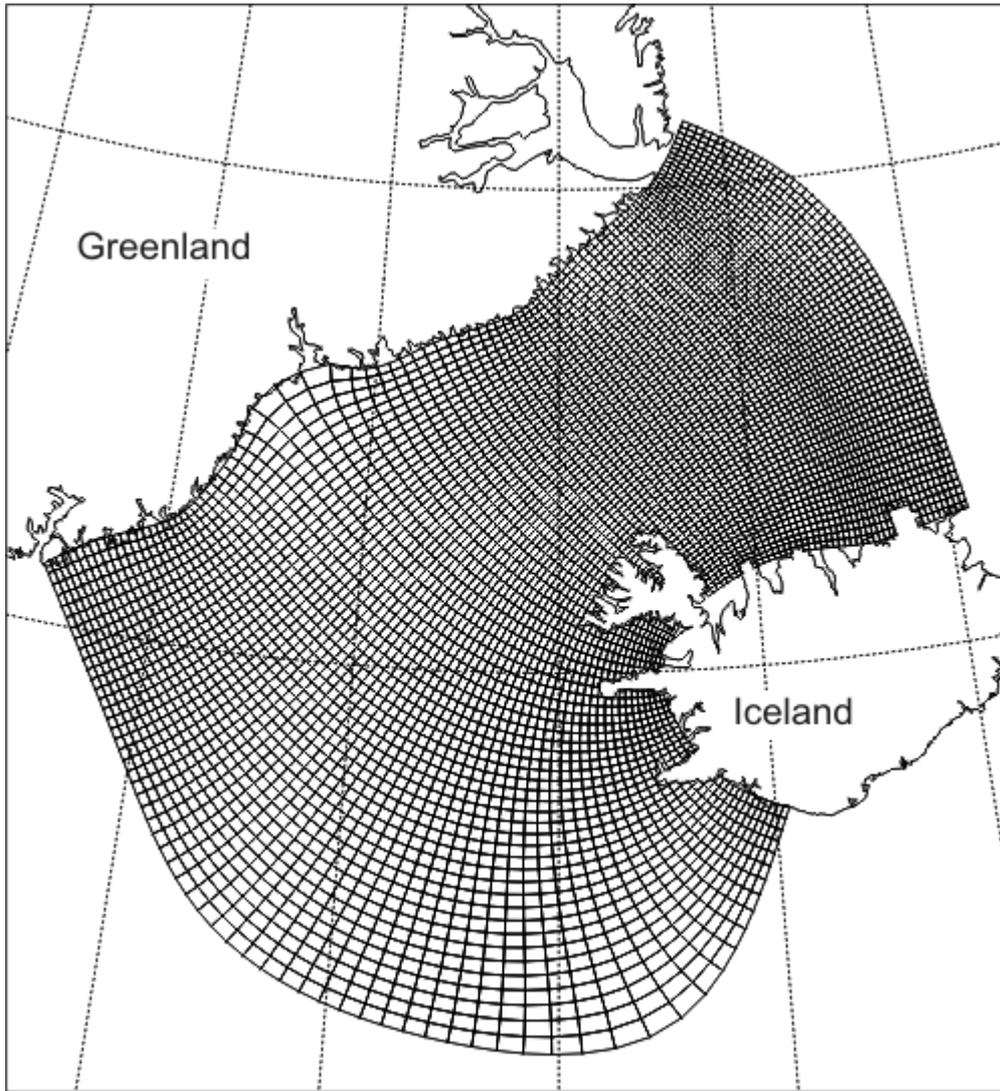


圖 1.2-5 curvilinear 網格示意圖

第二章 模式執行流程

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 2-1 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)，接著再開啓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。

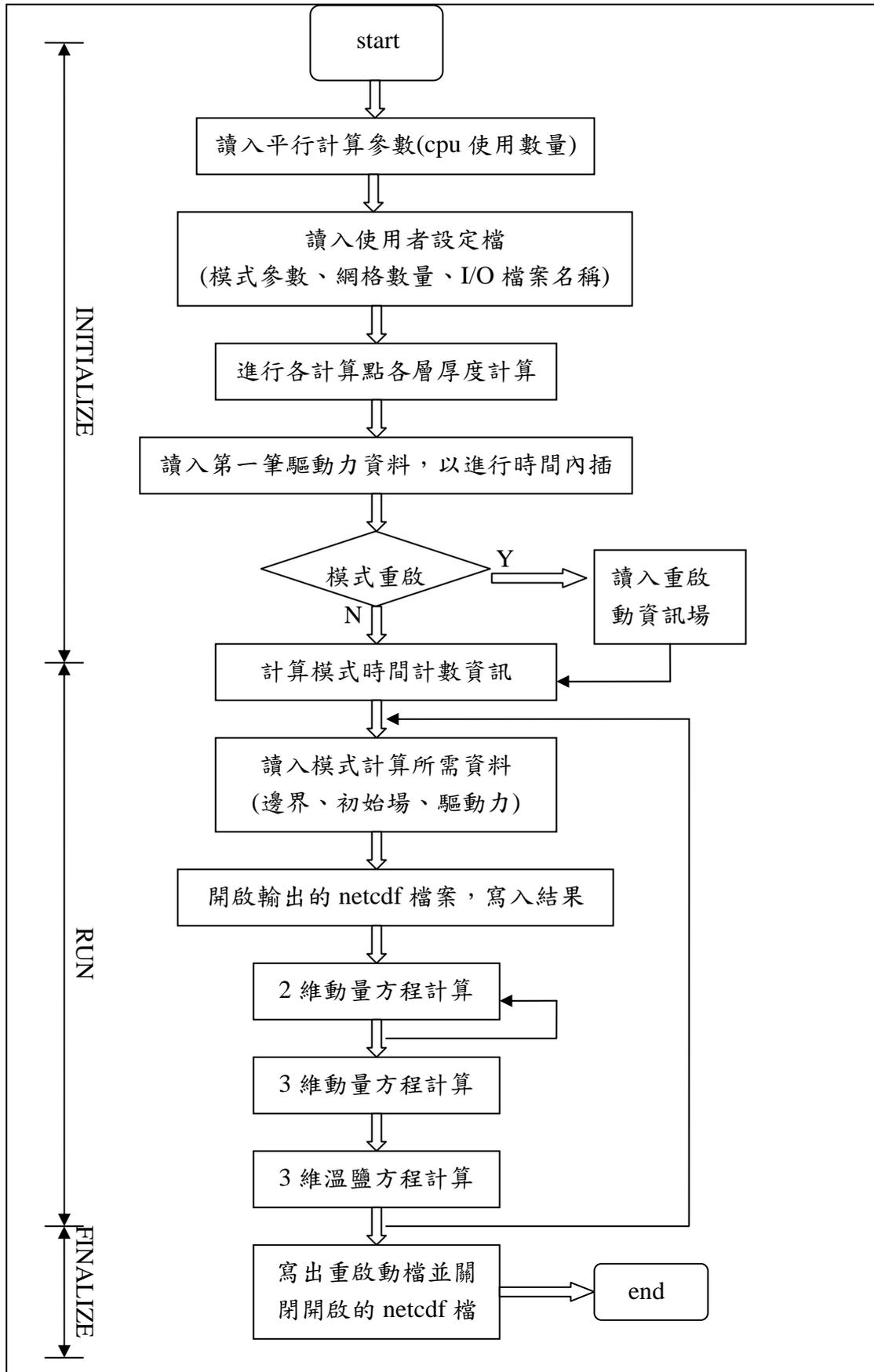


圖 2-1 ROMS 執行流程圖

第三章 太平洋環流模式檔案設定流程

ROMS 由網路下載完成並解完壓縮之後，所有檔案按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 shell script 檔案，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。

執行太平洋環流模式的主要建置作業流程如圖 3-1，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 matlab 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，在利用 Fortran compiler 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的需要，可直接修改 Build 資料夾內的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原始的 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)。

接下來的小節會仔細介紹建置細部流程及檔案相關設定。

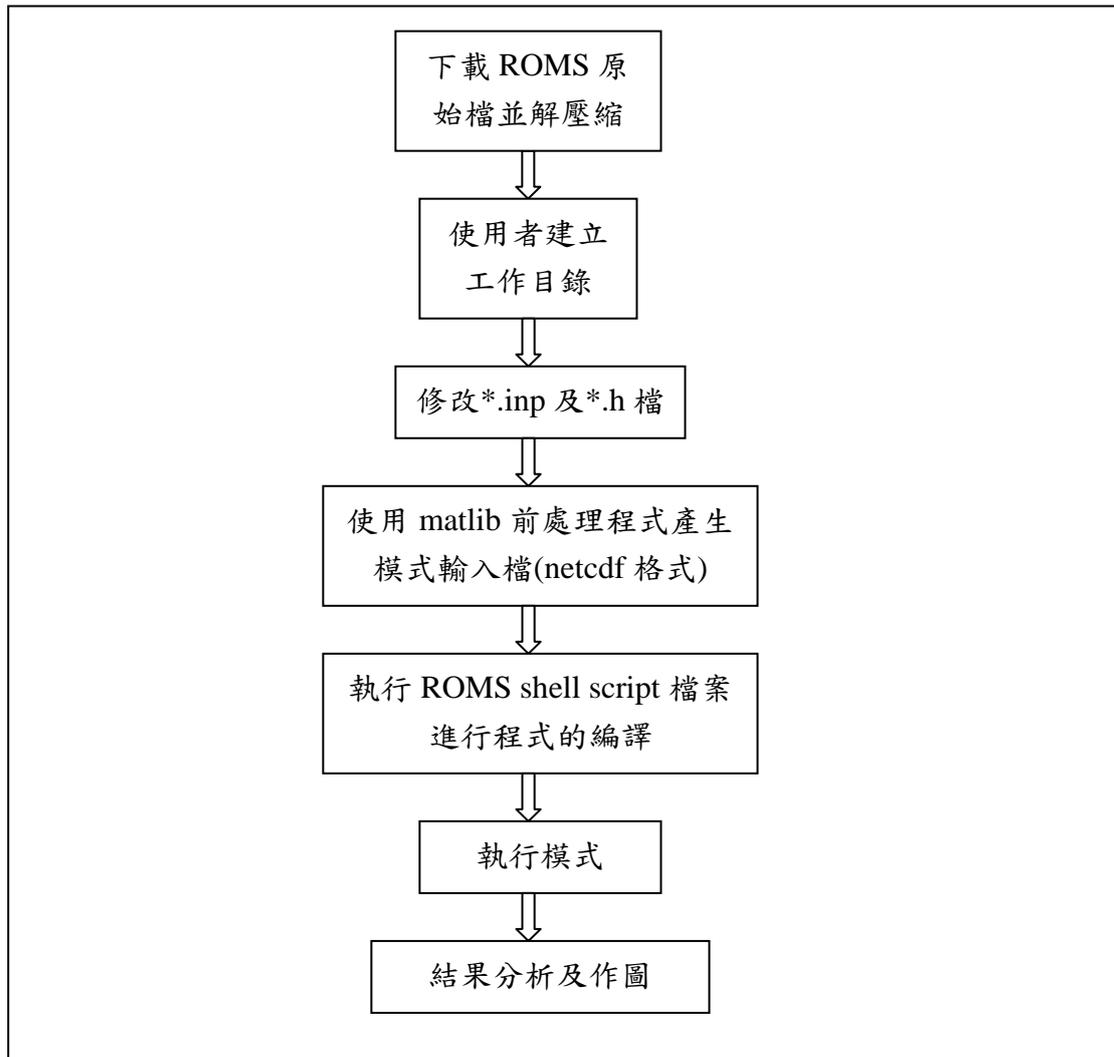


圖 3-1 ROMS 建置流程圖

3.1 計算環境設定

要進行太平洋環流模式建置，執行之電腦系統需安裝以下軟體：

- SVN 客戶端軟體：用來下載 ROMS 原始檔案。
- Fortran 90 或 95 編譯器：編譯原始碼為執行檔。
- CPP 程式：解析 ROMS 原始碼得 C 前處理程式。
- NetCDF 函式庫：模式輸入/輸出格式使用。
- GUN make 版本 3.81 以上：用以執行 fortran 編譯 ROMS 原始檔。
- MPI 或 OpenMP 函式庫：進行平行運算使用。
- RNT(ROMS Numerical Toolbox) toolbox：創建 ROMS 輸入檔工具。

此工具需搭配 matlab 使用，本團隊未來會將其改寫為 fortran 程式，在計算平台移植上會更方便。

所有軟體安裝完成後即可開使進行太平洋環流模式的建置。

第一步驟，使用 SVN 客戶端軟體下載 ROMS 原始檔案至需要執行的電腦主機中，ROMS 原始檔案架構如圖 3.1-1 所示，使用者可參考此圖確定是否有完整下載，此部份原始檔除了部份環境設定檔案需修改外，其餘檔案及目錄開發者皆不建議自行修改，以免造成後續執行的問題。ROMS 環境設定的部份，只需要修改 Compilers 目錄下的參數，依照執行機器所使用的 fortran 編譯器種類，選擇對應的*.mk 檔編輯，進行 CPP 程式、fortran 編譯器及 NetCDF 函式庫路徑的設定即可，如此及完成 ROMS 在本台主機上的環境設置，Compilers 目錄內容如圖 3.1-2 所示。

第二步驟，建立太平洋環流模式的工作目錄，避免修改到 ROMS 的原始檔案，此工作目錄名稱可由使用者自行決定，本團隊設定的名稱為 pacific，在此目錄下仍需建置三個資料夾，分別為 Build、input 及 output 資料夾，分別放置太平洋環流模式的原始檔、輸入檔及結果輸出檔。

trunk/	Main trunk directory
/Atmosphere/	Atmosphere models root directory
/COAMPS	COAMPS root directory (empty)
/WRF	WRF root directory (empty)
/Compilers/	make configuration files
/Data/	Input data root directory
/ROMS/	ROMS data root directory
/CDL	ROMS Metadata design
/Forcing	Input test cases forcing NetCDF files
/Grid	Input test cases grid NetCDF files
/Initial	Input test cases initial conditions NetCDF files
/Lib/	External libraries
/ARPACK	Arpack eigenvalue problems library
/MCT	Modeling Coupling Tool library
/MCT_WRF	WRF Modeling Coupling Tool library
/Master_	Main standalone and coupling programs
/ROMS/	ROMS root directory
/Adjoint	Adjoint model
/Bin	Executable scripts
/Drivers	Computational drivers
/External	Standard input scripts
/Functionals	Analytical expression header files
/Include	Test cases configuration header files
/Modules	Declaration modules
/Nonlinear	Nonlinear model
/Obsolete	Discontinued files
/Programs	Support programs
/SeaIce	Sea-ice model (empty)
/Representer	Representer model
/Tangent	Tangent linear model
/Utility	Generic utility files
License_ROMS.text	Open source license
Version	SVN Version information
/User/	ROMS User interface root directory
/External	User standard input scripts
/Functionals	User analytical expressions templates
/Include	User application header files
/WAVES/	Waves models root directory
/SWAN	SWAN root directory
/External	SWAN input data and standard input files
/Src	SWAN model

圖 3.1-1 ROMS 檔案架構

```
[defender@kangoo-dual-16 Compilers]% ls
AIX-xf.mk      Darwin-ifort.mk  Linux-gfortran.mk  MINGW-g95.mk      UNICOS-mp-ftn.mk
CYGWIN-df.mk   Darwin-pgi.mk    Linux-ifc.mk        MINGW-gfortran.mk UNICOS-sn-f90.mk
CYGWIN-g95.mk  Darwin-xf.mk     Linux-ifort.mk      OSF1-f90.mk
CYGWIN-gfortran.mk  IRIX64-f90.mk  Linux-path.mk       SunOS-f95.mk
CYGWIN-ifort.mk  Linux-ftn.mk     Linux-pgi.mk        SunOS-ftn.mk
Darwin-f90.mk   Linux-g95.mk     make_macros.h       UNICOS-mk-f90.mk
[defender@kangoo-dual-16 Compilers]%
```

圖 3.1-2 Compilers 目錄內之檔案

3.2 地形及乾濕點設定

目前使用 RNT toolbox 進行太平洋環流模式輸入檔建置，後續邊界條件、驅動力等輸入檔皆使用此工具完成。

於 RNT toolbox 網頁下載檔案，並將其解壓縮，其內含的檔案內容如圖 3.2-1 所示，會應用到的 matlab 模組皆放於 matlib 資料夾內，產生輸入檔的*.m 檔案則放在 main-data 資料夾下。首先建立使用者所需要的輸入檔工作目錄，以便存放產生的 netcdf 輸入檔，本團隊使用 roms_grid 作為此工作目錄的名稱；由 main-data 資料夾複製

MAIN_grid.m 至 roms_grid 資料夾下，依照其內容依序於 matlab 下執行，並依照使用者所需要的資訊進行修改。MAIN_grid.m 內容順序主要分為

1. 設定格點檔名稱，太平洋環流模式為 pacific-grid.nc，此檔名可依照使用者需求自行更改。
2. 載入海岸線資訊，並依使用者需求選定範圍，太平洋環流模式範圍為東經 90 度至西經 67 度，南緯 80 度至北緯 67 度。
3. 使用 matlab 下的 seagrid 程式進行格點建立，依照模式解析度設定 x 方向與 y 方向格點數，太平洋環流模式為 626 x 450。並且將設定完成的檔案轉換為 ROMS 可讀取的輸入檔，檔案名稱為第一步驟設定的名稱，完成此步驟後便可以在資料夾內產生 pacific-grid.nc 檔。
4. 填入模式範圍水深資訊，並依據使用者需要設定上下限水深，太平洋環流模式使用 etopo5 的水深資料，若有需要可以使用其內含的平滑模組進行地形平滑計算，將結果存入 pacific-grid.nc 檔。
5. 進行乾濕點配置，將最小地形水深以下的點設為乾點，其餘的點位則設定為濕點，並可使用 matlab 下的 editmask 工具，進行細部的修改。
6. 完成格點檔案 pacific-grid.nc 建立。

```
[defender@kangoo-dual-16 ROMS_Tutorial]% ls  
data grids main-data matlib mat_tpxo6.0  
[defender@kangoo-dual-16 ROMS_Tutorial]% █
```

圖 3.2-1 RNT toolbox 目錄內容

3.3 驅動力、邊界條件及初始條件設定

太平洋環流模式驅動力、邊界條件及初始條件設定與地形類似，複製 main-data 下的 MAIN_ncfiles.m、MAIN_ncfiles_forc.m、MAIN_ncfiles_clima_UV.m、MAIN_ncfiles_clima_TS.m 及 MAIN_ncfiles_clima_forc.m 檔案至 roms_grid 資料夾下。依據 MAIN_ncfiles.m 內得內容依序設定執行，便可得到驅動力、邊界條件

及初始條件得輸入檔。主要執行順序如下

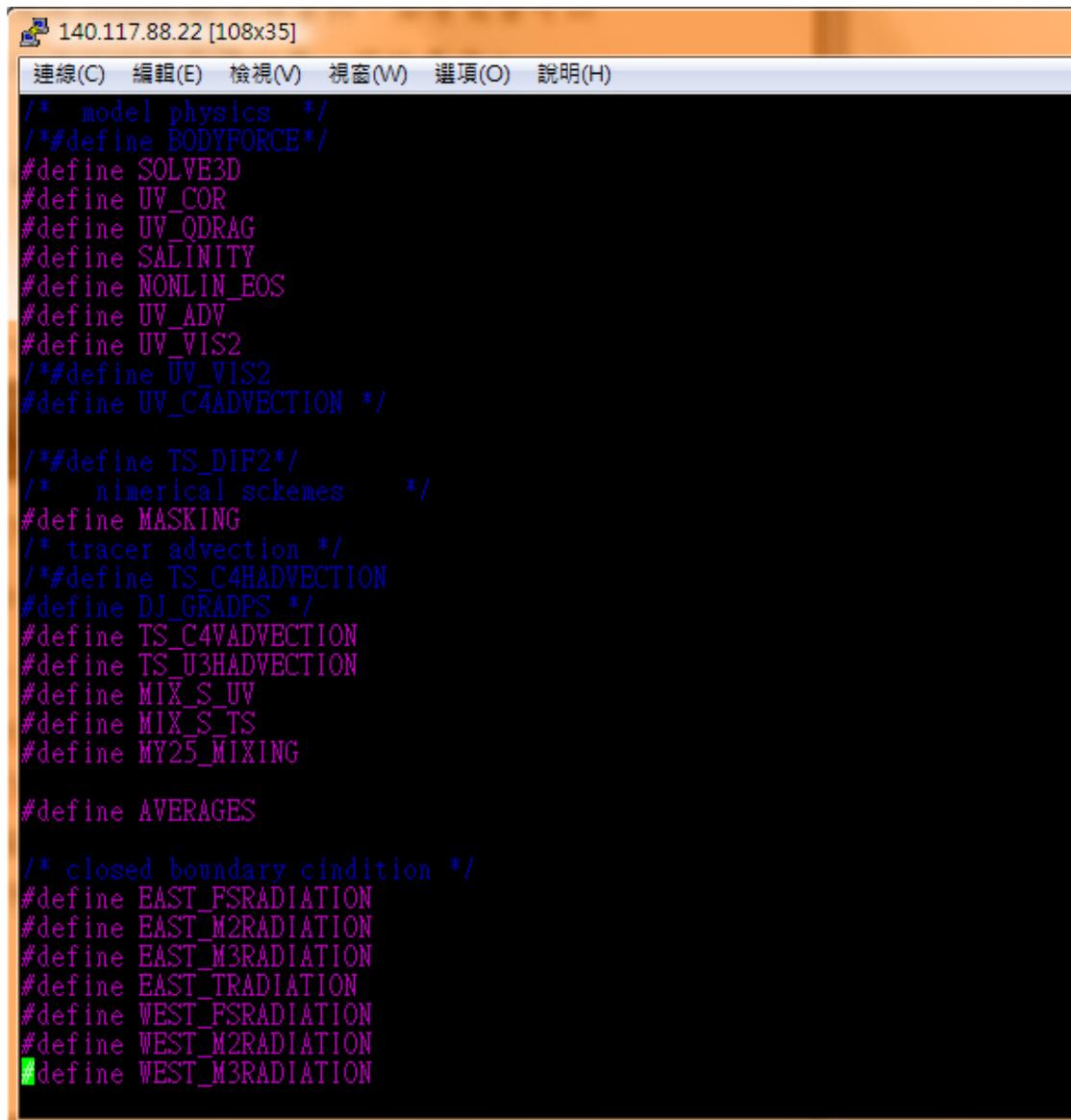
1. 設定 grid 檔案的名稱，以讀入前一小節建立的 grid 檔案。
2. 設定驅動力、邊界條件及初始條件輸入檔檔名，太平洋環流模式使用 pacific-forc.nc、pacific-bry.nc 及 pacific-init.nc 為檔名，與格點檔命名系統相同。
3. 創建驅動力、變界條件及初始條件輸入檔，目錄下會出現前一步驟設定名稱的 netcdf 檔案。
4. 將 pacific-forc.nc 檔案內的變數皆填入常數值。
5. 讀入 NCEP reanalysis 資料，內插至太平洋環流模式格點上，填入 pacific-forc.nc 變數內。
6. 將 pacific-bry.nc 檔案內的變數皆填入常數值。
7. 讀入 HYCOM 資料，內插至太平洋環流模式格點上，填入 pacific-init.nc 變數內。
8. 將 pacific-init.nc 檔案內的變數皆填入常數值。
9. 讀入 HYCOM 資料，內插至太平洋環流模式格點上，填入 pacific-init.nc 變數內。
10. 完成驅動力(pacific-forc.nc)、邊界條件(pacific-bry.nc)及初始條件(pacific-init.nc)輸入檔建立。
11. 將格點(pacific-grid.nc) 、驅動力(pacific-forc.nc)、邊界條件(pacific-bry.nc)及初始條件(pacific-init.nc)檔案複製至太平洋環流模式工作目錄(pacific)內的 input 資料夾內。

3.4 模組檔設定

輸入檔建置完成後，回到太平洋環流工作目錄(pacific)下進行模組檔設定，模組檔範例可由 ROMS 原始資料夾 ROMS/Include 下複製，將其檔名改為 pacific.h 即可，檔案內容如圖 3.4-1 所示。所需開啟的模組可由指令 #define 進行開啟，不需要開啟的模組則不需要列入或利用 /* 將其註解掉。

編輯使用者所需開啟的模組，ROMS 提供的所有模組可由 ROMS/Include/cppdefs.h 檔案內之內容查詢，圖 3.4-2 為 cppdefs.h 檔

案部份內容。



```
140.117.88.22 [108x35]
連線(C) 編輯(E) 檢視(V) 視窗(W) 選項(O) 說明(H)
/* model physics */
/*#define BODYFORCE*/
#define SOLVE3D
#define UV_COR
#define UV_QDRAG
#define SALINITY
#define NONLIN_EOS
#define UV_ADV
#define UV_VIS2
/*#define UV_VIS2
#define UV_C4ADVECTION */

/*#define TS_DIF2*/
/* numerical schemes */
#define MASKING
/* tracer advection */
/*#define TS_C4HADVECTION
#define DJ_GRADPS */
#define TS_C4VADVECTION
#define TS_U3HADVECTION
#define MIX_S_UV
#define MIX_S_TS
#define MY25_MIXING

#define AVERAGES

/* closed boundary cindition */
#define EAST_FSRADIATION
#define EAST_M2RADIATION
#define EAST_M3RADIATION
#define EAST_TRADIATION
#define WEST_FSRADIATION
#define WEST_M2RADIATION
#define WEST_M3RADIATION
```

圖 3.4-1 OCM1 模組設定檔


```
140.117.88.22 [108x35]
連線(C) 編輯(E) 檢視(V) 視窗(W) 選項(O) 說明(H)
TITLE = pacific ocean test case
! C-preprocessing Flag.
MyAppCPP = PACIFIC
! Input variable information file name. This file needs to be processed
! first so all information arrays can be initialized properly.
VARNAME = ../../ROMS_src/ROMS/External/varinfo.dat
! Grid dimension parameters. See notes below in the Glossary for how to set
! these parameters correctly.
Lm = 624 ! Number of I-direction INTERIOR RHO-points
Mm = 448 ! Number of J-direction INTERIOR RHO-points
N = 40 ! Number of vertical levels
Nbed = 0 ! Number of sediment bed layers
NAT = 2 ! Number of active tracers (usually, 2)
NPT = 0 ! Number of inactive passive tracers
NCS = 0 ! Number of cohesive (mud) sediment tracers
NNS = 0 ! Number of non-cohesive (sand) sediment tracers
! Domain decomposition parameters for serial, distributed-memory or
! shared-memory configurations used to determine tile horizontal range
! indices (Istr,lend) and (Jstr,Jend), [1:Ngrids].
NtileI = 8 ! I-direction partition
NtileJ = 4 ! J-direction partition
! Time-Stepping parameters.
```

圖 3.5-1 OCM1 輸入參數檔內容

3.6 模式編譯及執行

所需檔案準備完畢後，複製 ROMS 原始資料夾 ROMS/Bin 下的 build.sh 至工作目錄下，準備進程式編譯產生模式執行檔。修改 build.sh 內的參數設定，包括 ROMS 原始程式的所在路徑、是否開啟平行計算、編譯器種類及太平洋環流模式原始碼存放位置，完成修改後直接執行 build.sh，便可於工作目錄下產生 oceanM 的執行檔。

執行指令如下(以 mpi 系統為例，使用 32 顆核心進行運算)

```
mpirun -np 32 oceanM pacific.in > log
```

模式順利執行完成後，便可於 output 資料夾下看到模式輸出檔，包括時序檔(ocean_his.nc)及重啟動檔(ocean_rst)。

附錄 B 西北太平洋環流模式操作使用手冊

交通部中央氣象局
海象測報中心

西北太平洋環流模式

操作使用手冊

民國 98 年 12 月

目錄.....	B-i
圖目錄.....	B-ii
第一章 模式原理介紹	B-1
第二章 模式執行流程	B-11
第三章 西北太平洋環流模式檔案設定流程	B-13
3.1 計算環境設定.....	B-15
3.2 地形及乾濕點設定.....	B-16
3.3 驅動力、邊界條件及初始條件設定	B-17
3.4 模組檔設定.....	B-18
3.5 參數輸入檔設定.....	B-18
3.6 模式編譯及執行.....	B-19

圖目錄

圖 1.1-1 ROMS 系統架構圖	B-2
圖 1.2-2 ROMS 水平網格變數配置	B-5
圖 1.2-3 ROMS 垂直網格變數配置	B-5
圖 1.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖	B-8
圖 1.2-5 curvilinear 網格示意圖	B-10
圖 2-1 ROMS 執行流程圖	B-12
圖 3-1 ROMS 建置流程圖	B-14
圖 3.1-1 ROMS 檔案架構	B-16
圖 3.1-2 Compilers 目錄內之檔案	B-16
圖 3.2-1 RNT toolbox 目錄內容	B-17
圖 3.4-1 OCM2 模組設定檔	B-19
圖 3.4-2 模組說明檔	B-20
圖 3.5-1 OCM2 參數設定檔	B-21

第一章 模式原理介紹

西北太平洋環流模式使用 ROMS(Regional Ocean Modeling System)模式進行建置，ROMS 的特性及原理描述如下：

1.1 ROMS 模式特性

ROMS 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。其為一套自由表面設定，垂直座標使用 s 座標系統，且適用範圍相當廣的模式，圖 1.1-1 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 在資料同化的也提供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 (σ) 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

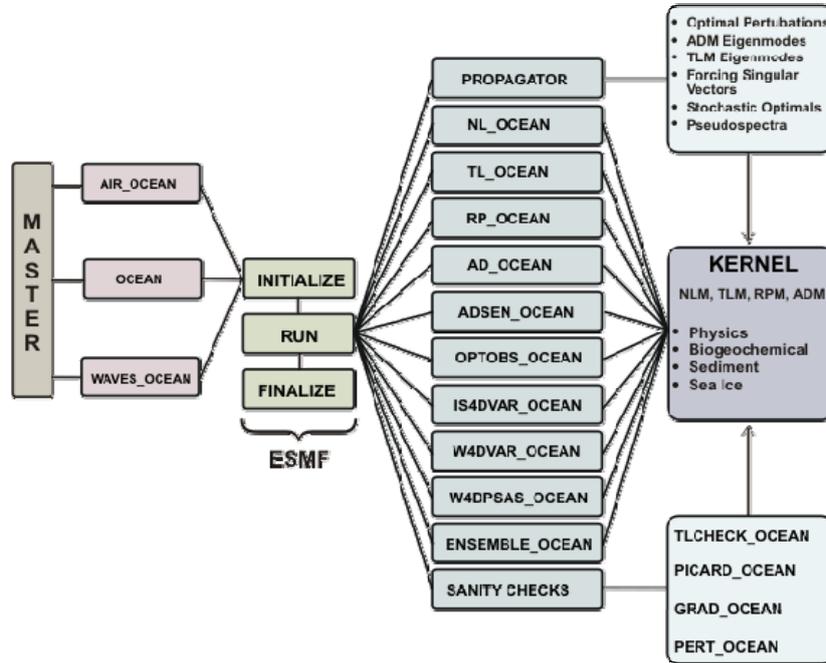


圖 1.1-1 ROMS 系統架構圖

1.2 ROMS 控制方程式

(1) 基本控制方程式

ROMS 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，因此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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{v} \cdot \Delta u - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \bar{v} \cdot \Delta v - fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v$$

溫度及鹽度擴散方程式

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

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

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)

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

其中 \vec{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($z = \zeta(x, y, t)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_s^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref})$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = (E - P)S$$

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

在底層($z = -h(x, y)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_b^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_b^y(x, y, t)$$

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

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

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = 0$$

$$-w + \vec{v} \cdot \nabla h = 0$$

其中 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最需要進行處理，ROMS 會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 1.2-2 所示，變數水位(zeta)、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 1.2-3 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(Akt、Akv...等)則置於網格上下邊緣。

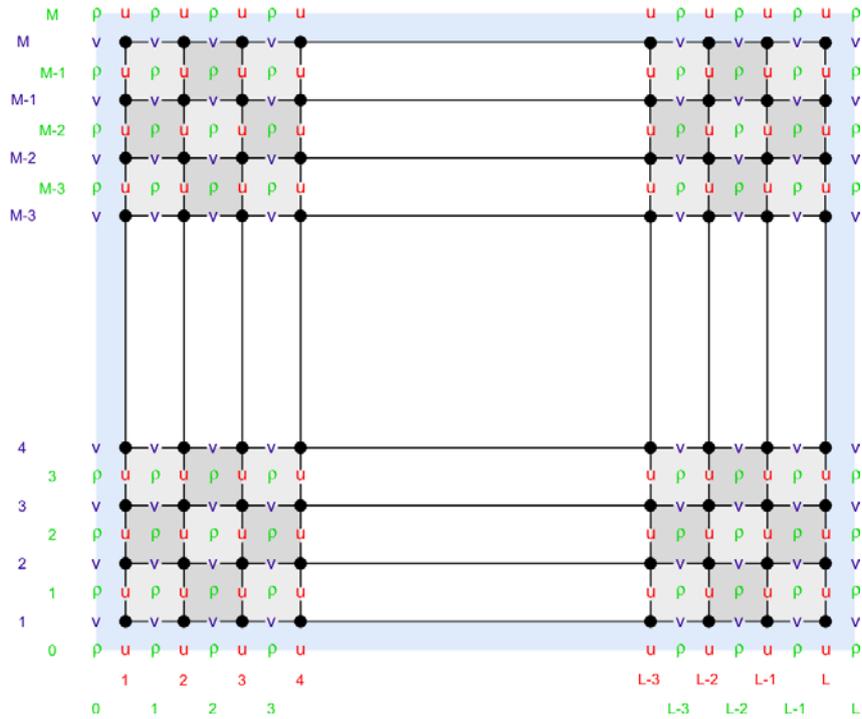


圖 1.2-2 ROMS 水平網格變數配置

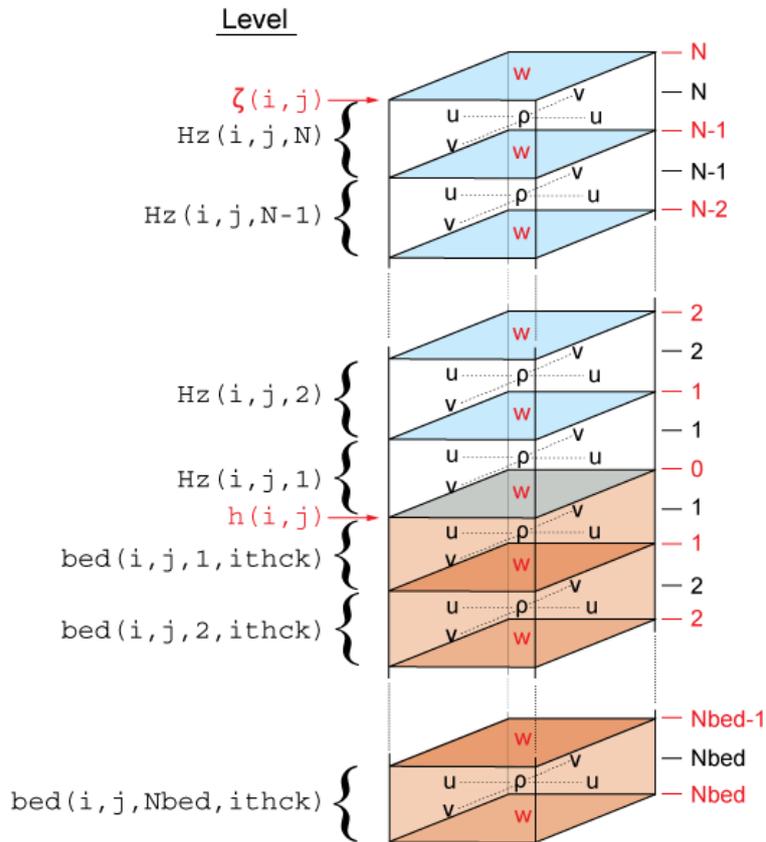


圖 1.2-3 ROMS 垂直網格變數配置

(4) 垂直 S 座標系統

傳統的 z 座標系統在遇到地形變化很大的地方，會產生網格不連

續的現象，因此變出現了可依據地形變化等比例分配的座標系統 (sigma 座標)，此座標系統最早是應用在大氣方面，其後才使用於海洋的模擬。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 1.2-4。以下為 S 座標的定義：

$$\begin{aligned}\hat{x} &= x \\ \hat{y} &= y \\ \hat{t} &= t \\ z &= \zeta + (1 + \frac{\zeta}{h}) [h_c s + (h - h_c) C(s)] \\ C(s) &= (1 - b) \frac{\sinh(\theta s)}{\sinh \theta} + b \frac{\tanh \left[\theta (s + \frac{1}{2}) \right] - \tanh(\frac{1}{2} \theta)}{2 \tanh(\frac{1}{2} \theta)}\end{aligned}$$

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 值則可增加或減少表層的層數。

兩種不同的座標轉換方式如下

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \frac{\partial}{\partial z} &= \left(\frac{\partial s}{\partial z}\right) \frac{\partial}{\partial s} = \frac{1}{H_z} \frac{\partial}{\partial s}\end{aligned}$$

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

經過上述的座標轉換，ROMS 的動態方程式可以轉換如下：

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} - f v + \vec{v} \cdot \nabla u &= -\frac{\partial \phi}{\partial x} - \left(\frac{g \rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F_u + D_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + f u + \vec{v} \cdot \nabla v &= -\frac{\partial \phi}{\partial y} - \left(\frac{g \rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + F_v + D_v \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T &= F_T + D_T\end{aligned}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla S = F_s + D_s$$

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

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

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

其中

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

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

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

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

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))

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

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

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

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

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

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

$$\Omega = 0$$

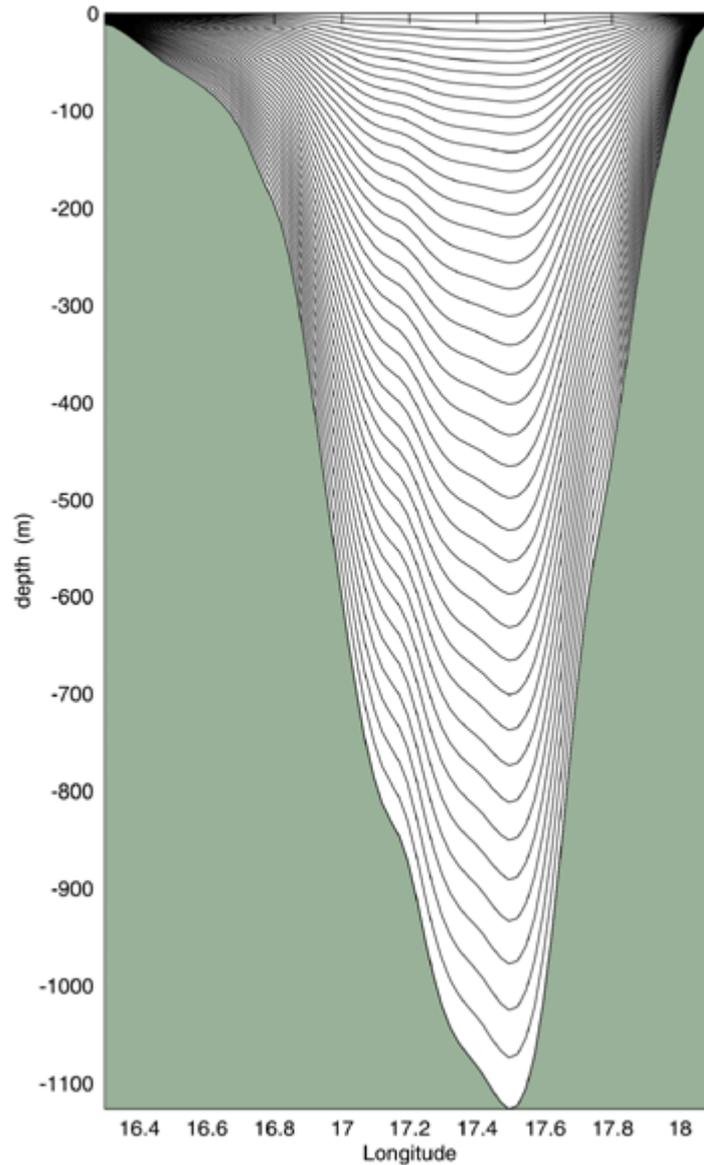


圖 1.2-4 ROMS 垂直 S 座標示意圖

(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，在解析力的部份是不足的，特別是針對計算流體的運動，因此 ROMS 為了解決這個問題，在水平座標採用了可以產生不規則網格的 curvilinear 座標系統，如圖 1.2-5 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

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

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

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

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

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

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。

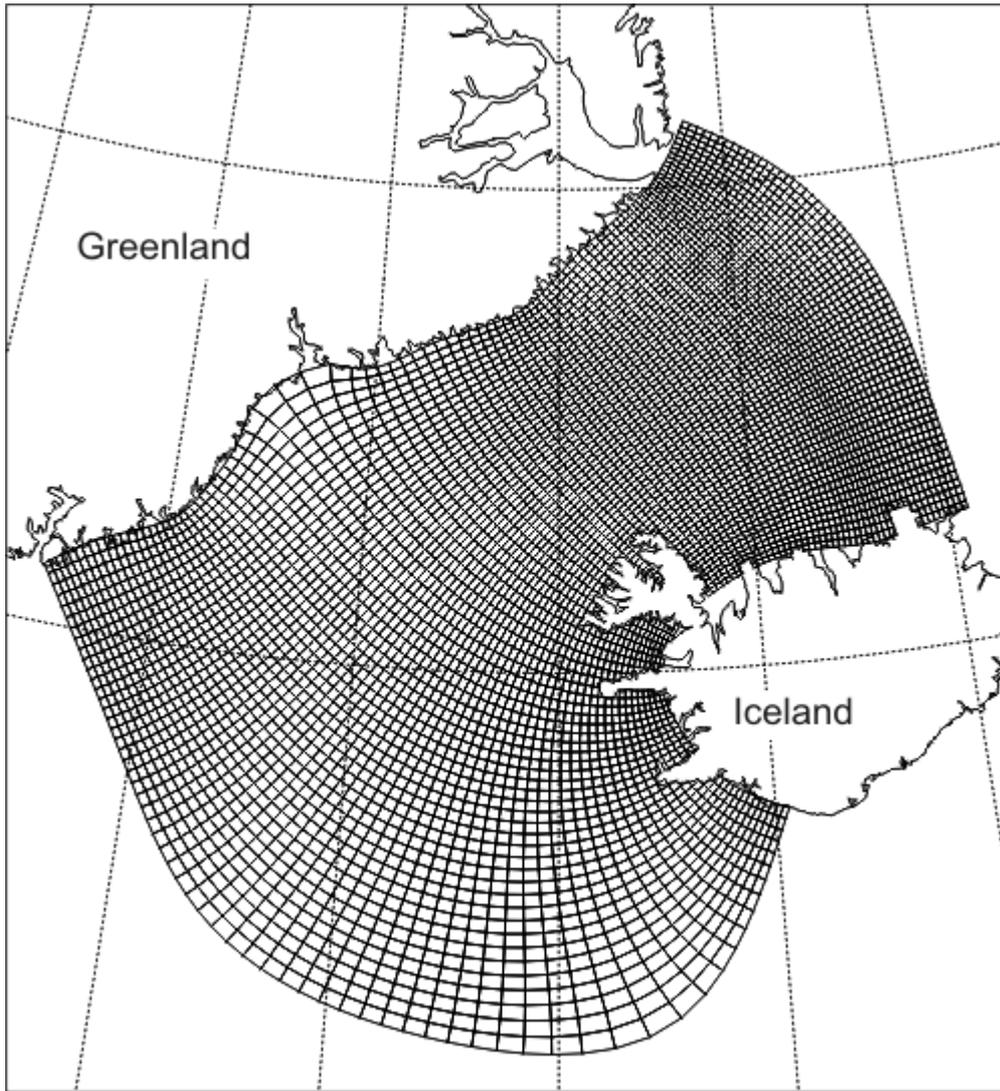


圖 1.2-5 curvilinear 網格示意圖

第二章 模式執行流程

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 2-1 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。

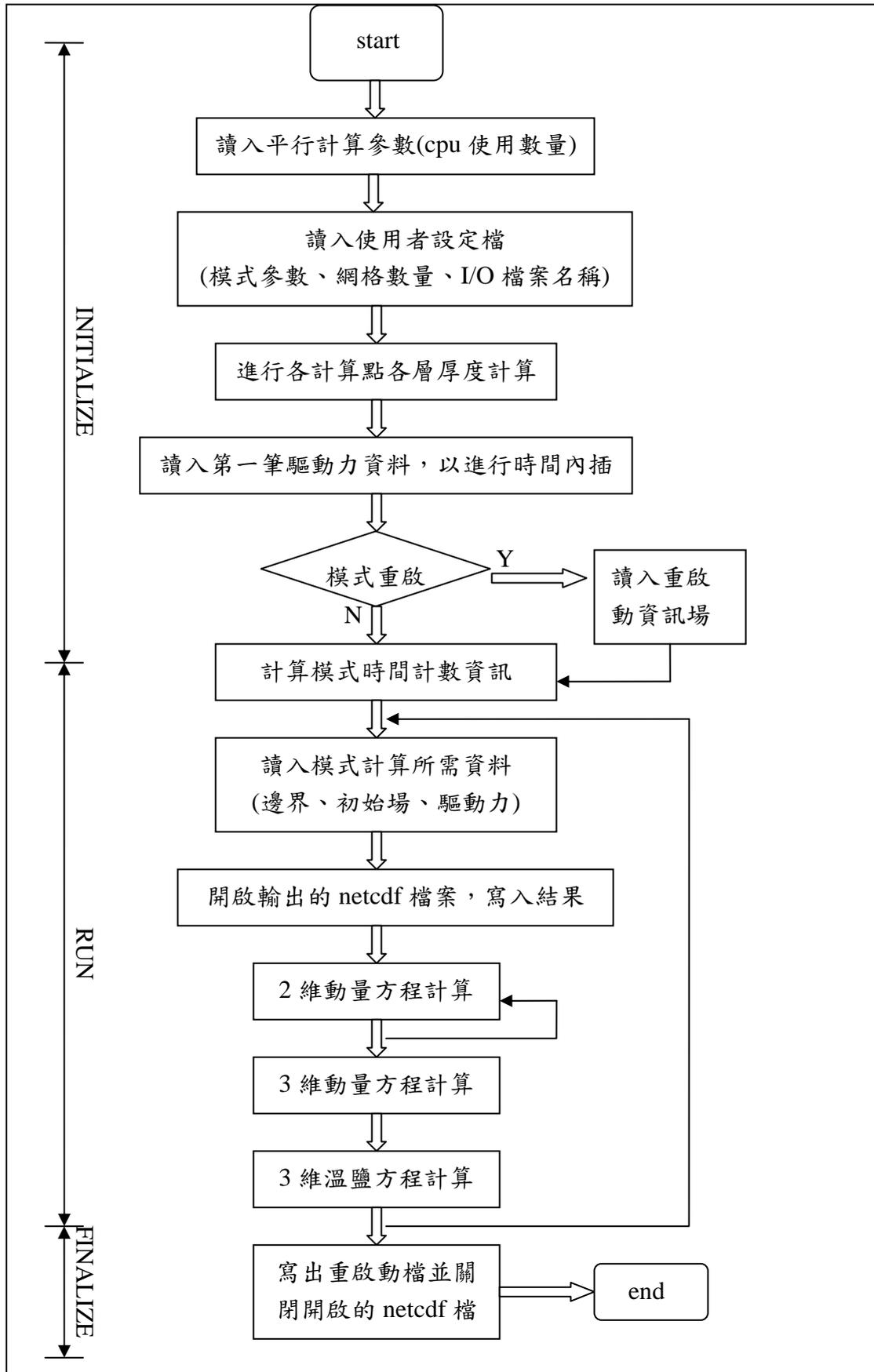


圖 2-1 ROMS 執行流程圖

第三章 西北太平洋環流模式檔案設定流程

ROMS 由網路下載完成並解完壓縮之後，所有檔案按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 shell script 檔案，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。

執行西北太平洋環流模式的主要建置作業流程如圖 3-1，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 matlab 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，在利用 Fortran compiler 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的需要，可直接修改 Build 資料夾內的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原始的 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)。

接下來的小節會仔細介紹建置細部流程及檔案相關設定。

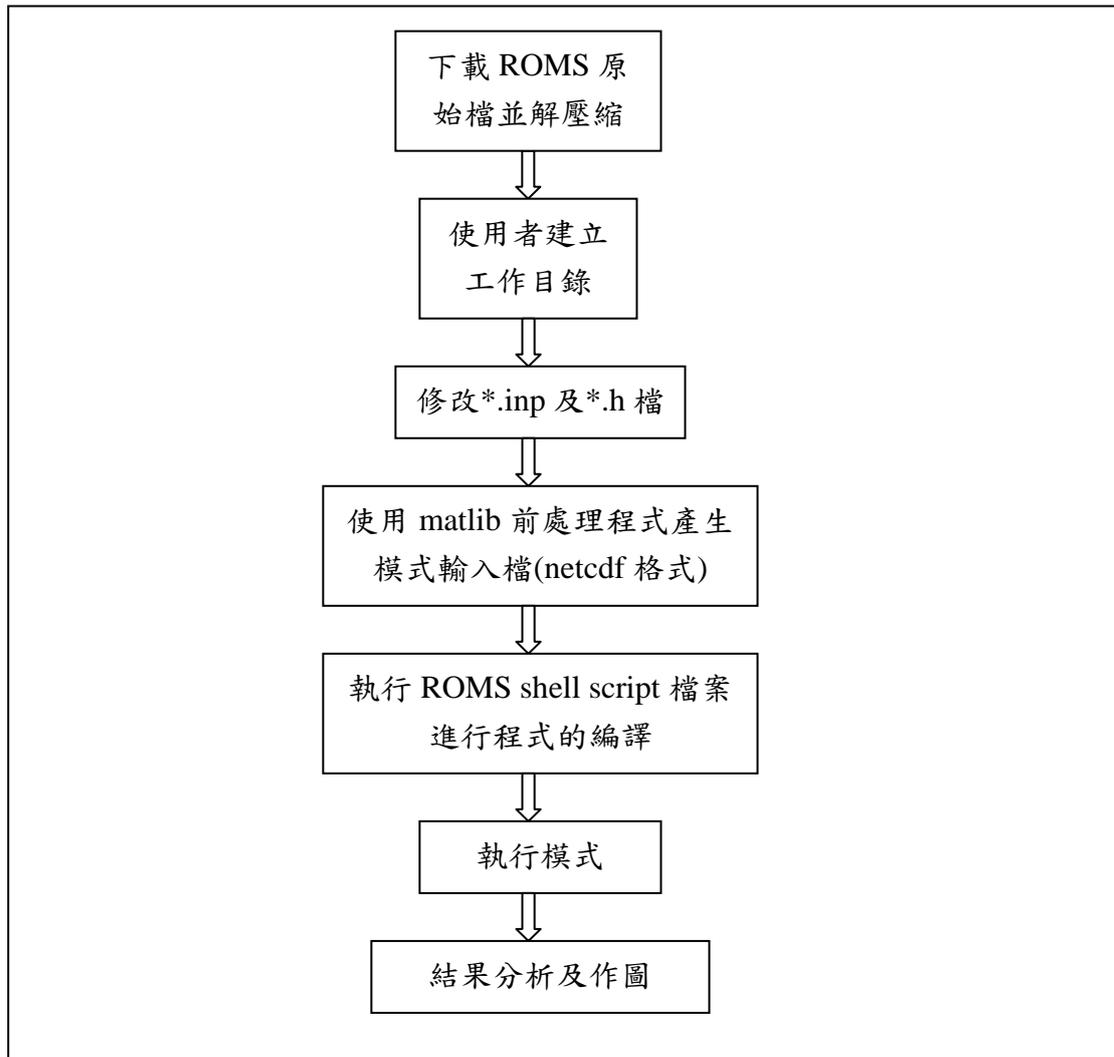


圖 3-1 ROMS 建置流程圖

3.1 計算環境設定

要進行西北太平洋環流模式建置，執行之電腦系統需安裝以下軟體：

- SVN 客戶端軟體：用來下載 ROMS 原始檔案。
- Fortran 90 或 95 編譯器：編譯原始碼為執行檔。
- CPP 程式：解析 ROMS 原始碼得 C 前處理程式。
- NetCDF 函式庫：模式輸入/輸出格式使用。
- GUN make 版本 3.81 以上：用以執行 fortran 編譯 ROMS 原始檔。
- MPI 或 OpenMP 函式庫：進行平行運算使用。
- RNT(ROMS Numerical Toolbox) toolbox：創建 ROMS 輸入檔工具。

此工具需搭配 matlab 使用，本團隊未來會將其改寫為 fortran 程式，在計算平台移植上會更方便。

所有軟體安裝完成後即可開使進行西北太平洋環流模式的建置。

第一步驟，使用 SVN 客戶端軟體下載 ROMS 原始檔案至需要執行的電腦主機中，ROMS 原始檔案架構如圖 3.1-1 所示，使用者可參考此圖確定是否有完整下載，此部份原始檔除了部份環境設定檔案需修改外，其餘檔案及目錄開發者皆不建議自行修改，以免造成後續執行的問題。ROMS 環境設定的部份，只需要修改 Compilers 目錄下的參數，依照執行機器所使用的 fortran 編譯器種類，選擇對應的*.mk 檔編輯，進行 CPP 程式、fortran 編譯器及 NetCDF 函式庫路徑的設定即可，如此及完成 ROMS 在本台主機上的環境設置，Compilers 目錄內容如圖 3.1-2 所示。

第二步驟，建立西北太平洋環流模式的工作目錄，避免修改到 ROMS 的原始檔案，此工作目錄名稱可由使用者自行決定，本團隊設定的名稱為 nwpacific，在此目錄下仍需建置三個資料夾，分別為 Build、input 及 output 資料夾，分別放置西北太平洋環流模式的原始檔、輸入檔及結果輸出檔。

trunk/	Main trunk directory
/Atmosphere/	Atmosphere models root directory
/COAMPS	COAMPS root directory (empty)
/WRF	WRF root directory (empty)
/Compilers/	make configuration files
/Data/	Input data root directory
/ROMS/	ROMS data root directory
/CDL	ROMS Metadata design
/Forcing	Input test cases forcing NetCDF files
/Grid	Input test cases grid NetCDF files
/Initial	Input test cases initial conditions NetCDF files
/Lib/	External libraries
/ARPACK	Arpack eigenvalue problems library
/MCT	Modeling Coupling Tool library
/MCT_WRF	WRF Modeling Coupling Tool library
/Master_	Main standalone and coupling programs
/ROMS/	ROMS root directory
/Adjoint	Adjoint model
/Bin	Executable scripts
/Drivers	Computational drivers
/External	Standard input scripts
/Functionals	Analytical expression header files
/Include	Test cases configuration header files
/Modules	Declaration modules
/Nonlinear	Nonlinear model
/Obsolete	Discontinued files
/Programs	Support programs
/SeaIce	Sea-ice model (empty)
/Representer	Representer model
/Tangent	Tangent linear model
/Utility	Generic utility files
License_ROMS.text	Open source license
Version	SVN Version information
/User/	ROMS User interface root directory
/External	User standard input scripts
/Functionals	User analytical expressions templates
/Include	User application header files
/WAVES/	Waves models root directory
/SWAN	SWAN root directory
/External	SWAN input data and standard input files
/Src	SWAN model

圖 3.1-1 ROMS 檔案架構

```
[defender@kangoo-dual-16 Compilers]% ls
AIX-xf.mk      Darwin-ifort.mk  Linux-gfortran.mk  MINGW-g95.mk      UNICOS-mp-ftn.mk
CYGWIN-df.mk   Darwin-pgi.mk   Linux-ifc.mk       MINGW-gfortran.mk UNICOS-sn-f90.mk
CYGWIN-g95.mk  Darwin-xf.mk    Linux-ifort.mk     OSF1-f90.mk
CYGWIN-gfortran.mk  IRIX64-f90.mk  Linux-path.mk      SunOS-f95.mk
CYGWIN-ifort.mk  Linux-ftn.mk    Linux-pgi.mk       SunOS-ftn.mk
Darwin-f90.mk   Linux-g95.mk    make_macros.h      UNICOS-mk-f90.mk
[defender@kangoo-dual-16 Compilers]%
```

圖 3.1-2 Compilers 目錄內之檔案

3.2 地形及乾濕點設定

目前使用 RNT toolbox 進行西北太平洋環流模式輸入檔建置，後續邊界條件、驅動力等輸入檔皆使用此工具完成。

於 RNT toolbox 網頁下載檔案，並將其解壓縮，其內含的檔案內容如圖 3.2-1 所示，會應用到的 matlab 模組皆放於 matlib 資料夾內，產生輸入檔的*.m 檔案則放在 main-data 資料夾下。首先建立使用者所需要的輸入檔工作目錄，以便存放產生的 netcdf 輸入檔，本團隊使用 roms_grid 作為此工作目錄的名稱；由 main-data 資料夾複製

MAIN_grid.m 至 roms_grid 資料夾下，依照其內容依序於 matlab 下執行，並依照使用者所需要的資訊進行修改。MAIN_grid.m 內容順序主要分為

1. 設定格點檔名稱，西北太平洋環流模式為 nwpacific-grid.nc，此檔名可依照使用者需求自行更改。
2. 載入海岸線資訊，並依使用者需求選定範圍，西北太平洋環流模式範圍為東經 90 度至東經 180 度，南緯 20 度至北緯 67 度。
3. 使用 matlab 下的 seagrid 程式進行格點建立，依照模式解析度設定 x 方向與 y 方向格點數，西北太平洋環流模式為 722 x 706。並且將設定完成的檔案轉換為 ROMS 可讀取的輸入檔，檔案名稱為第一步驟設定的名稱，完成此步驟後便可以在資料夾內產生 nwpacific-grid.nc 檔。
4. 填入模式範圍水深資訊，並依據使用者需要設定上下限水深，西北太平洋環流模式使用 etopo2 的水深資料，若有需要使用其內含的平滑模組進行地形平滑計算，將結果存入 nwpacific-grid.nc 檔。
5. 進行乾濕點配置，將最小地形水深以下的點設為乾點，其餘的點位則設定為濕點，並可使用 matlab 下的 editmask 工具，進行細部的修改。
6. 完成格點檔案 nwpacific-grid.nc 建立。

```
[defender@kangoo-dual-16 ROMS_Tutorial]% ls  
data grids main-data matlab mat_tpxo6.0  
[defender@kangoo-dual-16 ROMS_Tutorial]% █
```

圖 3.2-1 RNT toolbox 目錄內容

3.3 驅動力、邊界條件及初始條件設定

西北太平洋環流模式驅動力、邊界條件及初始條件設定與地形類似，複製 main-data 下的 MAIN_ncfiles.m、MAIN_ncfiles_forc.m、MAIN_ncfiles_clima_UV.m、MAIN_ncfiles_clima_TS.m 及 MAIN_ncfiles_clima_forc.m 檔案至 roms_grid 資料夾下。依據

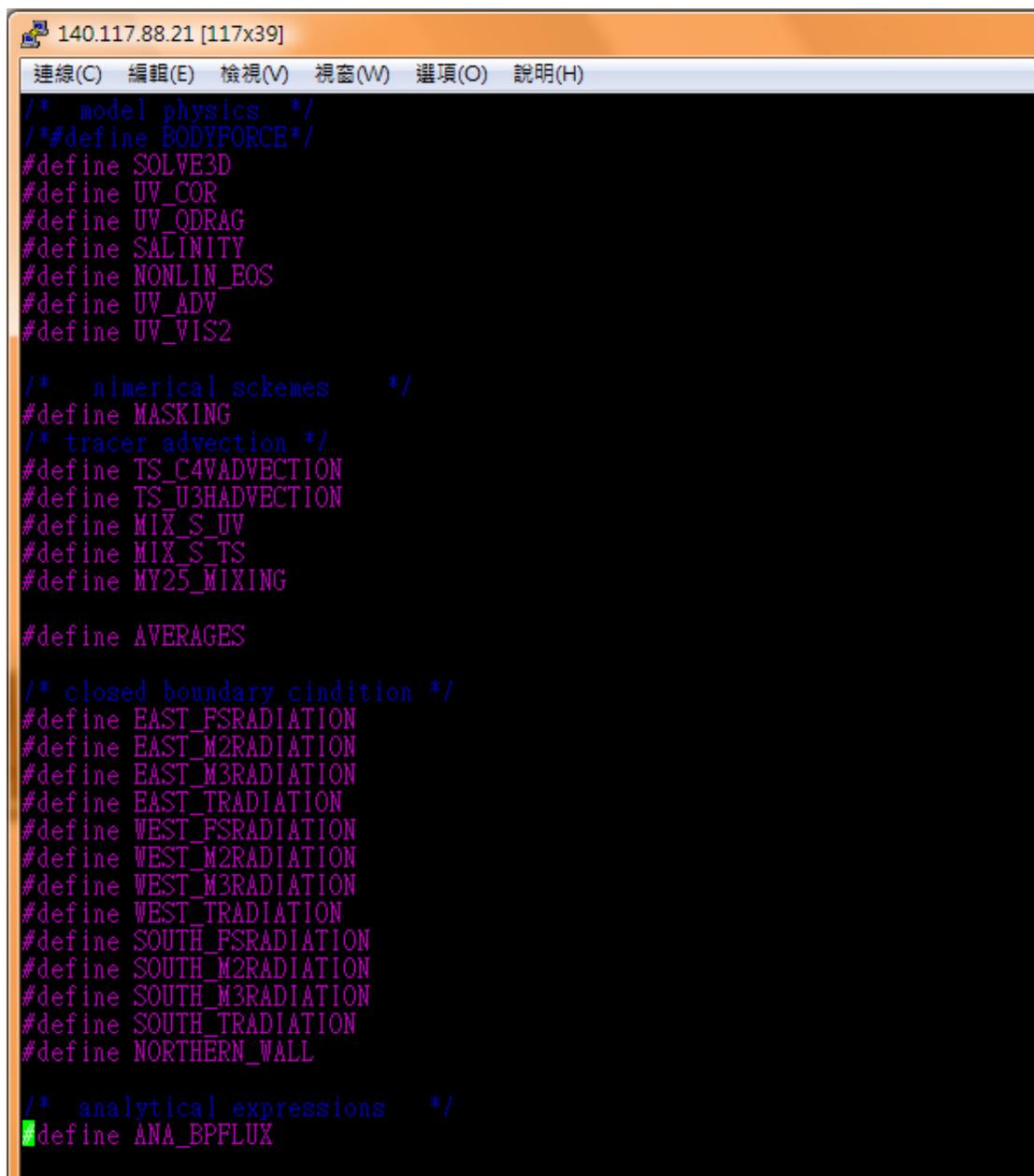
MAIN_ncfiles.m 內得內容依序設定執行，便可得到驅動力、邊界條件及初始條件得輸入檔。主要執行順序如下

1. 設定 grid 檔案的名稱，以讀入前一小節建立的 grid 檔案。
2. 設定驅動力、邊界條件及初始條件輸入檔檔名，西北太平洋環流模式使用 nwpacific-forc.nc、nwpacific-bry.nc 及 nwpacific-init.nc 為檔名，與格點檔命名系統相同。
3. 創建驅動力、變界條件及初始條件輸入檔，目錄下會出現前一步驟設定名稱的 netcdf 檔案。
4. 將 nwpacific-forc.nc 檔案內的變數皆填入常數值。
5. 讀入 NCEP reanalysis 資料，內插至西北太平洋環流模式格點上，填入 nwpacific-forc.nc 變數內。
6. 將 nwpacific-bry.nc 檔案內的變數皆填入常數值。
7. 讀入 HYCOM 資料，內插至西北太平洋環流模式格點上，填入 nwpacific-init.nc 變數內。
8. 將 nwpacific-init.nc 檔案內的變數皆填入常數值。
9. 讀入 HYCOM 資料，內插至西北太平洋環流模式格點上，填入 nwpacific-init.nc 變數內。
10. 完成驅動力(nwpacific-forc.nc)、邊界條件(nwpacific-bry.nc)及初始條件(nwpacific-init.nc)輸入檔建立。
11. 將格點(nwpacific-grid.nc) 、驅動力(nwpacific-forc.nc)、邊界條件(nwpacific-bry.nc)及初始條件(nwpacific-init.nc)檔案複製至西北太平洋環流模式工作目錄(nwpacific)內的 input 資料夾內。

3.4 模組檔設定

輸入檔建置完成後，回到西北太平洋環流工作目錄(nwpacific)下進行模組檔設定，模組檔範例可由 ROMS 原始資料夾 ROMS/Include 下複製，將其檔名改為 nwpacific.h 即可。所需開啟的模組可由指令 #define 進行開啟，不需要開啟的模組則不需要列入或利用 /* 將其註解掉。

編輯使用者所需開啟的模組，ROMS 提供的所有模組可由 ROMS/Include/cppdefs.h 檔案內之內容查詢，圖 3.4-2 為 cppdefs.h 檔案部份內容。



```
140.117.88.21 [117x39]
連線(C) 編輯(E) 檢視(V) 視窗(W) 選項(O) 說明(H)
/* model physics */
/*#define BODYFORCE*/
#define SOLVE3D
#define UV_COR
#define UV_QDRAG
#define SALINITY
#define NONLIN_EOS
#define UV_ADV
#define UV_VIS2

/* numerical schemes */
#define MASKING
/* tracer advection */
#define TS_C4VADVECTION
#define TS_U3HADVECTION
#define MIX_S_UV
#define MIX_S_TS
#define MY25_MIXING

#define AVERAGES

/* closed boundary condition */
#define EAST_FSRADIATION
#define EAST_M2RADIATION
#define EAST_M3RADIATION
#define EAST_TRADIATION
#define WEST_FSRADIATION
#define WEST_M2RADIATION
#define WEST_M3RADIATION
#define WEST_TRADIATION
#define SOUTH_FSRADIATION
#define SOUTH_M2RADIATION
#define SOUTH_M3RADIATION
#define SOUTH_TRADIATION
#define NORTHERN_WALL

/* analytical expressions */
#define ANA_BPFLUX
```

圖 3.4-1 OCM2 模組設定檔


```
140.117.88.21 [117x39]
連線(C)  編輯(E)  檢視(V)  視窗(W)  選項(O)  說明(H)

! C-preprocessing Flag.

MyAppCPP = NWPACIFIC

! Input variable information file name. This file needs to be processed
! first so all information arrays can be initialized properly.

VARNAME = ../../ROMS_src/ROMS/External/varinfo.dat

! Grid dimension parameters. See notes below in the Glossary for how to set
! these parameters correctly.

      Lm = 720          ! Number of I-direction INTERIOR RHO-points
      Mm = 704          ! Number of J-direction INTERIOR RHO-points
      N  = 40           ! Number of vertical levels

Nbed = 0              ! Number of sediment bed layers

      NAT = 2           ! Number of active tracers (usually, 2)
      NPT = 0           ! Number of inactive passive tracers
      MCS = 0           ! Number of cohesive (mud) sediment tracers
      NNS = 0           ! Number of non-cohesive (sand) sediment tracers

! Domain decomposition parameters for serial, distributed-memory or
! shared-memory configurations used to determine tile horizontal range
! indices (Istr,Iend) and (Jstr,Jend), [1:Ngrids].

      NtileI = 8         ! I-direction partition
      NtileJ = 4         ! J-direction partition

! Time-Stepping parameters.

      NTIMES = 133920
      DT = 20.0d0
      NDTFAST = 10

! Model iteration loops parameters.
```

圖 3.5-1 OCM2 參數設定檔

3.6 模式編譯及執行

所需檔案準備完畢後，複製 ROMS 原始資料夾 ROMS/Bin 下的 build.sh 至工作目錄下，準備進程式編譯產生模式執行檔。修改 build.sh 內的參數設定，包括 ROMS 原始程式的所在路徑、是否開啟平行計算、編譯器種類及西北太平洋環流模式原始碼存放位置，完成修改後直接執行 build.sh，便可於工作目錄下產生 oceanM 的執行檔。

執行指令如下(以 mpi 系統為例，使用 32 顆核心進行運算)

```
mpirun -np 32 oceanM nwpacific.in > log
```

模式順利執行完成後，便可於 output 資料夾下看到模式輸出檔，包括時序檔(ocean_his.nc)及重啟動檔(ocean_rst)。

附錄 C 期中報告審查意見回覆

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究(2/4)」

期中報告審查會議

會議記錄

壹、時間：民國 98 年 6 月 29 日(星期一) 下午 2 時 00 分

貳、地點：本局 617 會議室

參、主席：葉委員天降
紀錄：林芳如

肆、出席委員：葉委員天降、鄭委員明典、滕委員春慈、詹委員森、

蔡委員立宏

伍、列席人員：海象測報中心相關人員

陸、執行單位：國立中山大學于嘉順

柒、主席報告：略

捌、執行單位簡報：略

玖、98 年度委託研究計畫期中報告審查委員意見及建議事項：

一、葉委員天降

(一)計畫依原時程順利進行中，報告亦完整，審查通過。

(二)建議能提供其他單位海流預報作業模式之解析度等。

廠商回覆：

(一)感謝委員肯定，本團隊會繼續努力。

(二)謝謝委員建議，此部份本團隊會繼續收集相關資訊。

二、鄭委員明典

太平洋模式已執行一個月運算，進度符合。

廠商回覆：

謝謝委員肯定，本團隊會繼續努力

三、滕委員春慈

(一)依照計畫進度，開始太平洋模式執行。

(二)符合驗收。

廠商回覆：

謝謝委員肯定，本團隊會繼續按照進度執行計畫內容。

四、詹委員森

(一)三維海流預報模式的建置工作，除了需要龐大的人力，也耗費許多時間，主持人極期團隊的努力值得肯定。

(二)期末模式結果的初步校驗，建議可著重在東亞海域，尤其是台灣週邊海域，校驗的項目可以包括全面的 SST 和 SSH，和暴潮斷面流量的比較。

(三)地形資料 ETOPO5 在台灣附近海域的誤差，可達 $\pm 500\text{m}$ ，建議用 ETOPO2 第二版的地形資料。

(四)建議本局提供人力與于教授的團隊共同發展此一預報模式。

廠商回覆：

(一)謝謝委員肯定。

(二)謝謝委員建議，本團隊會於初步校驗進行評估採用。

(三)謝謝委員建議，本團隊會進行評估後採用。

(四)謝謝委員建議，本團隊會與海象中心持續討論，並將整套系統完整移交海象中心相關參與人員。

五、蔡委員立宏

- (一)各模式有不同的分層，分層的依據為何？其他文獻研究分層如何？不同分層的結果、效率、差異性如何？建議予以說明。
- (二)報告中模式執行情序中，建議做不同模式執行情序的說明。
- (三)P3-6 圖中「月平均」及「T(days)=15」的代表意義？
- (四)合併第二層及第三層模式，與分開計算準確度的差異？
- (五)建議模式校驗需附執行結果與比較說明。

廠商回覆：

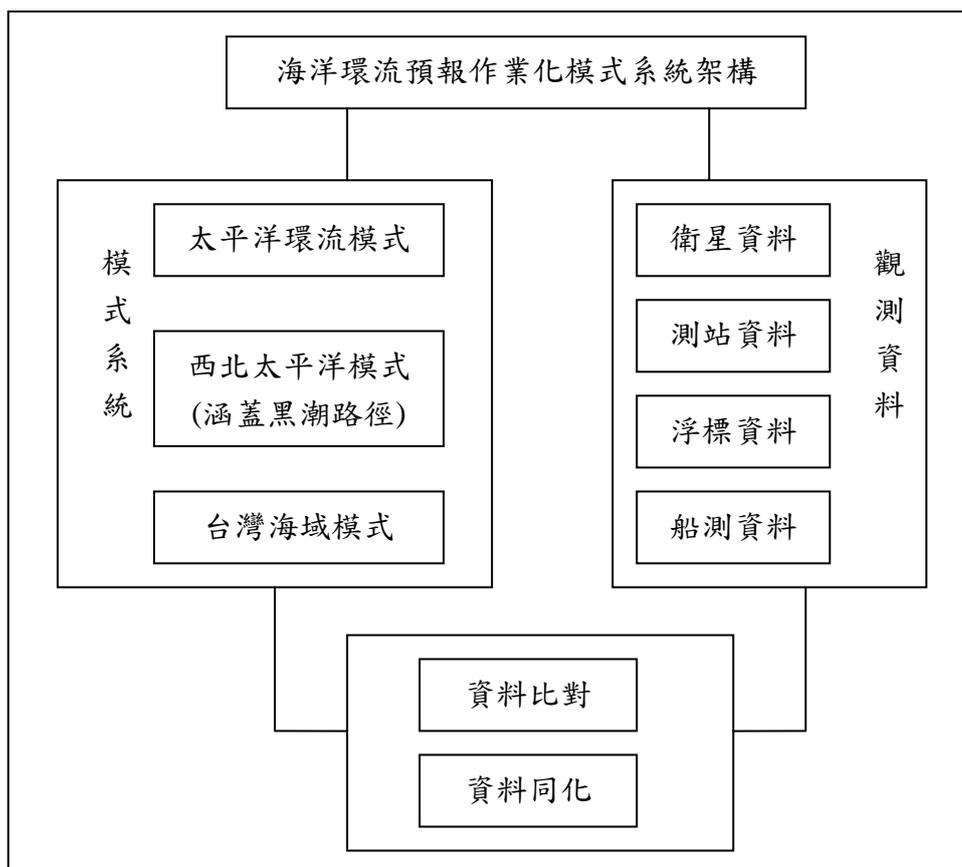
- (一) 謝謝委員建議，由於模式垂直分層會因不同區域及水深而有不同的設定，並未有一個標準，因此本團隊設定之模式分層皆為與有經驗之相關學者討論後，在計算效率與計算精度中取得的平衡點的設定。
- (二) 謝謝委員建議，本團隊會附上執行情序的說明，未來也會編寫操作使用手冊。
- (三) 月平均為每個月的平均值；T(days)=15 為模式計算中此月份平均值時間所在位置。
- (四) 由於未能真正建置分開計算的模式，因此此部份本團隊無法提供比較結果。
- (五) 謝謝委員建議，未來在模式校驗會附上與實際資料比對的結果說明。

拾、審查結果：

- (一)期中審查通過
- (二)所有出席委員同意將第二層北太平洋環流模式及第三層西北太平洋環流模式合併執行。若涉及年底驗收，請海象測報中心予簽准後在函請于教授辦理。

拾壹、散會：下午 3 時 10 分

附錄 D 成果效益報告



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。

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。

參、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) 經費門經費表

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	1,821,388	0	1,821,388 (1,821,388)	46.7(100)	
	2.業務費	1,022,861	0	1,022,861 (1,022,861)	26.3(100)	
	3.差旅費	701,206	0	701,206 (521,250)	18(74.3)	
	4.管理費	354,545	0	354,545 (354,545)	9(100)	
	5.營業稅	0	0	0		
	小計	3,900,000	0	3,900,000	100	
二、資本支出						
	小計	0	0	0	0	
合計	金額	3,900,000	0	3,900,000	100(95.4)	
	占總經費%	100	0	100		

請將預算數及執行數並列，以括弧表示執行數

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：

因國外研究機構(NOAA)無法配合本團隊規劃之預定受訓行程，因此國外差旅費未能動支使用。

(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	原訂	4.08	0.92		3.16	
	實際	4.08	0.92		3.16	
模式建置 及校驗分 析研究 (2/4)	差異	0	0		0	

說明：

研究員級：研究員、教授、主治醫師、簡任技正、若非以上職稱則相當於博士滿三年、或碩士滿六年、或學士滿九年之研究經驗者。

副研究員級：副研究員、副教授、助研究員、助教授、總醫師、薦任技正、若非以上職稱則相當於博士、碩士滿三年、學士滿六年以上之研究經驗者。

助理研究員級：助理研究員、講師、住院醫師、技士、若非以上職稱則相當於碩士、或學士滿三年以上之研究經驗者。

助理：研究助理、助教、實習醫師、若非以上職稱則相當於學士、或專科滿三年以上之研究經驗者。

(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	計畫規劃及督導執行 (11個月)	學歷	比利時魯汶大學土木工程系博士
			經歷	比利時魯汶大學水利工程研究所研究員 國立中山大學海洋環境及工程系助理教授
			專長	海洋工程、環境工程、水利工程、土木工程

與原計畫規劃差異說明：

肆、計畫已獲得之主要成就與量化成果(output)

(請就主要成就依學術成就(科技基礎研究)、技術創新成就(科技整合創新)、經濟效益(經濟產業促進)、社會影響(社會福祉提升、環保安全)、其它效益(政策管理及其它)方面,擇主要之成就填報。)(如學術成就代表性重要論文、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、重大專利及項數、著作權項數等項目,含量化與質化部分,請將本計畫之實際產出重要之績效項目先勾選表一,再依序填寫已勾選之各項績效成果,填寫說明詳如表二,本作業可至政府研究資訊系統《網址: <http://www.grb.gov.tw>》填報績效表格,選取列印後將產出表格貼入)

表一 科技計畫之績效指標(請依計畫性質勾選項目,色塊區為必填)

計畫類別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
學術研究	學術研究	創新 前瞻	技術 發展 (開 發)	系統 發展 (開 發)	政策、 法規、 制度、 規範、 系統之 規劃 (制訂)	研發 環境 建構 (改 善)	人才培 育(訓 練)	研究 計劃 管理	研究 調查	其 他
績效指標										

計畫類別 績效指標	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
	學術研究	創新 前瞻	技術 發展 (開發)	系統 發展 (開發)	政策、 法規、 制度、 規範、 系統之 規劃 (制訂)	研發 環境 建構 (改善)	人才培 育(訓 練)	研究計 劃管理	研究 調查	其他
A 論文	✓									
B 研究團隊養成										
C 博碩士培育	✓									
D 研究報告	✓									
E 辦理學術活動	✓									
F 形成教材			✓							
G 專利										
H 技術報告										
I 技術活動										
J 技術移轉			✓	✓						
S 技術服務										
K 規範/標準制訂										
L 促成廠商或產業團體投資										
M 創新產業或模式建立										
N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力										
O 共通/檢測技術服務										
T 促成與學界或產業團體合作研究										
U 促成智財權資金融通										
V 提高能源利用率										
W 提升公共服務										
X 提高人民或業者收入										

計畫類別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
	學術研究	學術研究	創新 前瞻	技術 發展 (開 發)	系統 發展 (開 發)	政策、 法規、 制度、 規範、 系統之 規劃 (制訂)	研發 環境 建構 (改 善)	人才培 育(訓 練)	研究計 劃管 理	研究 調查
績效指標										
P 創業育成										
Q 資訊服務										
R 增加就業							√			
Y 資料庫										
Z 調查成果										
AA 決策依據										

表二 請依上表勾選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)

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就 (科技基礎研究)	A 論文	1	天氣預報研討會	
	B 研究團隊養成	1 組		
	C 博碩士培育	5 人	博士 x 4 人 碩士 x 1 人	
	D 研究報告	2 份	期中報告 x 1 期末報告 x 1	
	E 辦理學術活動	1 場	於中山大學舉辦 workshop	
	F 形成教材	2 件	太平洋環流模式手冊 x 1 西北太平洋環流模式手冊 x 1	
	其他			
技術創新 (科技整合)	G 專利			
	H 技術報告			

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	I 技術活動			
	J 技術移轉	太平洋環流模式 x 1 西北太平洋環流模式 x 1		產值(形成產業)
	S 技術服務			
	其他			
經濟效益 (產業經濟發展)	L 促成廠商或產業團體投資	研發投資(件數、金額); 生產投資(件數、金額); 新創事業(家數、金額)	產品上市(項數、產量、金額)、量產(產量、產值)、智財權授權(件數金額)	
	M 創新產業或模式建立	成立營運總部(家數); 衍生公司家數、或參與產業團體數; 創新模式衍生產品(品項數、產量、產值); 建立產業發展之環境或體系、營運模式件數	增加台灣產業運籌電子化擴散面積; 衍生公司(生產投資金額、研發投資金額、產值); 衍生產品(品項數、產量、產值); 環境改善或體系建立; 提高產品競爭力,促進產業發展	
	N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力	建立國際品牌排名、相關產業產品世界排名	相關產業(品)產值國際排名前三名	
	O 共通/檢測技術服務	輔導廠商或產業團體(品質保證、技術標準認證、實驗室獲得認證數、申請與執行主導性新產品及關鍵性零組件等件數、家數、配合款); 技術操作教育訓練(次數、人次) 作業準則之技術服務、輔導、講習(次數、人數); 提供國家級校正服務(件數)	個人獲得相關專業證照(人次)、 衍生之國家/國際證照(項數)、 提升專業能力、產業競爭力 國內二級校正衍生數	

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	T 促成與學界或產業團體合作研究	合作研究件數、研究金額	產品上市(項數、產量、金額)、降低成本金額(件數、金額)、提升產品附加價值(件數、金額)	
	U 促成智財權資金融通	輔導診斷、案源媒合(家數)	協助中小企業取得融資及保證(家數、金額)	
	其他			
民生社會發展	P 創業育成	家數	廠商研發投資、生產投資	
	Q 資訊服務	設立網站、提供客服	訪客人數、人次	
	R 增加就業	人數	降低失業率,提昇國民生產毛額	
	W 提升公共服務	旅行時間節省(換算為貨幣價值)	運輸耗能節省金額;減少二氧化碳排放量	
	X 提高人民或業者收入	受益人數、金額	受益人數、增加收入(金額)	
	其他			
社會影響	環境安全永續			
	O 共通/檢測技術服務	輔導廠商或產業團體(品質保證、技術標準認證、實驗室獲得認證數、申請與執行主導性新產品及關鍵性零組件等件數、家數、配合款);技術操作教育訓練(次數、人次)作業準則之技術服務、輔導、講習(次數、人數);提供國家級校正服務(件數)	個人獲得相關專業證照(人次)、衍生之國家/國際證照(項數)、提升專業能力、產業競爭力國內二級校正衍生數	
	V 提高能源利用率	技術應用或產品開發之能源效率提升百分比	技術或產品上市銷售帶動節約能源量;減少二氧化碳排放量	
	Z 調查成果	調查結果圖幅數、面積、調查點筆數、資料量、影像資料量	1. 調查面積與精密度 2. 即時映像環境可輔助決之準確度	
	其他			

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
其他效益 (科技政策管理及其它)	K 規範/標準制訂	參與制訂政府或產業技術規範/標準(件數)、共同發表政府或產業技術規範/標準(件數)、參與政策或法規草案之訂定(件數)	採用標準之廠商家數、產品種類等;制定或建立政府或產業技術、標準;訂定或完成政策或法規標準之規定	國人使用相關產品數量估計;撰寫之規範/標準被採納為國際標準
	Y 資料庫	新建資料庫(資料庫數目、資料筆數、資料量);新建資料庫關聯數量、使用人數與好評數	1. 資料庫整合服務加速(分鐘)2. 資料庫之資料量與查詢介面方便度	
	XY 性別平等促進	性別或弱勢族群的受益情形	性別或弱勢族群的受益比例	
	AA 決策依據	新建或整合流程、重大統計訊息與政策建議、決策支援系統及其反應加速時間、節省經費	1. 流程整合之效益數目 2. 重大統計訊息 3. 節省公帑數目	
	其他			

伍、評估主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

(請以學術成就(科技基礎研究)、技術創新成就(科技整合創新)、經濟效益(經濟產業促進)、社會影響(社會福祉提昇、環保安全)、其它效益(政策管理及其它)等項目詳述)

一、學術成就(科技基礎研究)(權重_50_%)

1. 收集國外單位之相關資料，包括氣象及海洋資訊，可供未來相關研究使用。
2. 建置太平洋環流模式，提供太平洋範圍海流、溫度、鹽度及水位等相關資訊，可供未來相關研究使用。
3. 建置西北太平洋環流模式，提供西北太平洋範圍海流、溫度、鹽度及水位等相關資訊，可供未來相關研究使用。

二、技術創新(科技整合創新)(權重_50_%)

1. 建立氣象資料對海洋模式計算的接合介面。
2. 建立大、中、小尺度模式接合介面。
3. 未來可進行大、中、小尺度海流預報作業。

三、 經濟效益(產業經濟發展)(權重_0__%)

四、 社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重_0__%)

五、 其它效益(科技政策管理及其它)(權重_0__%)

陸、與相關計畫之配合

柒、後續工作構想之重點

目前已完成兩年度的計畫，未來兩年之工作項目重點如下：

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 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。

捌、檢討與展望

填表人：于嘉順 聯絡電話：07-5252000#5173 傳真電話：07-5255173

E-mail：jasonyu.nsysu@gmail.com

主管簽名：_____

附錄 E 工作會議記錄

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究」計畫案 【 98 年 3 月工作會議 】

時 間：98 年 3 月 2 日(星期一) 14:00

地 點：本局 616B 室

主 席：滕春慈主任

出席人員：海象中心—林燕璋副主任、朱啟豪課長、林芳如
科技中心—鄭明典主任、胡志文研究員
中山大學—于嘉順老師、江朕榮

紀 錄：陳琬婷

壹、討論事項：

1. 計畫內容簡報(略)。
2. 日本氣象研究所海洋研究部(MRI)學者 Dr. Masafumi KAMACHI 將於 4 月下旬受邀來台，可針對模式資料同化技術做交流指導。
3. 目前國內學者對海流模式多著重為特殊海洋現象解析或特定區域之研究，其成果多無法應用於大範圍作業化預報分析。
4. 科技中心的全球海氣象耦合模式目前仍在發展中，預計 5 年後才有成果釋出，無法配合此計劃期程。但在研發過程中可多所交流，共謀其利。研究團隊可先就其目前結果之表層海流與 GDP 漂移浮標資料做比對，提供科技中心對該模式海流計算結果之評估參考，未來，本計劃亦可據之作為起始及邊界條件。
5. 本年度規劃完成之 2 個大範圍模式作業化運作估計需要使用 64 顆以上之 CPU，應可滿足模式及作業化之需求，但實際 CPU 使用數量及效能狀況仍須於 CWB HPC 運作測試後方可確認。
6. 預計太平洋環流範圍之海流模式於今年 5 月完成建置並開始進行初步校驗過程，且於 9 月安裝於局內 HPC 開始進行測試。
7. 科技中心可提供其海洋模式(MOM2)之海流結果，請研究團隊協助分析比對。
8. 本計劃模式成果將包含作業化預報功能，科技中心建議模式使用 NCEP – CFS (coupling forecast system) data，其包含較完整的大氣及海洋預報資料，可提供海流模式輸入場資料；另一建議可參考使用的是 NCEP – GODAS data，其海洋資料較完整較方便比對。
9. 請研究團隊於模式安裝於局內後，舉行中心同仁的教育訓練。

貳、散會

本會議於 15：40 結束。

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究」計畫案 【 98 年 5 月工作會議 】

時 間：98 年 5 月 26 日(星期二) 14:00

地 點：本局 616B 室

主 席：滕春慈主任

出席人員：海象中心—朱啟豪課長

中山大學—于嘉順老師、江朕榮

紀 錄：陳琬婷

壹、討論事項：

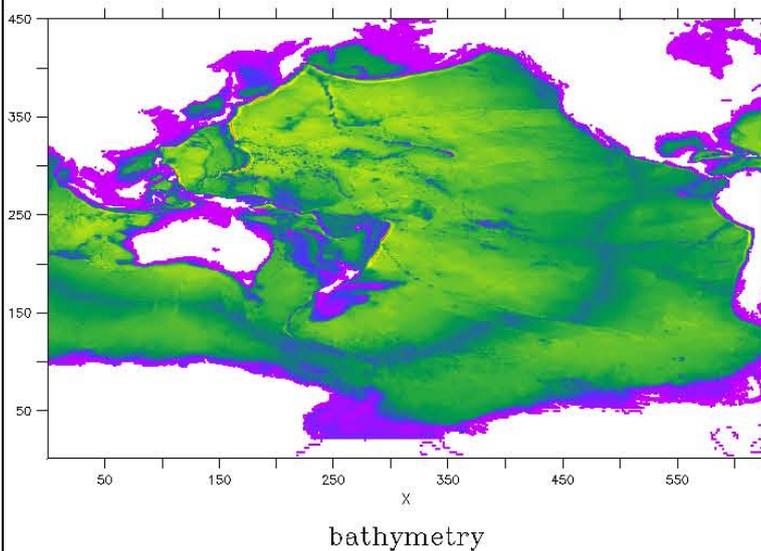
10. 工作進度簡報(如附件-工作進度簡報)。
11. 已邀請日本氣象研究所海洋研究部(MRI)學者 Dr. Masafumi 來台一週，討論合作事宜，並於 4/22 辦理資料同化技術課程。已與 Dr. Masafumi 達成合作共識，將提供資料作為本計劃模式建置發展使用。
12. 本計畫期中審查會議擬訂於 6 月底召開。
13. 太平洋模式已於 5/21 在本局 HPC 電腦進行初步效能測試，測試結果說明於附件。
14. 依照效能測試結果，以及往後模式作業化後之設備需求，需再與資訊中心協商增加 HPC 電腦之使用資源。
15. 9 月工作會議，邀請資訊中心人員與會，協調 HPC 使用狀況。
16. 考量模式所需設備及作業時間，擬於期中審查會議提出合併北太平洋模式及西北太平洋模式，以減少資源需求量，及更符合作業化之時效性。
17. 關於安管外 HPC 帳號及遠端連線申請，已向資訊中心提出相關文件申請中，申請程序完成後研究團隊可由中山大學遠端進行模式測試作業。
18. 請研究團隊協助回覆關於本計畫之審查意見，並請研究團隊留意計畫執行期間之績效成果，以及 KPI 之績效項目，以利每年度之績效量化。

貳、散會

本會議於 15：30 結束。

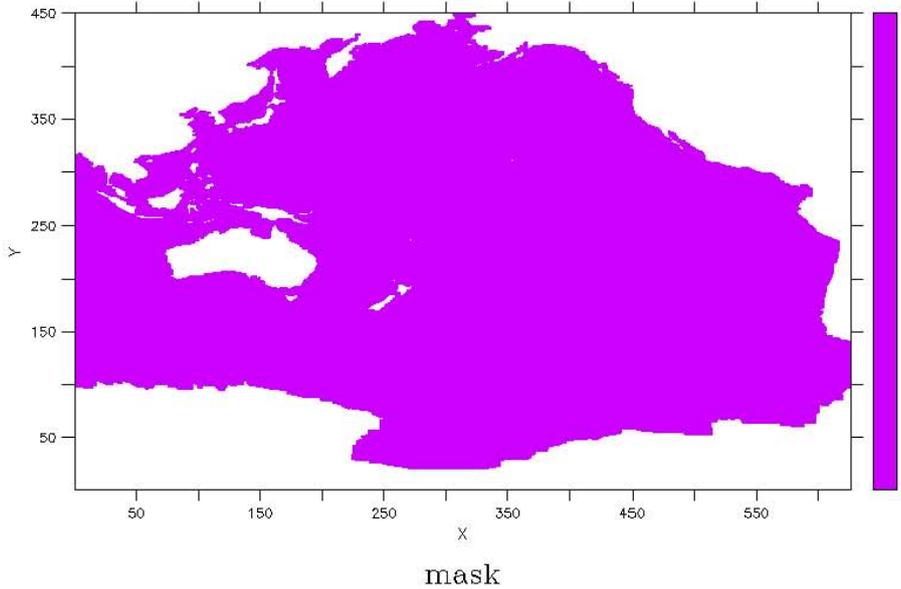
2009年5月份工作會議

太平洋環流模式-地形及網格



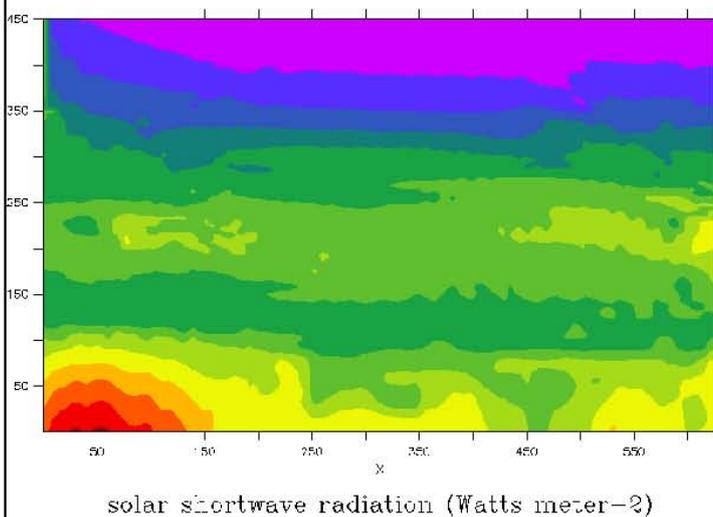
- $90^{\circ}\text{E}\sim 293^{\circ}\text{E}$,
 $80^{\circ}\text{S}\sim 67^{\circ}\text{N}$
- 取自 etopo5
- 解析度 1/20
- 網格數
 $626\times 450\times 40$
- 最小深度 40 公尺
- 時間步長 10 秒

乾濕點配置



- 美洲五大湖及墨西哥灣部份設為乾點
- 內陸湖泊接設為乾點

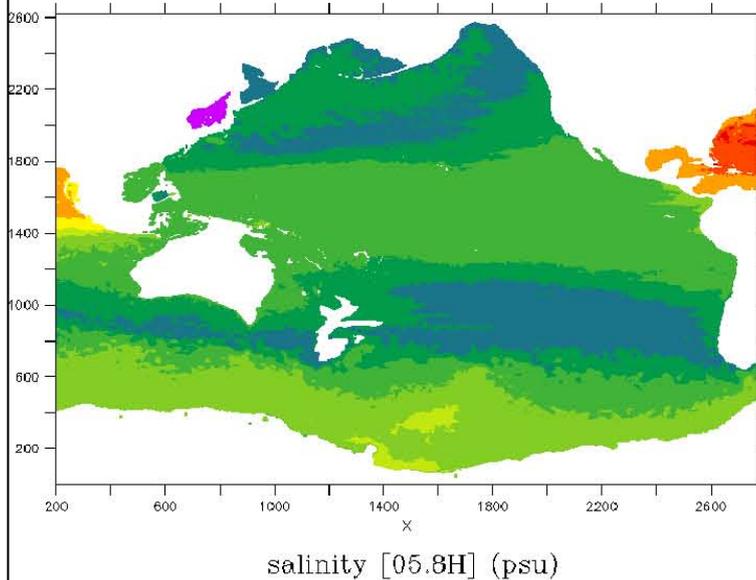
驅動力



- 使用 NCEP
 - 海表面風剪力
 - 海表面淨熱通量
 - 海表面淡水通量
 - 短波輻射
- 海表面溫度及鹽度目前為假設值，未來預計使用CFS的預報結果
- 目前使用2003年月平均資料

初始條件、邊界條件

DEPTH (m) : 1100
TIME : 02-JAN-2003 00:00



- 目前使用量測資料內差值，解析度較差
- 未來會取得
NRL(HyCOM)
JMI(MOVE)
將可減少大量初始啟動時間
- 初始、邊界條件
 - 海表面高度
 - 溫度
 - 鹽度
 - 流速

計算效率及輸出

- HPC計算效率(模式一日)
 - 256顆—21分30秒
 - 64顆—74分30秒
- 空間使用(一個輸出)
 - ~350MB
 - 2維水位、流速
 - 3維鹽度、溫度、流速

討論事項

- 邀請日本 Dr. Masafumi (JMI) 來台一週，討論合作事宜，並於22/4辦理資料同化技術課程
- 未來發展及預報之CPU可使用數量
- 未來發展及預報磁碟空間
- 訂定校驗年份
- 期中報告時間

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究」計畫案 【 98 年 9 月工作會議 】

時 間：98 年 9 月 21 日(星期一) 14:00

地 點：本局 616B 室

主 席：滕春慈主任

出席人員：海象中心—黃華興技正、朱啟豪課長、林芳如技士
中山大學—于嘉順老師、江朕榮

紀 錄：陳琬婷

壹、討論事項：

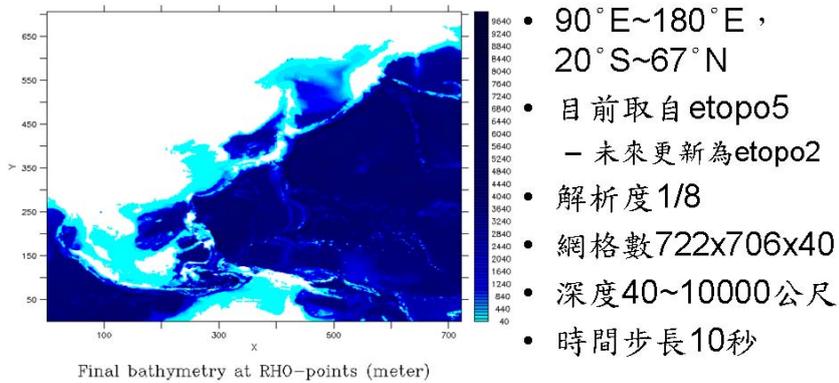
19. 工作進度簡報(如附件-工作進度簡報)。
20. 已與日本氣象研究所海洋研究部(MRI)室長 Dr. Masafumi 聯繫，未來將視模式發展需求，採用 JMA data 作為初始條件供本計劃模式使用。
21. 太平洋模式(OCM1)已於 9 月安裝於本局 HPC。
22. 未來本計劃模式測試及作業化階段，產出檔案以磁帶方式儲存，研究團隊於本年度期末提供之模式操作手冊中，應包含磁帶儲存相關程式及說明。
23. 因應未來作業化需求，請資訊中心李長華先生協助，安裝模式作業化所使用之繪圖軟體於 HPC。

貳、散會

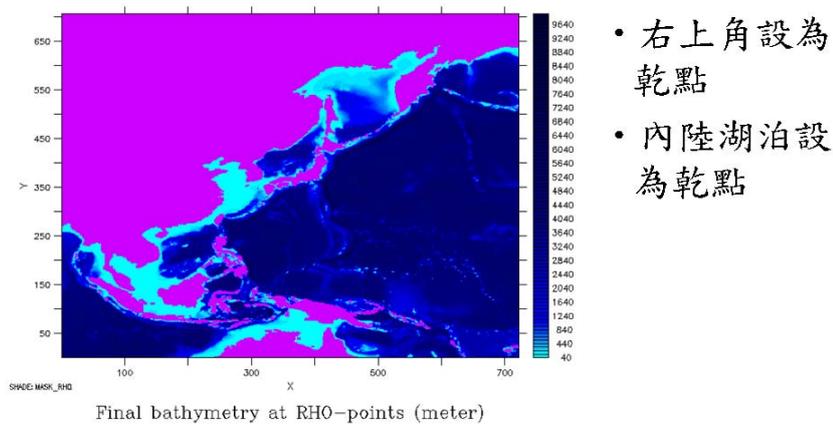
本會議於 15：30 結束。

2009年9月份工作會議

西北太平洋環流模式-地形及網格

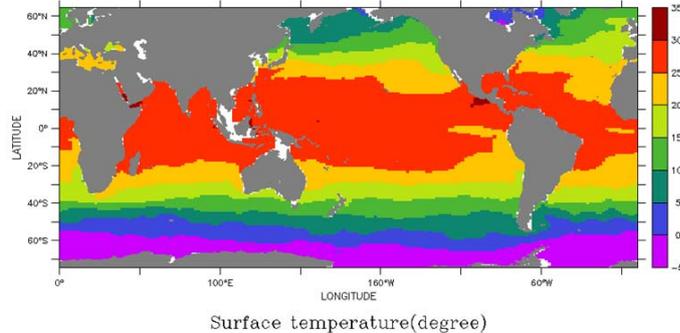


乾濕點配置

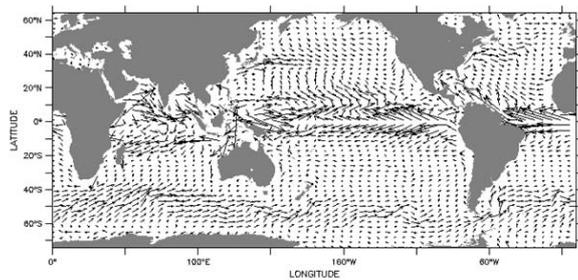


驅動力

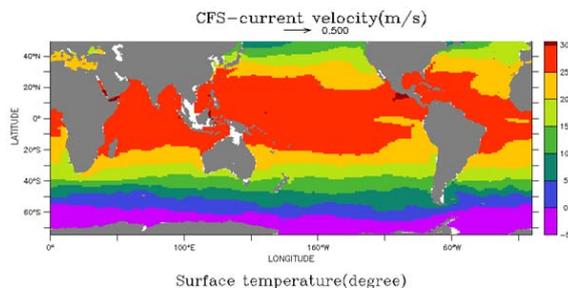
- 使用的驅動力(CFS內插)
 - 海表面風剪力
 - 海表面淨熱通量
 - 海表面淡水通量
 - 短波輻射
- 海表面溫度及鹽度，使用CFS的預報結果



初始條件、邊界條件



- 輸入條件
 - 海表面高度
 - 溫度
 - 鹽度
 - 流速
- 初始條件可使用
 - HyCOM
 - MOVE(JMA)
 - GODAS
- 邊界條件
 - CFS



計算效率及輸出評估

- HPC計算效率(128顆)
 - OCM1-現報一年+預報三個月
 - 推估運算約兩星期
 - 每月執行一次
 - OCM2-現報三個月+預報一個月(現報一個月?)
 - 推估運算約2星期 (約8天)
 - 每兩週執行一次
- 空間使用
 - OCM1-205GB
 - OCM2-400GB

討論事項及後續工作

- 預報CPU使用數量預計2012年後為256顆
 - 以目前評估使用512顆能容許重新啟動時間
 - 預報上線時程調整??
- 10月安裝OCM2至HPC主機
- OCM1持續測試及修正
- 資料持續解碼
 - CFS
 - MOVE(JMA)
- 編輯使用手冊

「三維海流預報作業模式建置及校驗分析研究」計畫案 【 98 年 11 月工作會議 】

時 間：98 年 11 月 23 日(星期一) 14:20

地 點：本局 616B 室

主 席：滕春慈主任

出席人員：海象中心—林燕璋副主任、黃華興技正、朱啟豪課長、
林芳如技士

中山大學—于嘉順老師、江朕榮

紀 錄：陳琬婷研究助理

壹、工作進度簡報：

略(如附件)。

貳、討論事項：

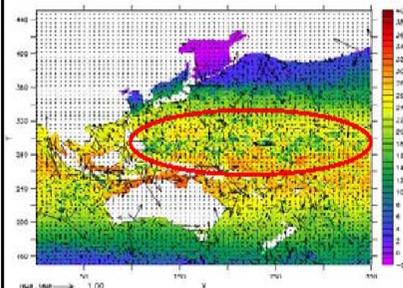
24. 目前仍持續進行模式的參數調整，明年度可視參數調整狀況，開始訓練海象中心人員。
25. 目前 3 層模式架構，執行所需之硬碟容量超過本局限制，請研究團隊另提出可行方案。
26. 本年度工作包含出國研習一項，已確定無法達成，請林芳如處理後續結案必須手續。
27. 係因 HYCOM 即為全球模式，海象中心不需自行建置，故本計劃最大範圍設定為太平洋模式。
28. 目前規劃期末報告以夏、冬季月份(1 月、7 月等)之黑潮剖面與巴士海峽剖面模式結果進行展示，並規劃明年度使用 drifter 觀測資料、HYCOM 等資料進行校驗。
29. 請於第 4 年(100 年)計畫工作項目內，包含緊急狀況應變措施，以及每日檢核作業化程式是否完成之機制或介面。
30. 往後 data upload & download 磁帶的程式，屆時請研究團隊配合撰寫。
31. 請於明年度服務建議書中詳細說明模式建置及校驗的期程。
32. 期末報告內容請包含模式說明(ROMS 的理論說明，INITIAL 檔案說明、地形資料說明等)、建置流程、執行流程說明，以及操作手冊等。

參、散會

本會議於 16：40 結束。

2009年11月工作會議

太平洋環流模式

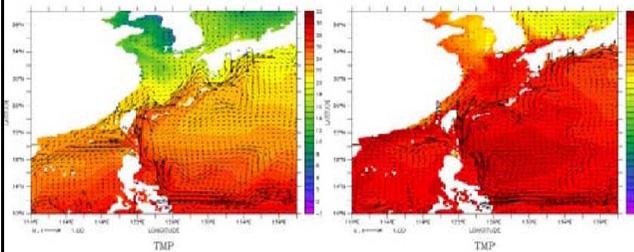


水溫流速分佈

- 紅圈處水深變化過大，導致模式不穩定
 - 第一層sigma座標厚度差異過大
 - hycom資料為固定水深
- 缺乏水深平均流速
- 預計採用Nudging方式克服
 - 模式第一層使用hycom表層取代

西北太平洋環流模式

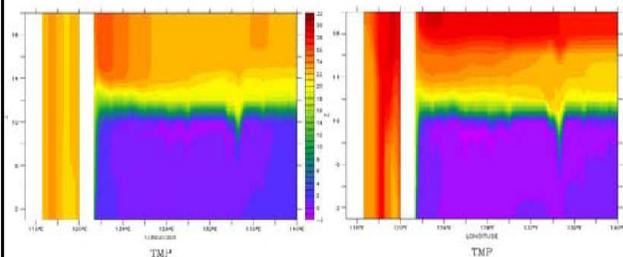
表層平均水溫及流速分佈



一月

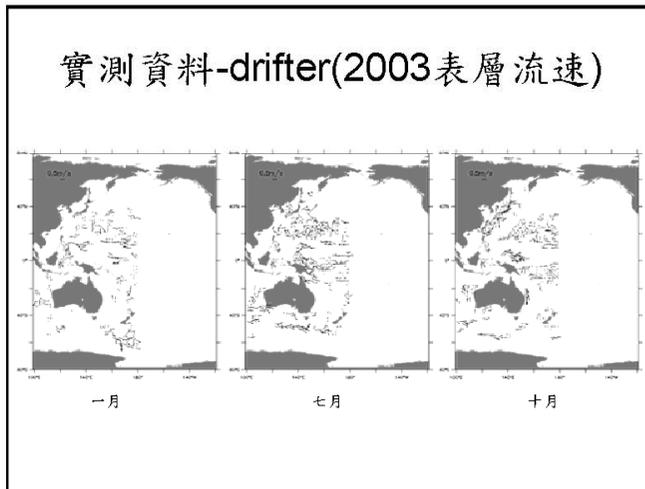
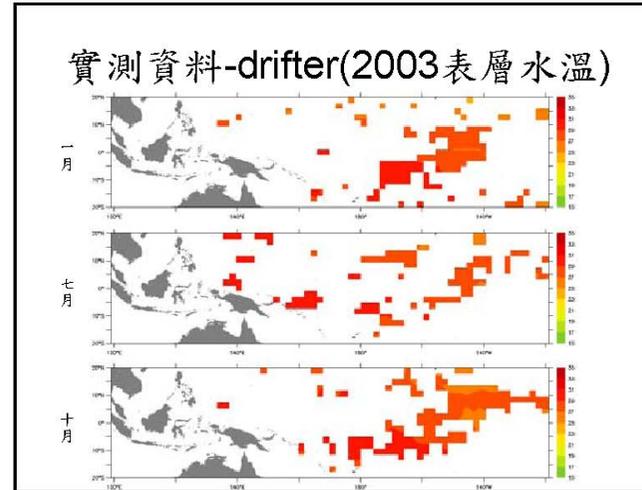
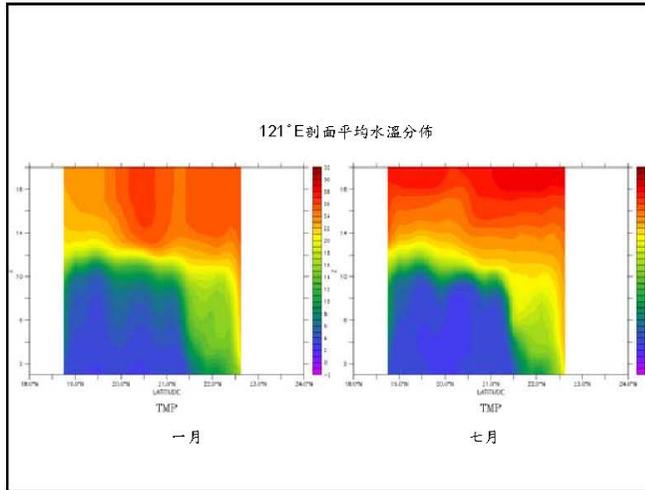
七月

23°N剖面平均水溫分佈



一月

七月



討論問題

- 請仔細說明output容量，往後作業化時之output規劃？從磁帶load data 出來費時較久，請考量進作業化程序中。
- HPC當機之應變措施。
- 本期期末之績效呈現。
- 未能出國進修之後續處理。緊急!!!
- 為何最大範圍是太平洋而非global？
- 目前模式已經安裝並可執行，請問目前的邊界條件可供CWB自行run多久(合理使用)？
- 往後data upload & download磁帶的程式，請屆時配合撰寫。