



交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

多尺度海流模式之建立 (一)

計畫類別：國內 國外

計畫編號：MOTC-CWB-93-2M-05

執行期間：93年2月1日至93年12月31日

計畫主持人：吳朝榮

執行單位：國立臺灣師範大學

交通部中央氣象局九十三年度政府部門科技計畫期末摘要報告

計畫名稱：多尺度海流模式之建立（一）

審議編號： PG9303-0304 部會署原計畫編號： MOTC-CWB-93-2M-05
主管機關： 交通部中央氣象局 執行單位： 國立臺灣師範大學
計畫主持人： 吳朝榮 聯絡人： 吳朝榮
電話號碼： (02)2934-7120 #16 傳真號碼： (02)2933-3315
期程： 93年2月1日至93年12月31日
經費：(全程) 元 經費(年度) 735仟元

執行情形：

1. 執行進度：

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

2. 經費支用：

	預定	實際	支用率 (%)
當年	735000	735000	100
全程			

3. 主要執行成果：

利用先前蒐集的資料（海底地形、海水溫度、海水鹽度與海流流速等）進行模式設計的工作，建立一個臺灣附近海域之海流數值模式，並進行模式結果驗證與分析。

4. 計畫變更說明：

計畫內容未變更

5. 落後原因：

無

6. 主管機關之因應對策（檢討與建議）：

無

目錄

第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目的.....	1
1.3 計畫內容.....	2
1.4 預期成果.....	2
第二章 模式之建立.....	3
2.1 數值模式介紹.....	3
2.1.1 數值模式之理論基礎.....	3
2.2 臺灣附近海域之海流數值模式的設定.....	10
第三章 模式之驗證與結果.....	14
3.1 模式之流況驗證與結果.....	14
3.2 模式之水文驗證與結果.....	15
第四章 模式之分析與結果.....	16
4.1 臺灣東側之體積傳輸量.....	16
4.2 臺灣西側之體積傳輸量.....	16
4.3 結論.....	17
參考文獻.....	18

圖目錄

圖 2-1 模式之範圍與海底地形.....	19
圖 3-1 (a) 觀測之地形與全年 30m 的流況.....	20
圖 3-1 (b) 觀測之地形與春季 30m 的流況.....	21
圖 3-1 (c) 觀測之地形與夏季 30m 的流況.....	22
圖 3-1 (d) 觀測之地形與秋季 30m 的流況.....	23
圖 3-1 (e) 觀測之地形與冬季 30m 的流況.....	24
圖 3-2 (a) 模式之全年海面高度與 30m 的流況.....	25
圖 3-2 (b) 模式之春季海面高度與 30m 的流況.....	26
圖 3-2 (c) 模式之夏季海面高度與 30m 的流況.....	27
圖 3-2 (d) 模式之秋季海面高度與 30m 的流況.....	28
圖 3-2 (e) 模式之冬季海面高度與 30m 的流況.....	29
圖 3-3 (a) 觀測之春季 30m 的溫度.....	30
圖 3-3 (b) 觀測之夏季 30m 的溫度.....	31
圖 3-3 (c) 觀測之秋季 30m 的溫度.....	32
圖 3-3 (d) 觀測之冬季 30m 的溫度.....	33
圖 3-4 (a) 模式之春季 30m 的溫度.....	34
圖 3-4 (b) 模式之夏季 30m 的溫度.....	35

圖 3-4 (c)	模式之秋季 30m 的溫度.....	36
圖 3-4 (d)	模式之冬季 30m 的溫度.....	37
圖 3-5 (a)	觀測之春季 30m 的鹽度.....	38
圖 3-5 (b)	觀測之夏季 30m 的鹽度.....	39
圖 3-5 (c)	觀測之秋季 30m 的鹽度.....	40
圖 3-5 (d)	觀測之冬季 30m 的鹽度.....	41
圖 3-6 (a)	模式之春季 30m 的鹽度.....	42
圖 3-6 (b)	模式之夏季 30m 的鹽度.....	43
圖 3-6 (c)	模式之秋季 30m 的鹽度.....	44
圖 3-6 (d)	模式之冬季 30m 的鹽度.....	45
圖 4-1	東臺灣通道傳輸量之時間序列.....	46
圖 4-2	臺灣海峽傳輸量之時間序列.....	47

第一章 前言

1.1 計畫緣起

中央氣象局從事潮汐與潮流數值模式的建立已逾十年，其中潮汐模式經過不斷地改進與驗證後已經可以提供正確的水位預報作業，對於潮流模式整體表現也有顯著的進步。

另一方面，近日來由於各界對海流資料需求日益增加，臺灣附近海域海流模式之建立刻不容緩。然而在海流方面的模擬相當不易，尤其近岸流場之模擬更是困難重重，因為受沿岸地形與海域水深的影響使得近岸流場變得十分複雜，國際上對於近岸海流的研究也常發現有相當的限制與誤差，而產生這些誤差最主要的原因之一，即為缺乏正確流量的開口邊界條件 (open boundary conditions)，現階段常用的開口邊界條件不論時間或空間的解析度都不夠，這不但會使模式輸出結果在邊界區域產生誤差，也將錯估內部環流的平均流 (mean flow) 等。

1.2 計畫目的

建立一套作業化的臺灣附近海域之海流數值模式，模式範圍為 $19^{\circ}\text{N} \sim 29^{\circ}\text{N}$ 及 $110^{\circ}\text{E} \sim 129^{\circ}\text{E}$ ，和中央氣象局現有的大範圍潮流模式相當，如此往後兩模式可以相互比較分析或結合。然而如前所述，正確的海流數值模式，我們需要提供其較佳的開口邊界條件才能夠得到好的模式結果，

現階段符合國際標準的開口邊界條件是要由外圍大尺度模式提供，亦即須要先建構一個大範圍數值模式，然後由這個大範圍模式提供開口邊界條件給較小尺度的海流模式使用，這當然就需要使用更多的精力與電腦資源去建構這一大範圍的模式，但這絕對是必要的，為了要算得精確的結果，建構大範圍模式勢在必行。

1.3 計畫內容

第一階段（第一年）計畫建立一個涵蓋 $19^{\circ}\text{N} \sim 29^{\circ}\text{N}$ 及 $110^{\circ}\text{E} \sim 129^{\circ}\text{E}$ 的臺灣附近海域之海流數值模式（和中央氣象局現有的大範圍潮流模式相當），並在建構完成後和現有的觀測資料（如溫度、鹽度、流速等）比較，以確定模式之準確性。

1.4 預期成果

(1) 建立並測試驗證完成一個涵蓋 $19^{\circ}\text{N} \sim 29^{\circ}\text{N}$ 及 $110^{\circ}\text{E} \sim 129^{\circ}\text{E}$ 的臺灣附近海域之海流數值模式。

(2) 利用較大區域之數值模式單向巢狀符合之方式提供 $19^{\circ}\text{N} \sim 29^{\circ}\text{N}$ 及 $110^{\circ}\text{E} \sim 129^{\circ}\text{E}$ 的臺灣附近海域之海流數值模式所需之開口邊界條件。

(3) 對臺灣附近海域之海流數值模式的結果進行驗證與討論。

第二章 模式之建立

2.1 數值模式介紹

本計畫中所建立的臺灣附近海域之海流數值模式是採用美國普林斯頓大學所發展的三維動力海洋模式系統 (Princeton Ocean Model, POM)。POM 從 1970 年代開始發展以來，歷經多位學者專家共同合作研發改進後，現階段它已經成為全世界最多國家 (70 國) 最多海洋數值模式學者 (超過 2100 人) 使用的三維動力海洋模式。POM 使用完整的三維原始方程式 (Primitive equation)，因為模式需要同時解包括四度空間 (距離與時間) 的動量、溫度、鹽度、狀態以及連續方程式，所以需要複雜的設計與計算並使用大量的電腦 CPU 時間，不過相對而言，這樣的模式可以模擬更接近真實的海洋現象。尤其是近岸海域因為受沿岸地形與水深的影响使其流場十分複雜，傳統國內所使用的二維模式對近岸海流的研究有相當的限制與誤差，無法模擬出真實的海洋狀況，這也是本計畫採用 POM 的主要原因。

2.1.1 數值模式之理論基礎

1. 控制方程式 (governing equations)

由於 POM 在垂直方向之採用 σ 座標，非傳統之 z 座標，因此下列之方程式，均為 σ 座標轉換後之形式。

狀態方程式 (equation of state) :

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

靜力平衡方程式 (hydrostatic equation)

$$\rho g D = -\frac{\partial p}{\partial \sigma}$$

連續方程式 (continuity equation) :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0$$

動量方程式 (momentum equation) :

x 方向之動量方程式 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UV D}{\partial y} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] - \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' + F_x \end{aligned}$$

y 方向之動量方程式 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UV D}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] - \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' + F_y \end{aligned}$$

溫度守恆方程式 (conservation equation for temperature) :

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial z}$$

鹽度守恆方程式 (conservation equation for temperature) :

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S$$

紊流動能 (turbulence kinetic energy) 方程式 :

$$\frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 D}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right] + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{B_1 l} + F_q$$

紊流尺度 (turbulence length scale) 方程式：

$$\frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 l D}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 l D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2 l}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right] + E_1 l \left[\frac{K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + E_3 \frac{g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \right] \tilde{W} - \frac{Dq^3}{B_1} + F_l$$

其中，

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad : \text{垂直座標軸，} -1 < \sigma < 0 ;$$

H 為海底地形深度 (向下為正)；

η 為海面高度 (向上為正)；

z 為水深 (向上為正)；

(當 $z = \eta$ 時， $\sigma = 0$ ；當 $z = -H$ 時， $\sigma = -1$)

ρ : 位密度 (potential density)

T : 位溫 (potential temperature)

S : 鹽度

p : 壓力

R : 短波輻射通量 (short wave radiation flux)

g : 重力加速度

D : 總水深 ($H + \eta$)

- U, V : 水平方向之速度
- ω : 垂直 σ 座標面之垂直速度
- f : 科氏力參數
- ρ_0 : 參考密度 (reference density)
- ρ' : $\rho - \rho_{mean}$

ρ_{mean} 是在 z 座標下之面平均密度，即只隨 z 改變；

(此 ρ' 之作用在於減少壓力梯度誤差)

- $\frac{q^2}{2}$: 紊流動能
- l : 紊流尺度
- K_M : 垂直的動黏滯係數
(vertical kinematic viscosity)
- K_H : 垂直的擴散係數
(vertical diffusivity)
- K_q : 垂直的紊流擴散係數
(vertical turbulence diffusivity)
- F_x, F_y : 水平之黏滯項
(horizontal viscosity term)
- F_T, F_S, F_q, F_l : 水平之擴散項
(horizontal diffusion term)

\tilde{W} : wall proximity function

B_1, E_1, E_3 : 經驗常數

II. 垂直的黏滯及擴散係數： K_M 、 K_H 、 K_q

$$K_M \equiv lqS_M$$

$$K_H \equiv lqS_H$$

$$K_q \equiv lqS_q$$

上式中， S_M 與 S_H 為穩定度函數且決定於 Richardson number：

$$S_H [1 - (3A_2B_2 + 18A_1A_2)G_H] = A_2 \left[1 - \frac{6A_1}{B_1} \right]$$

$$S_M [1 - 9A_1A_2G_H] - S_H [(18A_1^2 + 9A_1A_2)G_H] = A_1 \left[1 - 3C_1 - \frac{6A_1}{B_1} \right]$$

其中，

$(A_1, B_1, A_2, B_2, C_1) = (0.92, 16.6, 0.74, 10.1, 0.08)$ 為經驗常數，

$$G_H = \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial z} = -\frac{l^2 N^2}{q^2} \text{ 為 Richardson number,}$$

N^2 為浮力頻率，

$$\frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial z} = \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial p}{\partial z},$$

$\frac{\partial \rho}{\partial z}$ 為垂直之密度梯度， c_s 為聲速，

$\frac{1}{c_s^2} \frac{\partial p}{\partial z}$ 為絕熱消散率 (adiabatic lapse rate)

III. 水平之黏滯和擴散項： F_x 、 F_y 、 F_T 、 F_S 、 F_q 、 F_l

水平之黏滯項：

$$F_x \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left[H \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[H \left(A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right) \right]$$

$$F_y \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left[H \left(A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[H \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right]$$

其中， A_M 為水平的動黏滯係數 (horizontal kinematic viscosity)

水平之擴散項：

$$F_\phi \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left[H \left(A_H \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[H \left(A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right],$$

其中， ϕ 代表 T 、 S 、 q^2 及 q^{2l} ， A_H 為水平的熱擴散係數 (horizontal heat diffusivity)

IV. 時間間隔的限制條件：

POM 在時間間隔上，分為外模積分之時間間隔 (external mode time step, Δt_E) 及內模積分之時間間隔 (internal mode time step, Δt_I)；在數值計算中，Courant-Friedrichs-Levy (CFL) 限制為決定計算穩定性之首要條件，其限制了空間解析度及時間間隔的設定；在時間間隔設定之限制上，以下分外模及內模兩部分討論：

a.) 外模：

在時間間隔的限制上，外模積分之時間間隔限制為主要之限制，其限

制條件為：

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_i} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

其中， $C_i = 2\sqrt{gH} + U_{\max}$ ， \sqrt{gH} 為最大的淺水波之波速， U_{\max} 為預期的最大速度。

b.)內模：

內模積分之時間間隔之限制有三類：

● CFL 限制：

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{C} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

其中， $C_T = 2C + U_{\max}$ ， C 為最大的內重力波 (internal gravity wave) 之波速， U_{\max} 為最大的平流速度 (advective speed)。

● 水平擴散對時間間隔之限制：

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

其中， $A = A_M$ 或 $A = A_H$ 。

● 科氏力參數對時間間隔之限制：

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{f} = \frac{1}{2\Omega \sin \Phi}$$

其中， Ω 為地球自轉之角速度， Φ 是緯度。

2.2 臺灣附近海域之海流數值模式的設定

I. 模式範圍

圖 2-1 為本計畫之模式範圍與海底地形，此範圍包含了東海 (East China Sea) 南部、臺灣海峽 (Taiwan Strait)、部份的西菲律賓海 (Philippine Sea) 與南海 (South China Sea) 北部等。海底地形是由 ETOPO5 (取自 National Geophysical Data Center (NGDC), NOAA) 之 $1/12^\circ \times 1/12^\circ$ (即 5 分 \times 5 分) 之水深資料經線性內插而得。由圖 2-1 可看出，模式區域之西北側為水深較淺的陸棚區，東南側為深水區。模式邊界，包含了東、南、北三個開口邊界 (open boundaries)。

II. 模式之格點配置

模式之積分區域，東西向介於 $19^\circ\text{N} \sim 29^\circ\text{N}$ ，南北向介於 $110^\circ\text{E} \sim 129^\circ\text{E}$ ，其解析度為 $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ (約 13.75 公尺 \times 13.75 公尺)，垂直方向分為 26 個 σ 層，在表面數層及底部數層採用較高之解析度。

III. 時間間隔

先利用 CFL 限制，初步估算外模積分之時間間隔 (Δt_E) 約小於 30 秒方可使模式計算穩定，再對外模及內模之時間間隔與模式穩定程度作敏感度測試 (sensitivity test)，取其最適當之內外模時間間隔分別為 600 秒及 20 秒。

IV. 初始條件

本模式是由靜止狀態開始積分（即初始速度場 $U=0$ 、 $V=0$ ），其初始溫鹽場是根據 Levitus 的全球水文資料提供此區域附近之海水溫度及鹽度的月平均資料做為模式之溫鹽平均場。

V. 邊界條件

本模式包含了東、南、北三個開口邊界，在此三個開口邊界上，其側邊界條件之運用方式可分為下列幾個部分：

a.) 海水面高度 (η):

在 POM 中， η 為診斷變數，其側邊界條件是採用零梯度條件 (zero gradient condition)，即：

$$\frac{\partial \eta}{\partial n} = 0$$

其中，上式代表垂直開口邊界之導數，其簡單的數學式子可表為：

$$\eta_B^{n+1} = \eta_{B\mp 1}^{n+1}$$

η_B^{n+1} 為邊界之值， η_{B-1}^{n+1} 是由控制方程式計算而得，且位於邊界且最接近邊界之內部點的海面高度值，因此在東邊界及北邊界使用一號，在西及南則是取十號。

b.) 垂直之平均速度 (\bar{U} 、 \bar{V}):

二維的平均速度之邊界條件是採用重力波傳播邊界條件，此邊界條件的基本物理假設為表面重力波是主要的動力，並且允許重力波以我們所指

定之波速從模式區域內離開，即：

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \pm c \frac{\partial \eta}{\partial n} = 0, \quad c = \sqrt{gh}$$

h 為邊界之水深，其數值表示方法為：

$$\bar{u}_B^{n+1} = \bar{u}_B^{pre} \pm \sqrt{\frac{g}{h}} (\eta_{B+1} - \eta_B^{pre})$$

其中，pre 代表我們在邊界上所指定之值， \bar{u} 代表水平之速度，在東西邊界上代表 \bar{U} ，南北則代表 \bar{V} ，另外，在+與-之選則上，東邊界及北邊界取上面之符號，西與南則取下面之符號。

c.) 三維之變數 (u、v、T、S)：

在三維水平速度之邊界條件上亦是採用傳播邊界條件，即：

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} \pm c_i \frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$$

Φ 代表 u、v、T 和 S；其數值表示法為：

$$\Phi_B^{n+1} = \gamma \Phi_{B+1}^n + (1-\gamma) \Phi_B^n$$

其中， $\gamma \equiv c_i \frac{\Delta t_i}{(\Delta x, \Delta y)}$ ，正負號之選擇與上述之相同，在東西邊界使用 Δx ，

在南北則使用 Δy 。

在表面邊界條件的使用上，則是採用較大區域之數值模式單向巢狀箱合之方式提供 1999 年每日之溫鹽資料作為本模式表面溫鹽之邊界條件。側邊界條件亦是採用較大區域之數值模式單向巢狀箱合之方式提供 1999 年每日之溫鹽及垂直平均速度和海面高度資料本作為模式之側邊界條件。

VI.外力

模式積分時所受之表面外力為風應力 (wind stress)，由歐洲中尺度風場中心 (ECMWF) 所預報，1999 年每六小時一筆之風應力來提供模式計算時所需之表面外力。

VII.科氏力參數 (f)

對於大尺度的地物流 (geophysical flows) 而言，科氏力項 (Coriolis term) 在動量方程式中是非常重要的項，為一轉動座標下的物體運動之假想力，因此將科氏力參數設定為隨緯度變化之形式 $2\Omega\sin\Phi$ ，較為符合流體在地球上運動之實際情形，其中 Ω 為地球自轉之角速度。

VIII.模式之 Spin-up

Spin-up 之重要性乃在於確定模式海洋中的能量，在外力的作用下是否達到穩定平衡之狀態，且二維之空間平均動能較三維之空間平均動能快速地達到穩定平衡之狀態，因此通常可經由模式之三維之空間平均動能對時間之關係來判斷模式是否穩定。

模式由靜止 (即 $U=0$ 、 $V=0$) 且邊界條件及外力均未改變下開始積分到 100 天左右時，三維的空間平均動能已漸漸趨於穩定之狀態。為要求模式有較高之穩定性，因此於積分到第 11 年時，才開始改變本模式積分之上邊界條件、側邊界條件和表面外力 (風應力)。

第三章 模式之驗證與結果

模式在建構過程中是需要實測資料的驗證，不過當一個好的數值模式建構完成後，它可以做到很多實測資料無法做到的事，例如模式參數的輸出是四維的，它可以涵蓋時間和三度空間，這相等於延伸了實測資料所難以辦到的同時大範圍測量。

3.1 模式之流況驗證與結果

圖 3-1 (a) ~圖 3-1 (e) 分別為全年及四季 (春、夏、秋、冬) 之水深三十公尺處的觀測海流圖 (取自國家海洋科學研究中心 (National Center for Ocean Research, NCOR), <http://www.ncor.ntu.edu.tw>) ; 圖 3-2 (a) ~圖 3-2 (e) 分別為全年、春、夏、秋、冬模式模擬之海面高度與水深 30m 的流況分布圖。

由模式結果顯示，本模式可清楚模擬出臺灣附近的各項海流特徵，如：位於臺灣東側的黑潮 (Kuroshio)，其主軸受季風的影響產生季節性東西向的橫移，夏季受西南季風吹拂向東移動，冬季則因東北季風影響而向西移動。此外，由圖 3-2 (a) ~圖 3-2 (e) 中亦可看出黑潮終年入侵南海，上述結果與前人 (Liang et al., 2003) 研究相仿。在臺灣海峽流況方面，其全年平均流向為向北，但冬、夏季因季風之影響，冬季之流速較夏季為弱，此結果亦與觀測結果相當一致。

3.2 模式之水文驗證與結果

圖 3-3 (a) ~圖 3-3 (d) 分別為春、夏、秋、冬觀測之水下 30m 的溫度分布圖 (取自國家海洋科學研究中心); 圖 3-4 (a) ~圖 3-4 (d) 分別為模式之水深 30m 處的四季海水溫度分布圖。

由模式結果顯示, 本模式可正確地呈現出臺灣附近的溫度分佈, 夏季受到太陽輻射熱較多的影響, 溫度較高; 冬季則相反。此外, 受到海流流向與地形的影響, 溫度分佈並非直接與緯度平行, 而是呈現東北—西南的走向, 由圖 3-3 及圖 3-4 的比較可看出, 模式溫度分佈的值和趨勢, 與觀測結果非常接近。

圖 3-5 (a) ~圖 3-5 (d) 分別為春、夏、秋、冬觀測之水下 30m 的鹽度分布圖 (取自國家海洋科學研究中心); 圖 3-6 (a) ~圖 3-6 (d) 分別為春、夏、秋、冬四季, 模式之水下 30m 的鹽度。

由模式結果顯示, 本模式可大致模擬出臺灣附近的鹽度分佈, 於夏秋兩季時, 鹽度較低; 春冬時, 鹽度則較高。由圖 3-5 與圖 3-6 的比較可看出, 模式鹽度分佈的趨勢, 與觀測結果大致符合。

第四章 模式之分析與結果

以下為模式結果在臺灣東、西兩側體積傳輸量 (Volume Transport) 之分析與結果。

4.1 臺灣東側之體積傳輸量

在臺灣東側之傳輸量計算上，是計算黑潮由東臺灣通道 (East Taiwan Channel, ETC) 進入東海之傳輸量。Johns et al. (2001) 根據 WOCE 計劃期間 (1994 年 9 月~1996 年 5 月) 的觀測資料指出，東臺灣通道年平均傳輸量為 $21.5 \pm 2.5\text{Sv}$ ($1\text{Sv} \equiv 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)。

圖 4-1 為模式在東臺灣通道上，黑潮進入東海之傳輸量時間序列，由模式結果計算所得之東臺灣通道的年平均傳輸量為 $19.9 \pm 5.1\text{Sv}$ ，其傳輸量變化範圍在 13.8 與 22.4Sv 之間，由時間序列顯示東臺灣通道並無明顯的季節性變化，此結果與 Johns et al. (2001) 之結果相近。

4.2 臺灣西側之體積傳輸量

在臺灣西側傳輸量分析上則是計算臺灣海峽內之傳輸量變化。Wang et al. (2003) 根據 1999~2001 的觀測資料指出，臺灣海峽年平均傳輸量為 1.8Sv，傳輸量變化範圍為 0.9~2.7Sv。

圖 4-2 為模式在臺灣海峽傳輸量之時間序列，模式計算之臺灣海峽平均傳輸量為 $1.6 \pm 0.5\text{Sv}$ ，傳輸量變化範圍為 -0.1 ~ 2.6Sv，由時間序列

顯示臺灣海峽於西南季風吹拂期間之傳輸量，較東北季風吹拂期間大，且有明顯的季節性變化。

4.3 結論

運用巢狀箱合模式的最主要目的，即在提升模式模擬之結果，使模式能呈現出與觀測資料較為接近之模擬結果；以較大區域之模式來提供小區域模式之初始條件及邊界條件，使其達到改善模擬結果之目的。

本計畫中，較大區域之模式完整提供了良好的側邊界條件，以及表面溫鹽之邊界條件，使臺灣附近海域之海流數值模式無論在流況上或水文上的模擬都與觀測相近。此外，在臺灣東、西兩側之體積傳輸量亦模擬的相當不錯。

由前述可得之，第一階段的臺灣附近海域之海流數值模式測定已經完成。將於第二階段（第二年）由此測定完成之模式，提供開口邊界條件給即將建立的小尺度海流數值模式（ $21.5^{\circ}\text{N} \sim 26.5^{\circ}\text{N}$ 及 $116.5^{\circ}\text{E} \sim 122.5^{\circ}\text{E}$ ）使用，屆時小尺度海流數值模式將有能力提供高解析度且較準確的海洋流場資訊。

參考文獻

- Johns, W. E., T. N. Lee, D. Zhang and R. Zantopp (2001): The Kuroshio east of Taiwan: moored transport observations from the WOCE PCM-1 array. *Journal Physical Oceanography*, 31, 1031-1053.
- Liang, W.-D., T. Y. Tang, M. T. Ko and W.-S. Chuang, 2003, Upper-ocean currents around Taiwan. *Deep-Sea Research II*, 50, 1085-1105.
- Wang, Y.H., S. Jan, D.P. Wang, 2003, Transports and tidal current estimates in the Taiwan Strait from shipboard ADCP observations (1999-2001). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57, 193-199.

Topography arround Taiwan

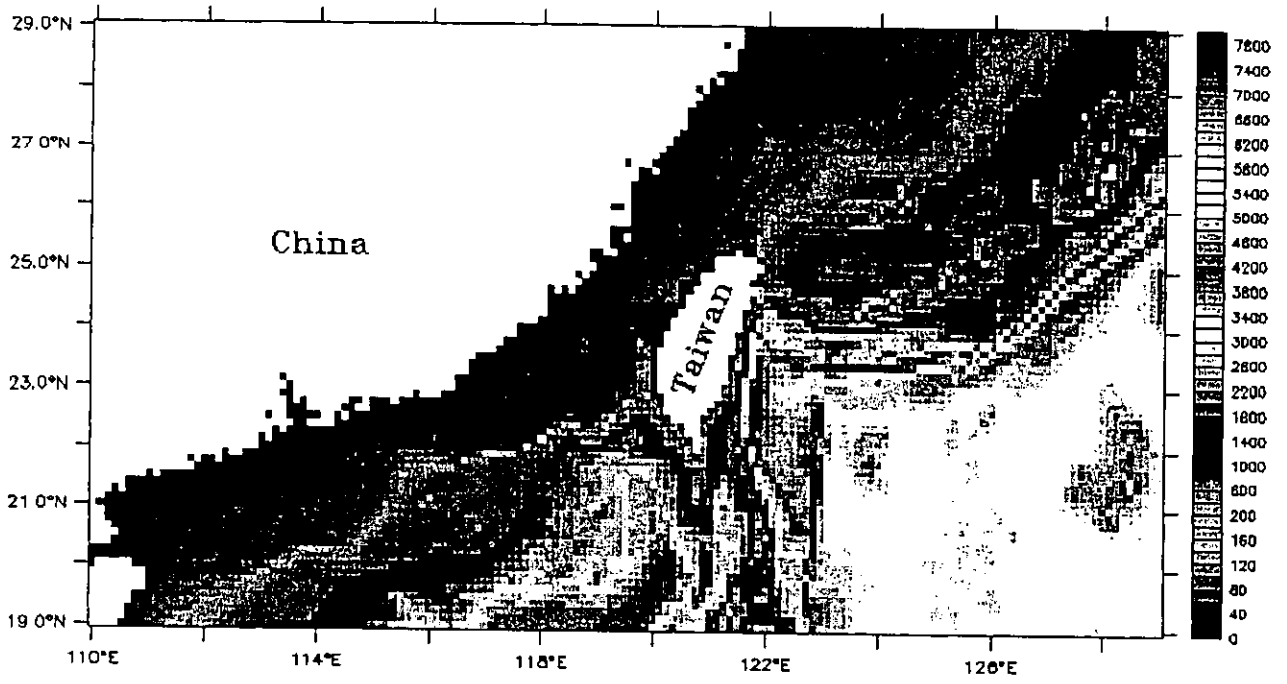


圖 2-1 模式之範圍與海底地形

Composite Current Velocity Vectors at 030 m

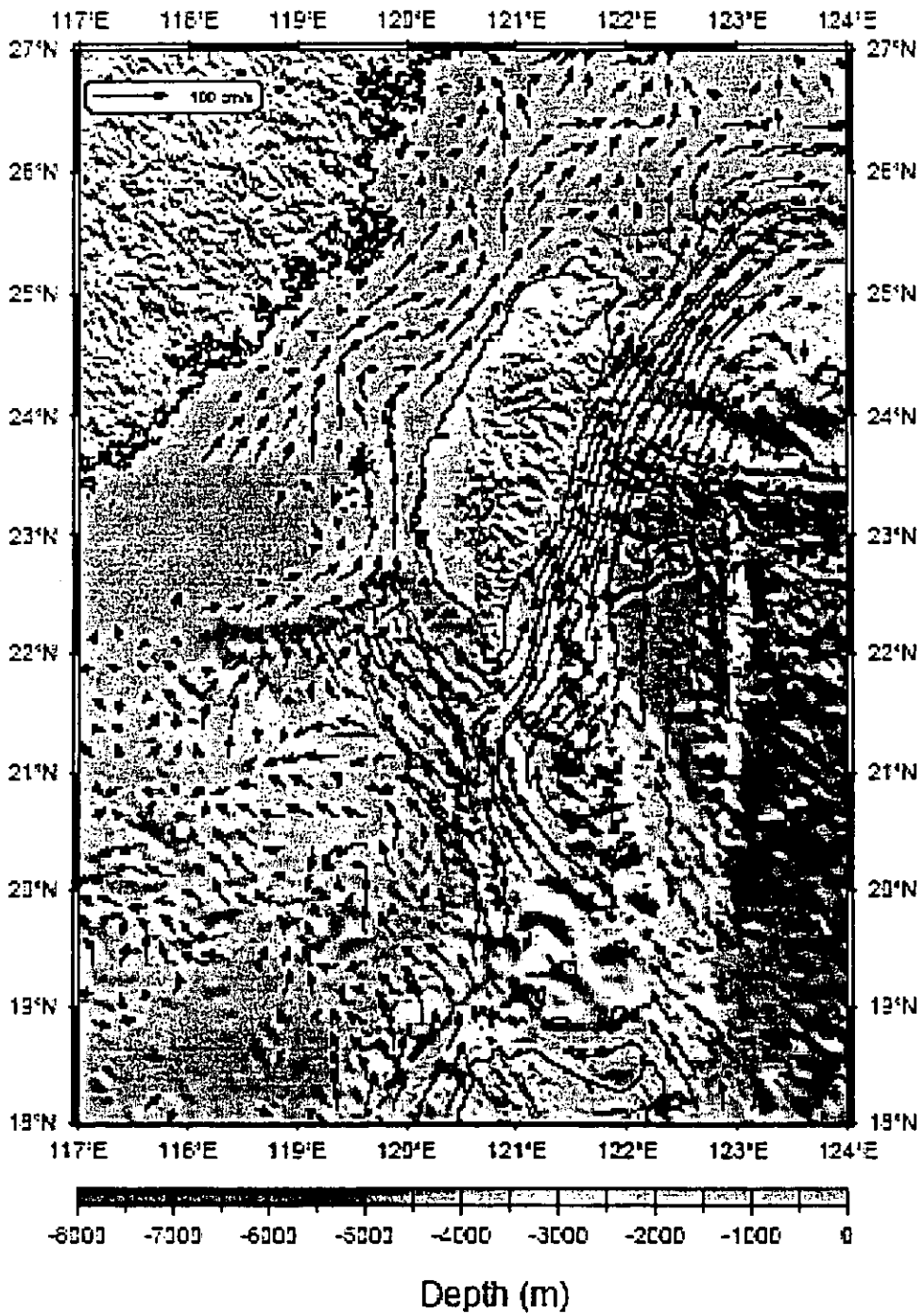


圖 3-1 (a) 觀測之地形與全年 30m 的流況

Composite Current Velocity Vectors at 030 m
Spring (Mar. - May.)

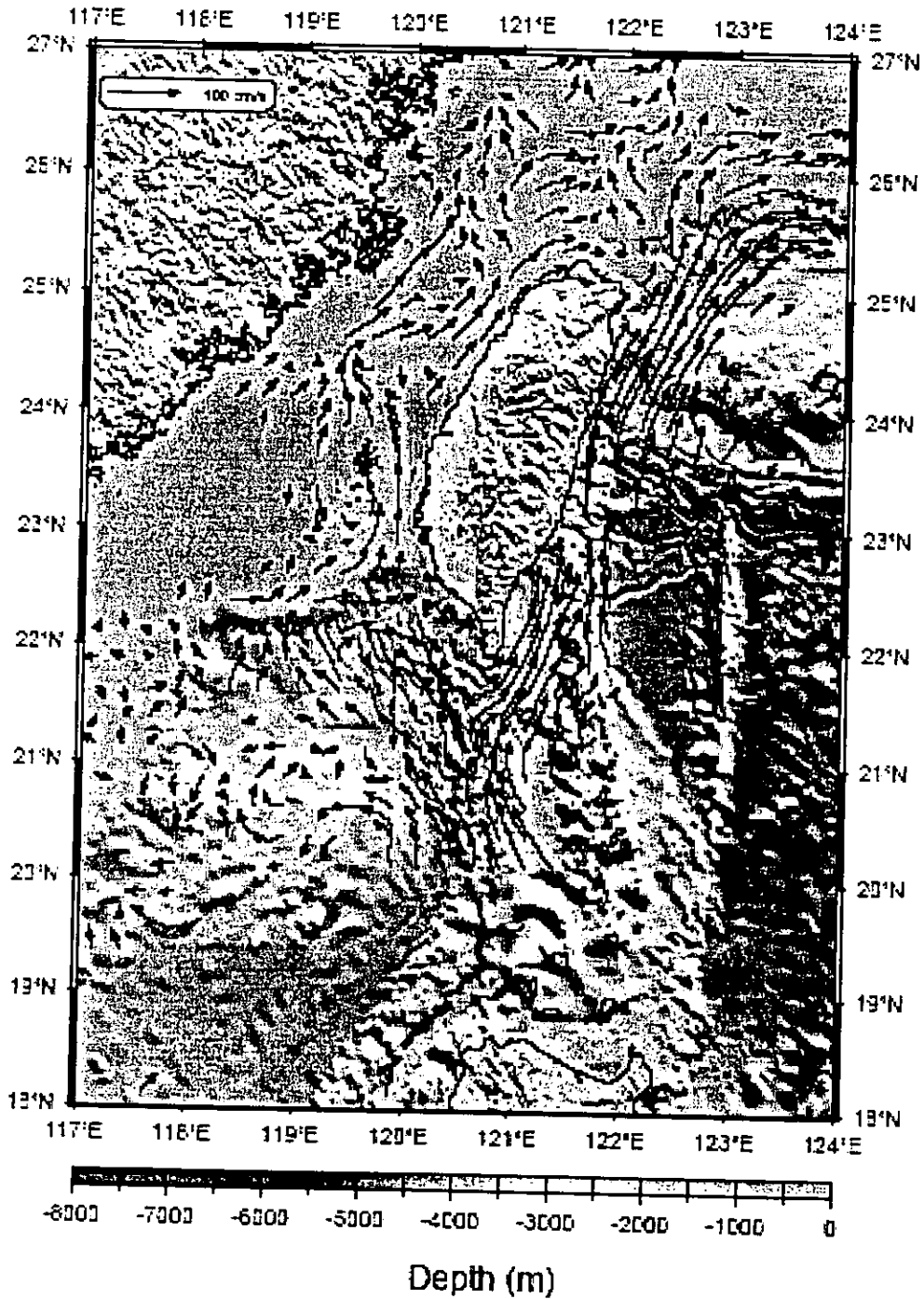


圖 3-1 (b) 觀測之地形與春季 30m 的流況

Composite Current Velocity Vectors at 030 m
Summer (Jun. - Aug.)

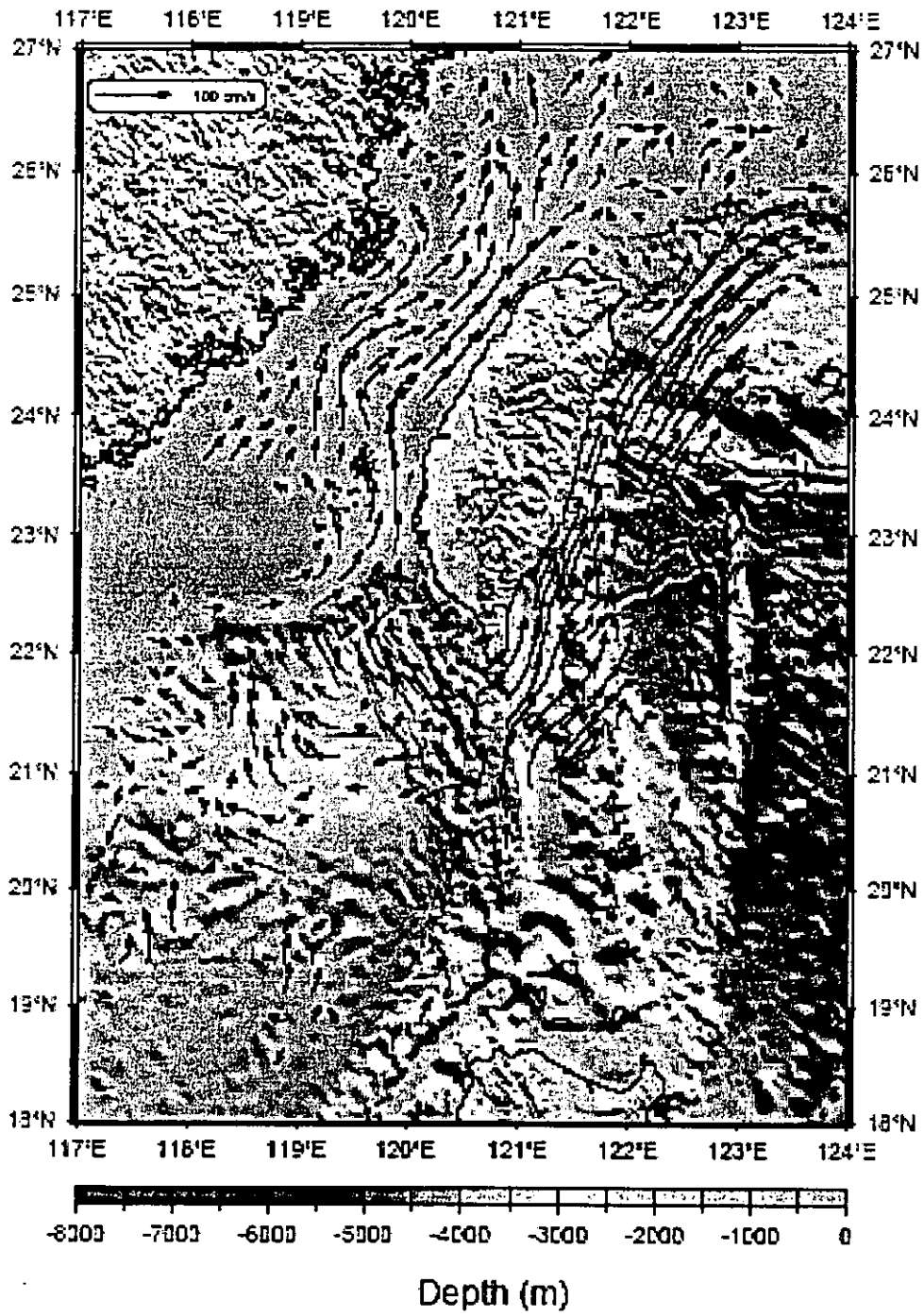


圖 3-1 (c) 觀測之地形與夏季 30m 的流況

Composite Current Velocity Vectors at 030 m
Fall (Sep. - Nov.)

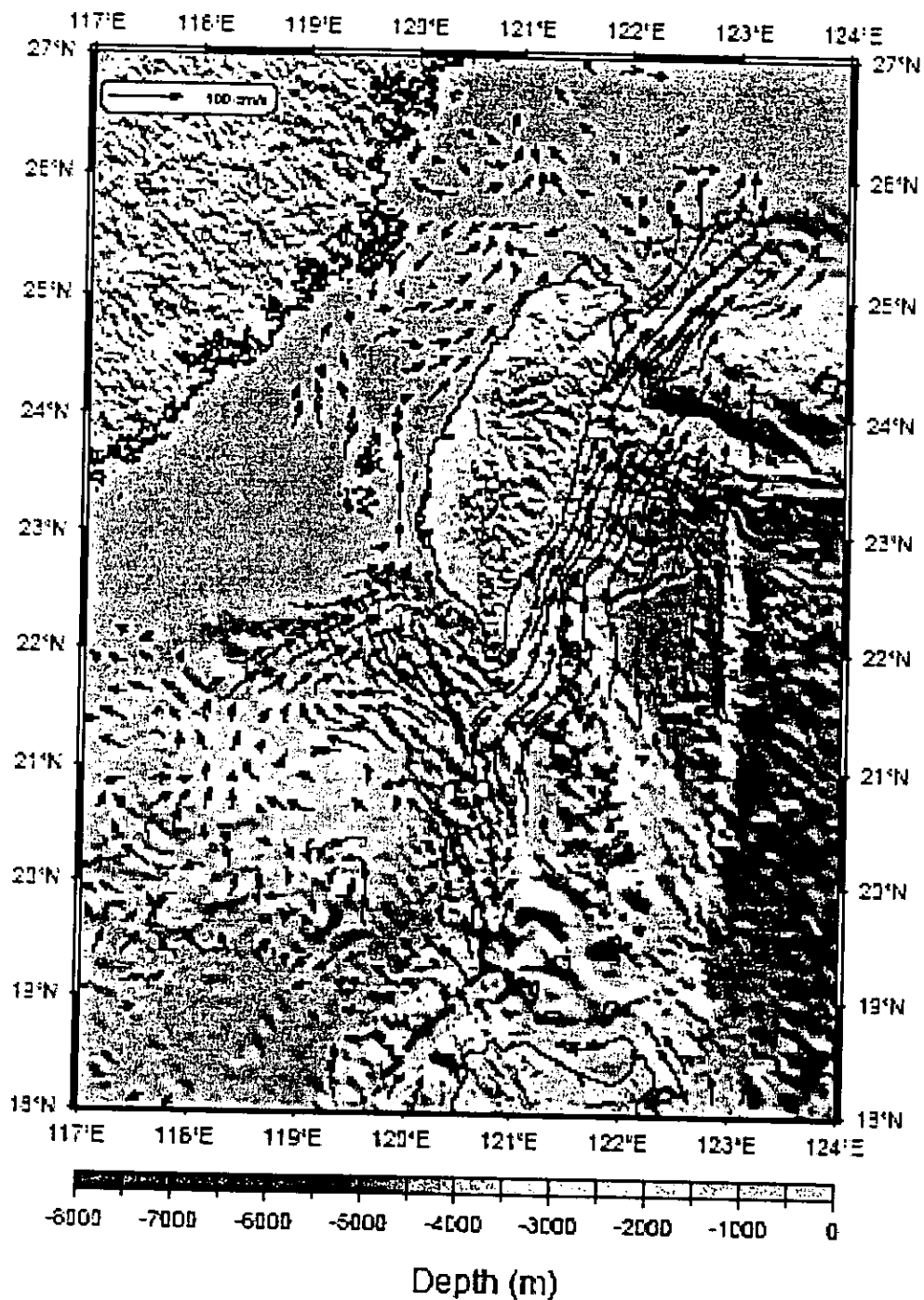


圖 3-1 (d) 觀測之地形與秋季 30m 的流況

Composite Current Velocity Vectors at 030 m
Winter (Dec. - Feb.)

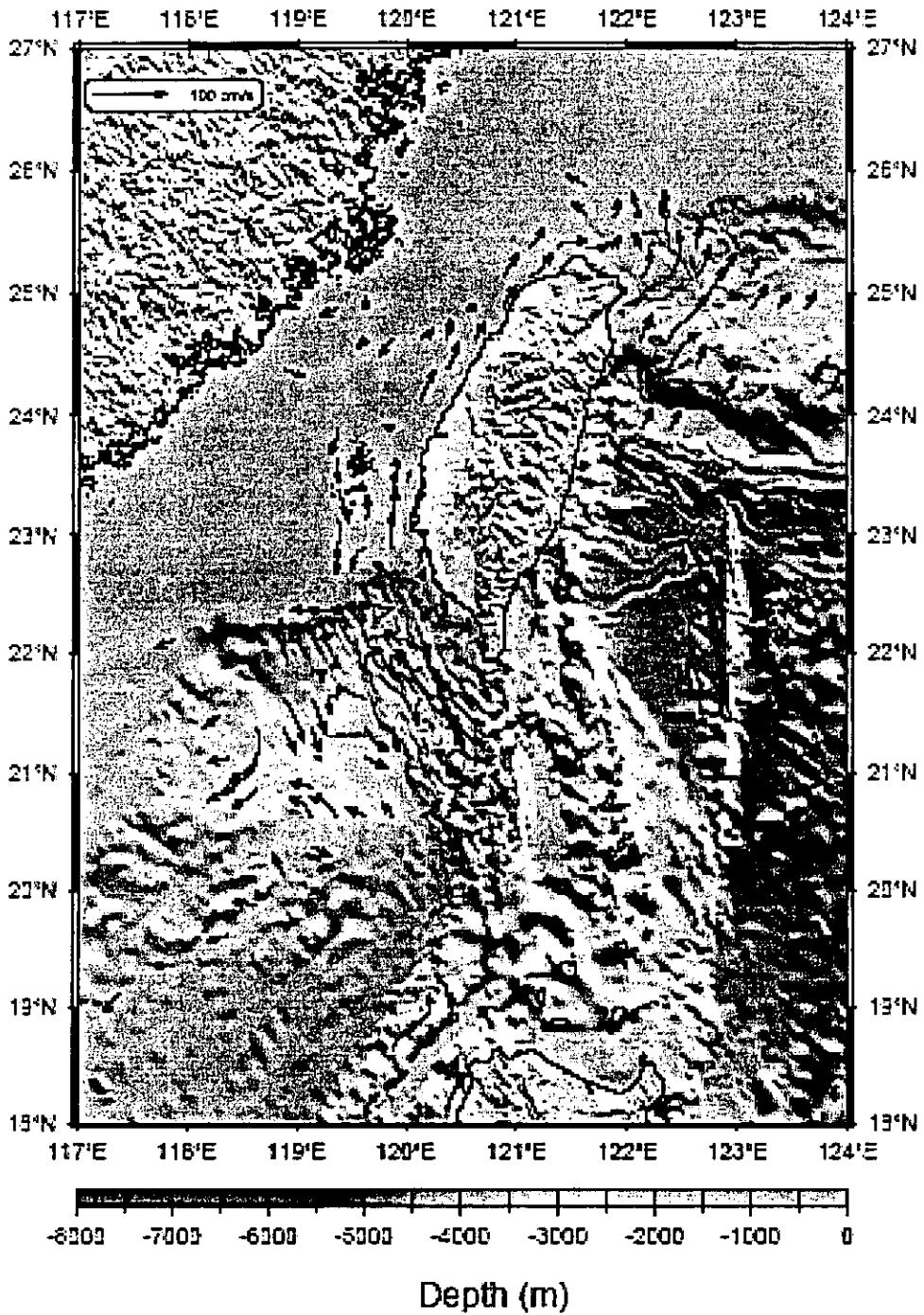


圖 3-1 (e) 觀測之地形與冬季 30m 的流況

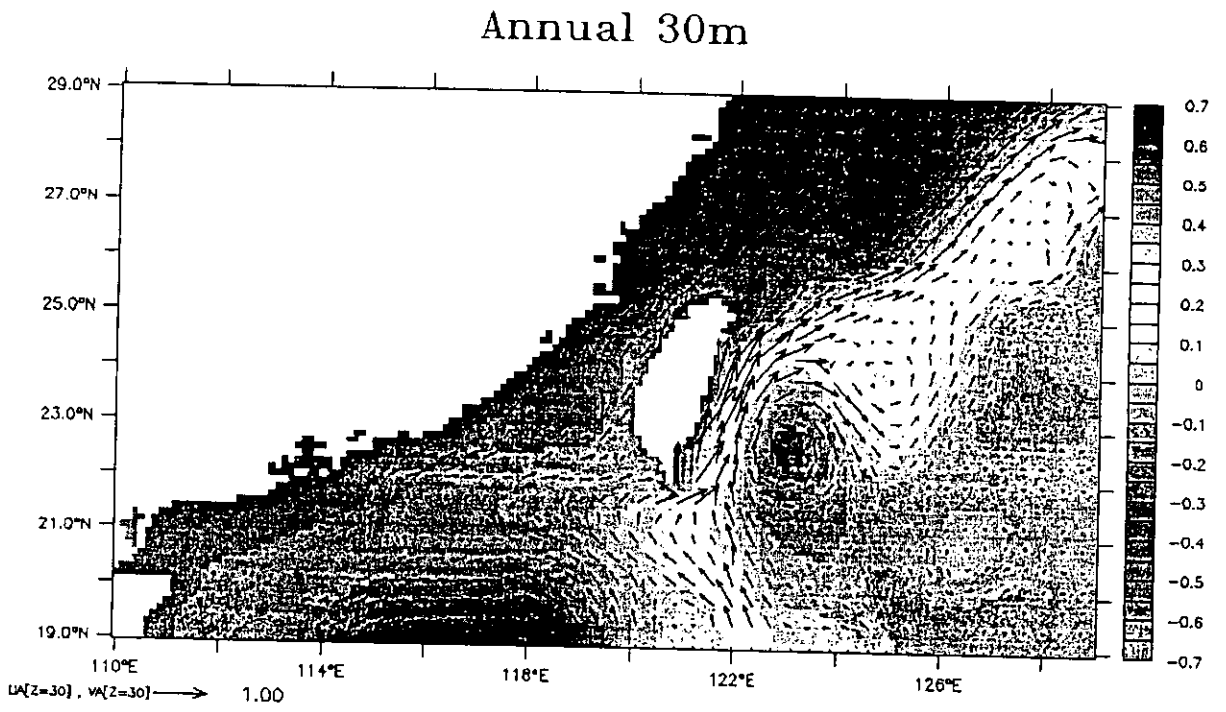


圖 3-2 (a) 模式之全年海面高度與 30m 的流況

Spring 30m

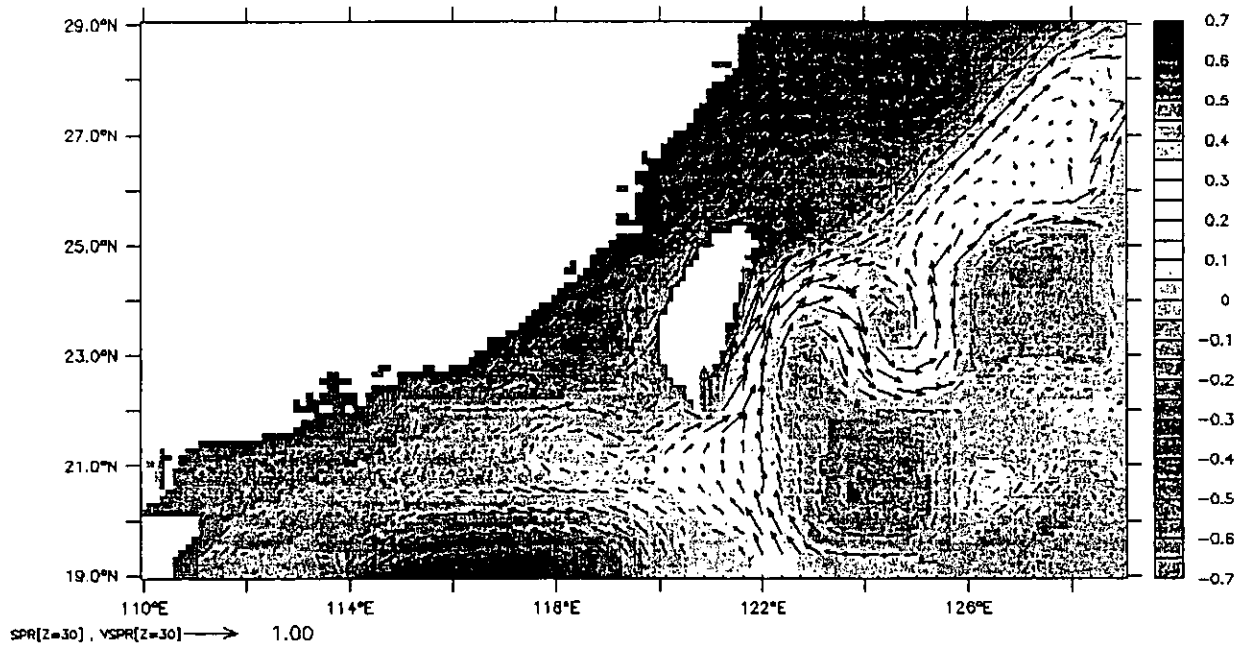


圖 3-2 (b) 模式之春季海面高度與 30m 的流況

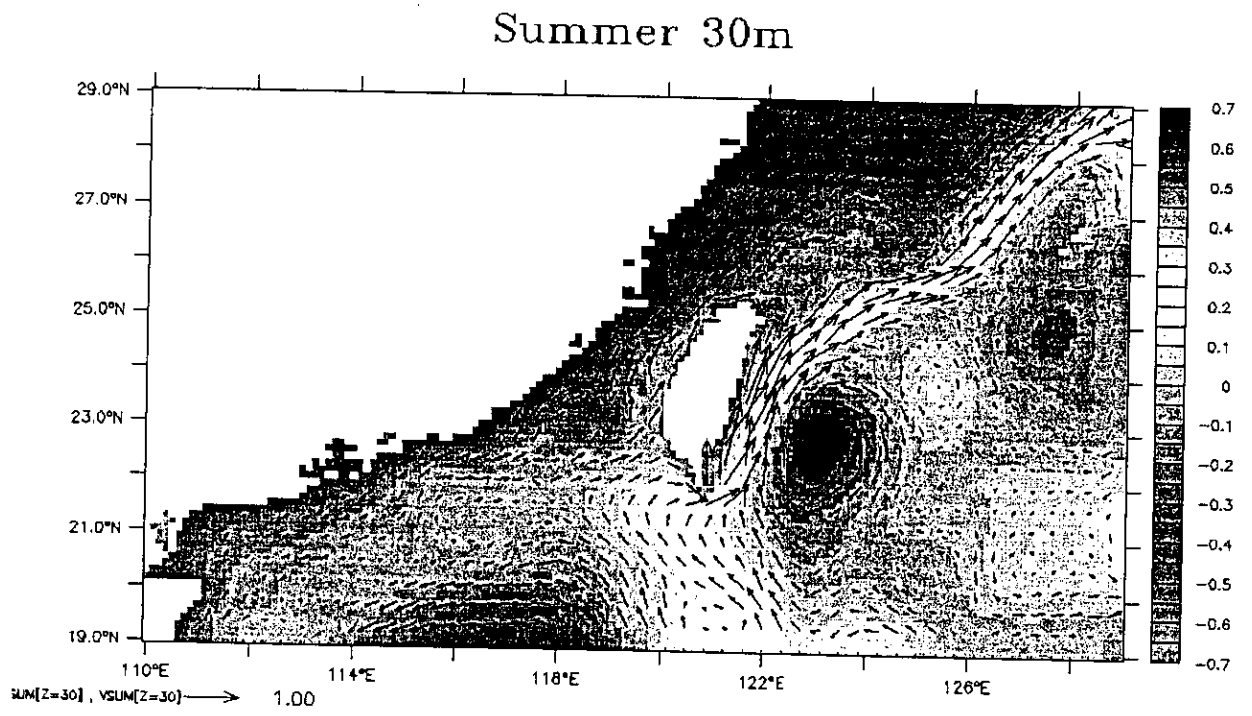


圖 3-2 (c) 模式之夏季海面高度與 30m 的流況

Fall 30m

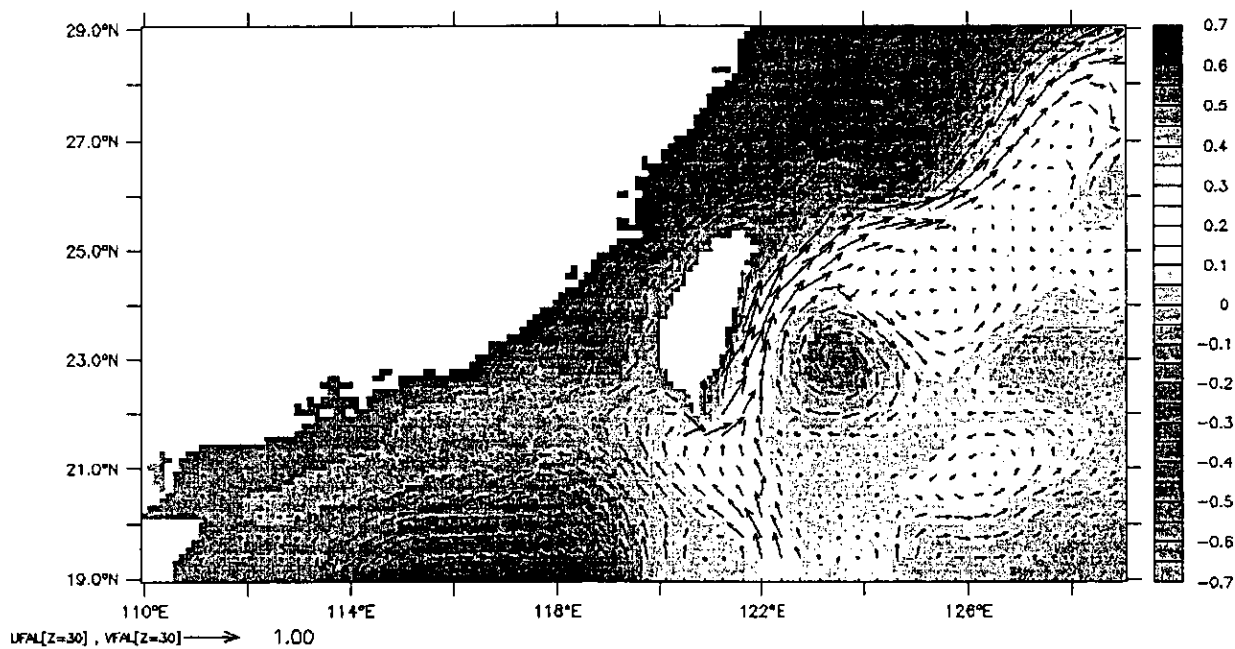


圖 3-2 (d) 模式之秋季海面高度與 30m 的流況

Winter 30m

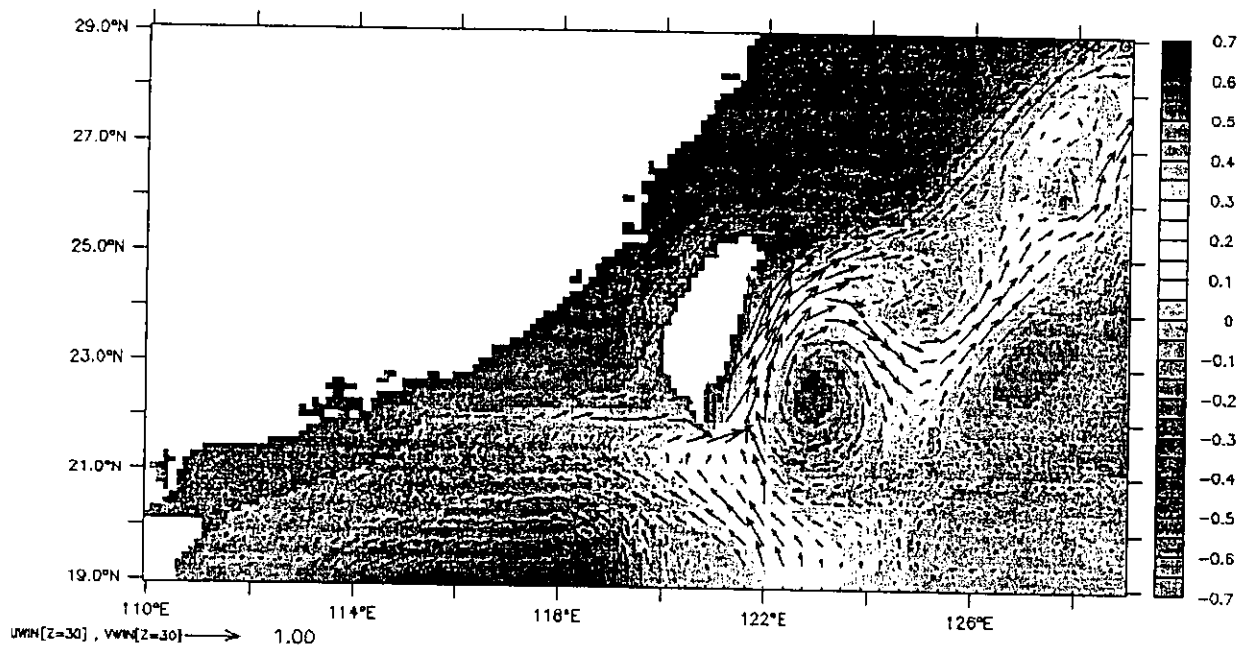


圖 3-2 (e) 模式之冬季海面高度與 30m 的流況

Spring

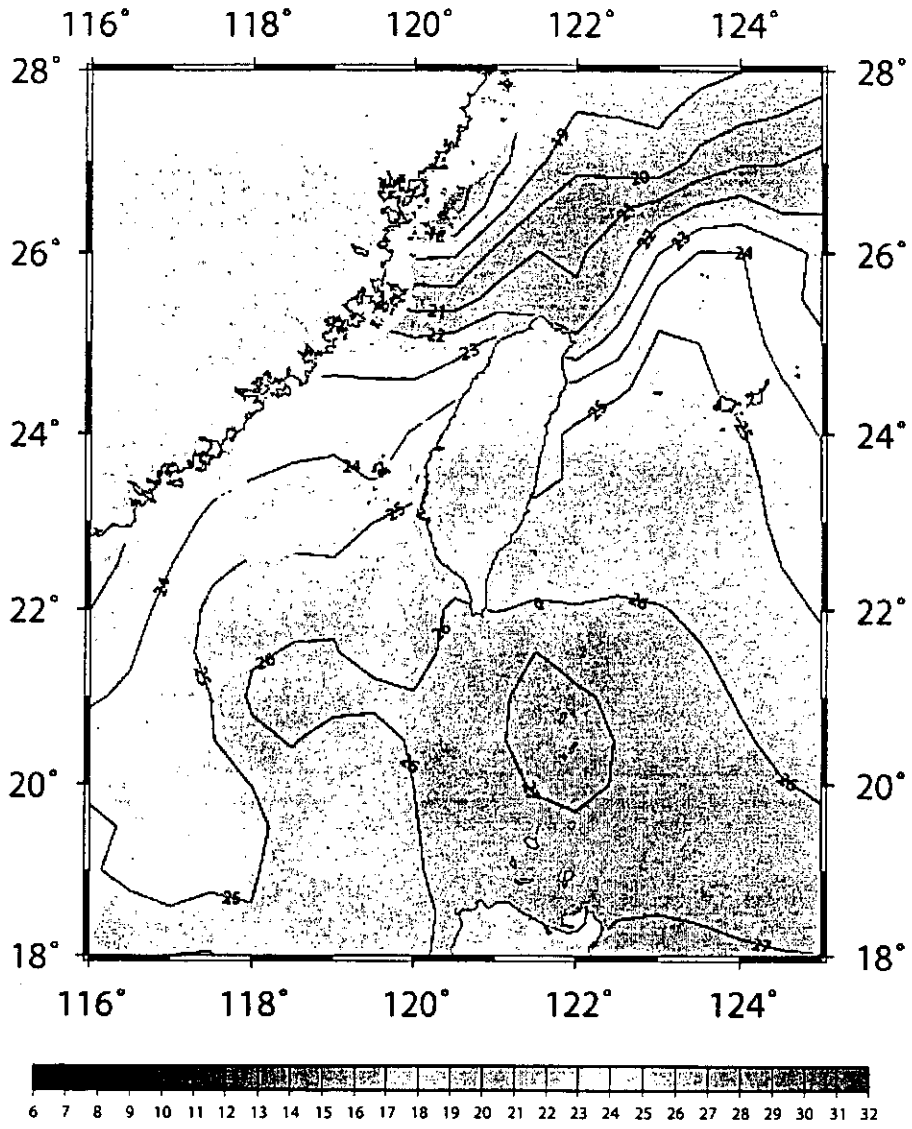


圖 3-3 (a) 觀測之春季 30m 的溫度

Summer

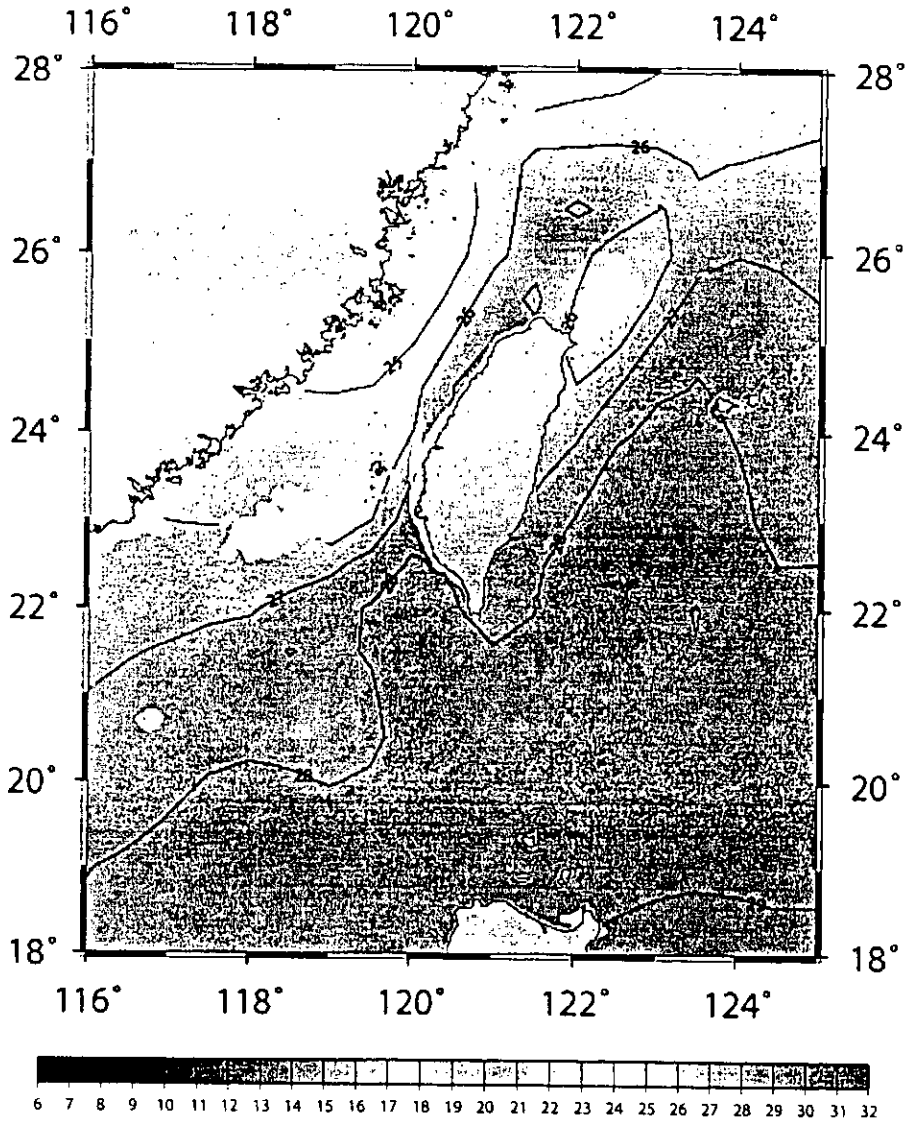


圖 3-3 (b) 觀測之夏季 30m 的溫度

Autumn

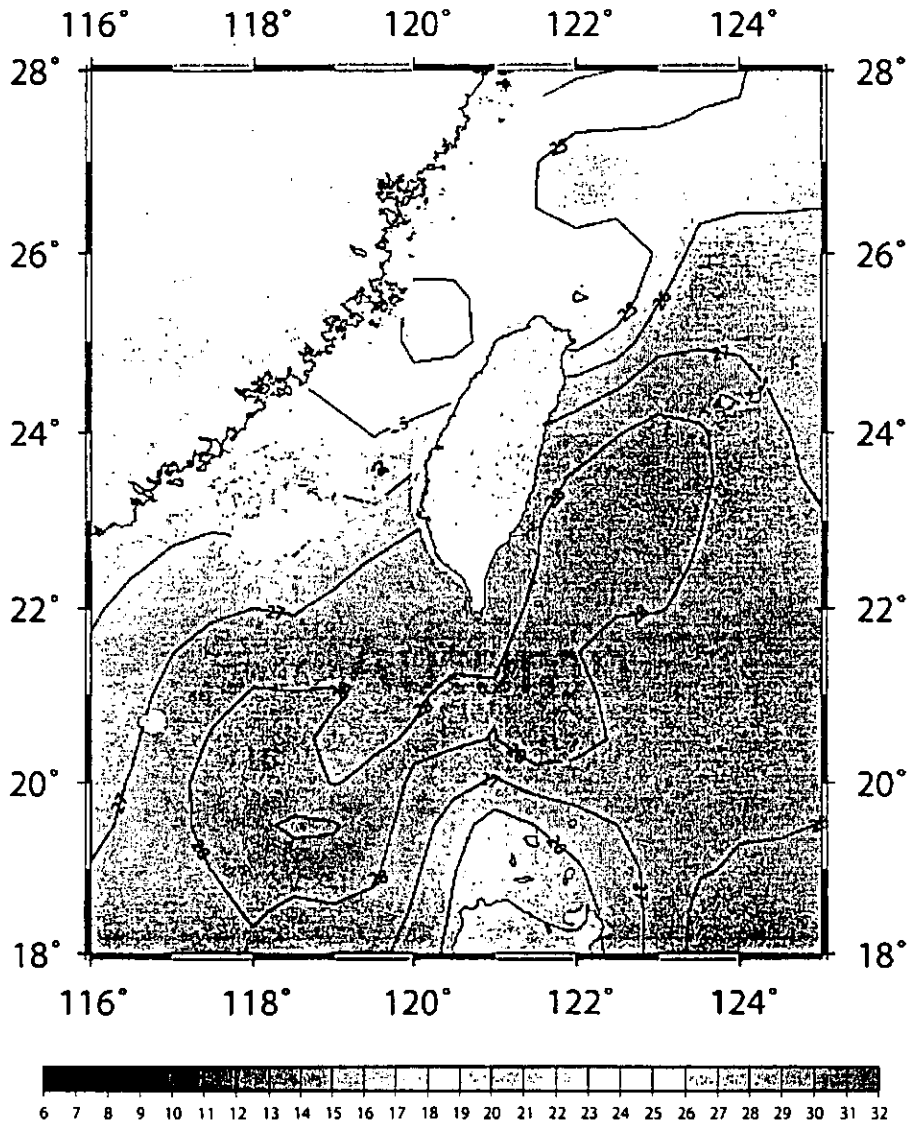


圖 3-3 (c) 觀測之秋季 30m 的溫度

Winter

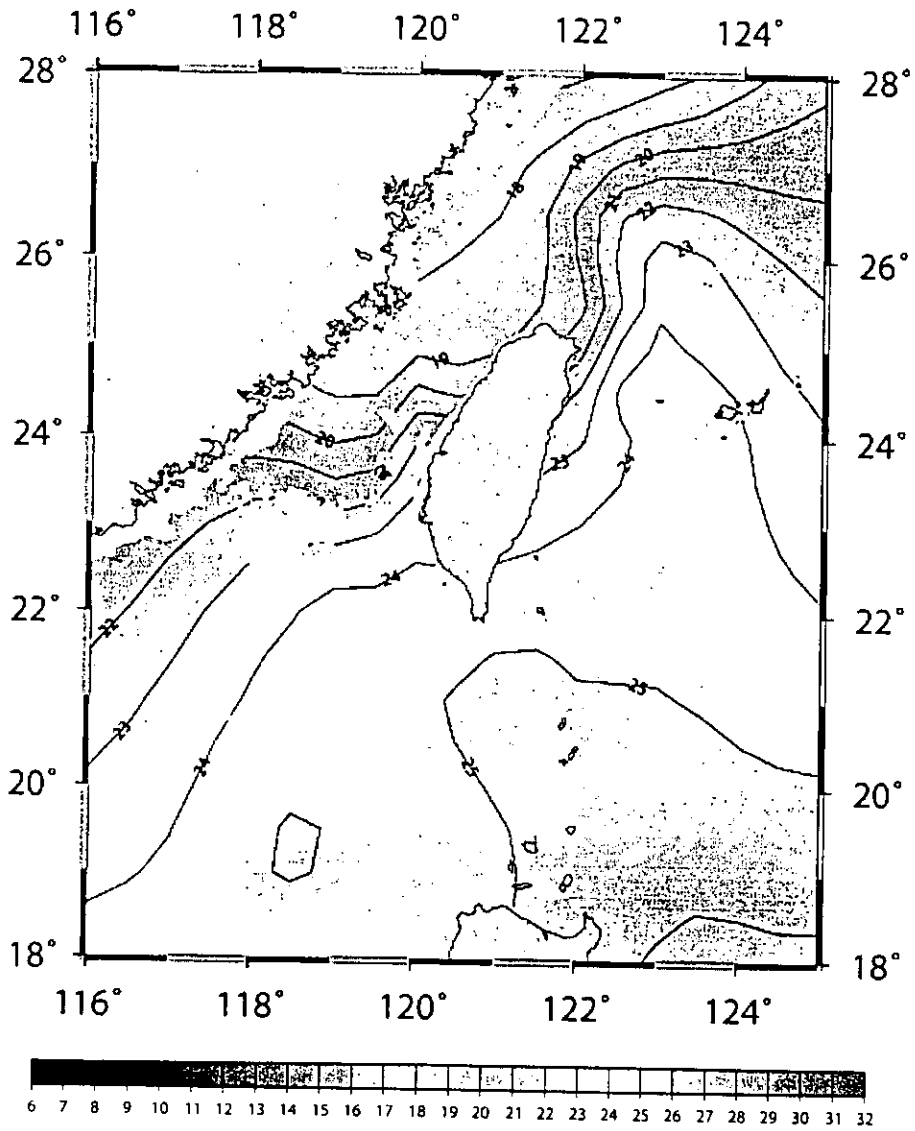


圖 3-3 (d) 觀測之冬季 30m 的溫度

Spring 30m

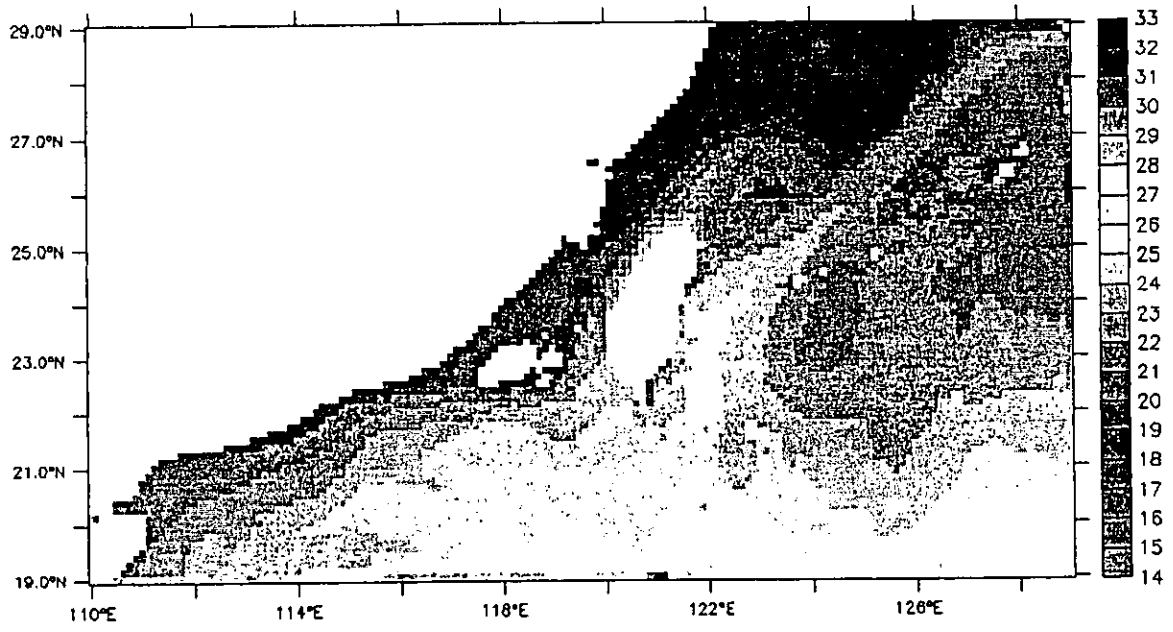


圖 3-4 (a) 模式之春季 30m 的溫度

Summer 30m

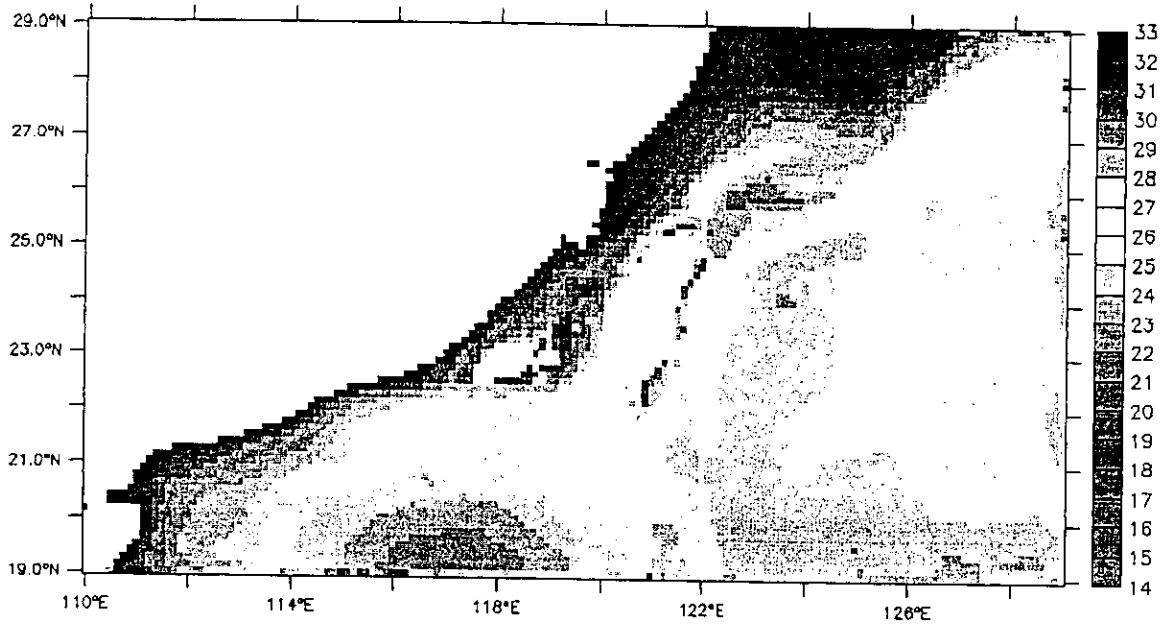


圖 3-4 (b) 模式之夏季 30m 的溫度

Fall 30m

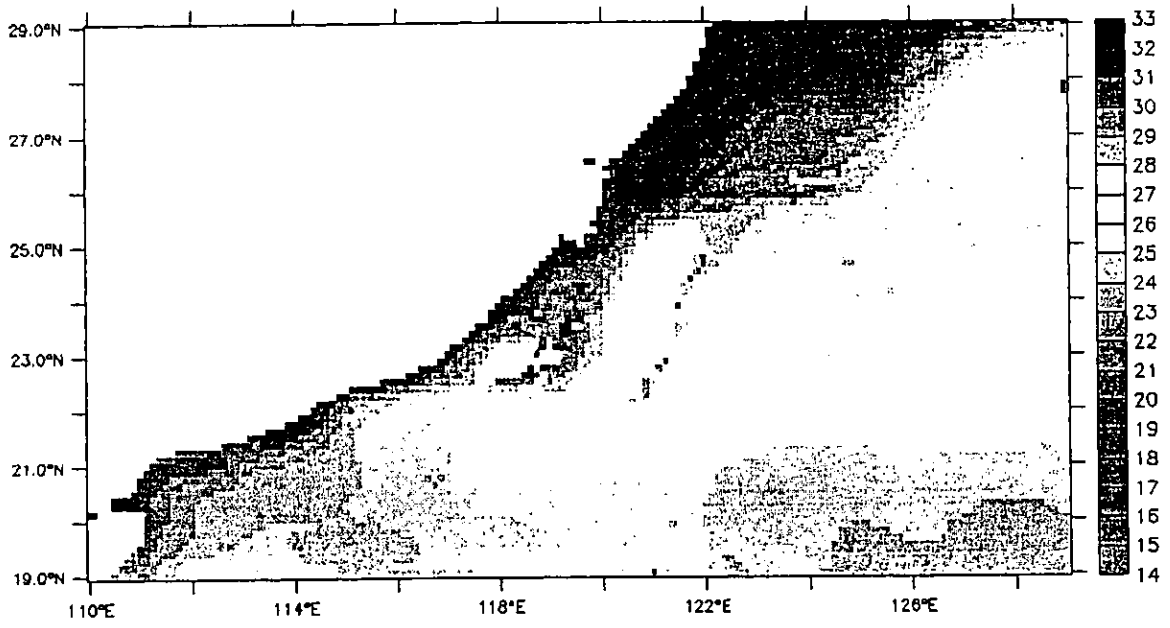


圖 3-4 (c) 模式之秋季 30m 的溫度

Winter 30m

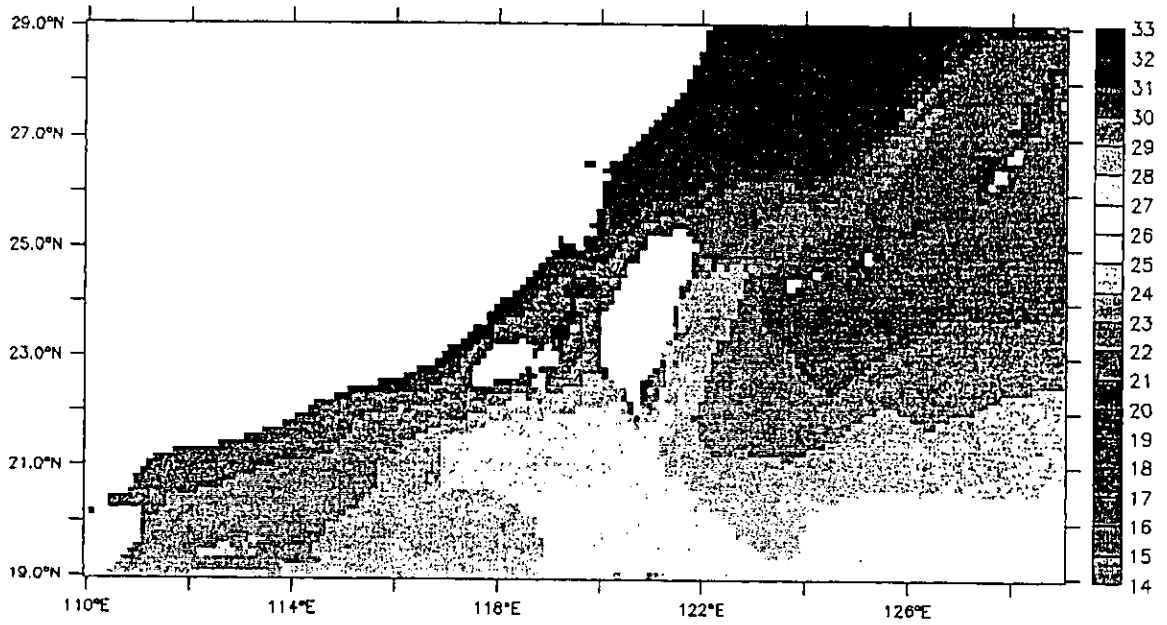


圖 3-4 (d) 模式之冬季 30m 的溫度

Spring

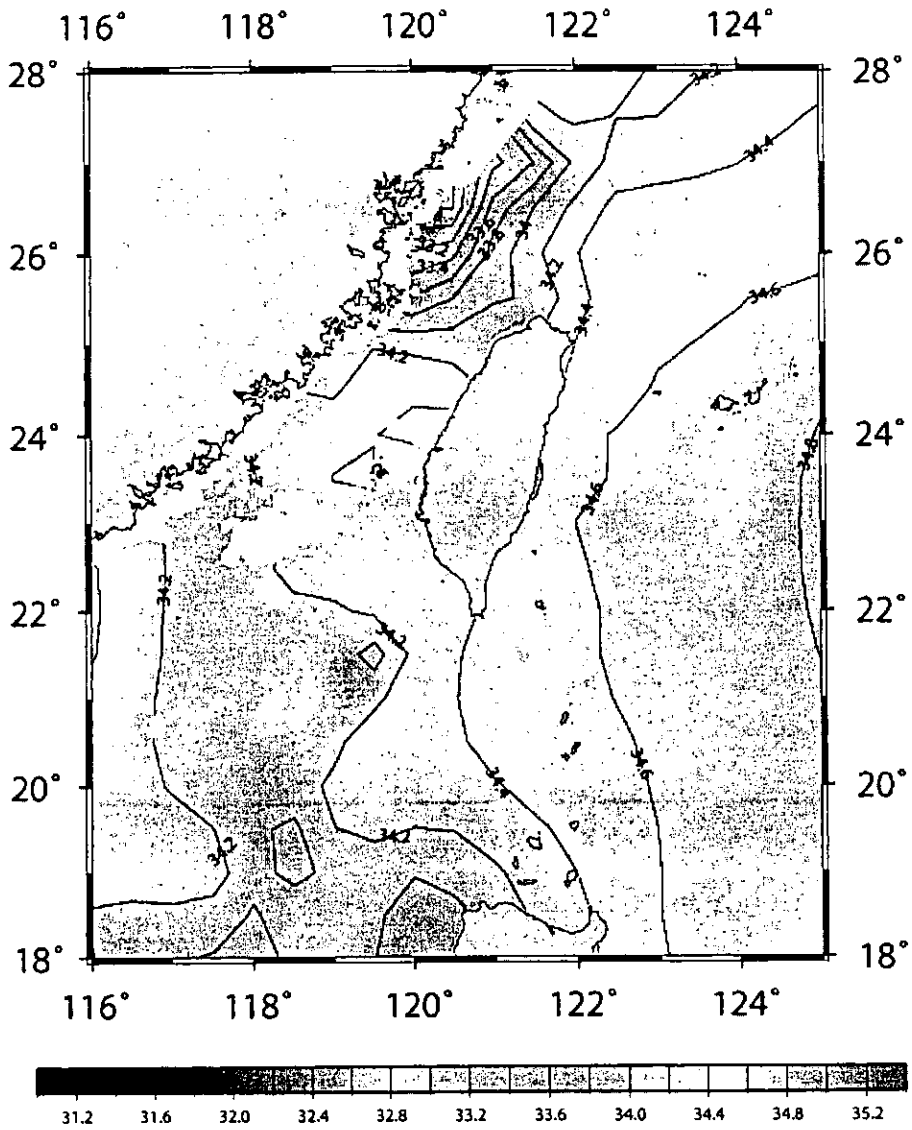


圖 3-5 (a) 觀測之春季 30m 的鹽度

Summer

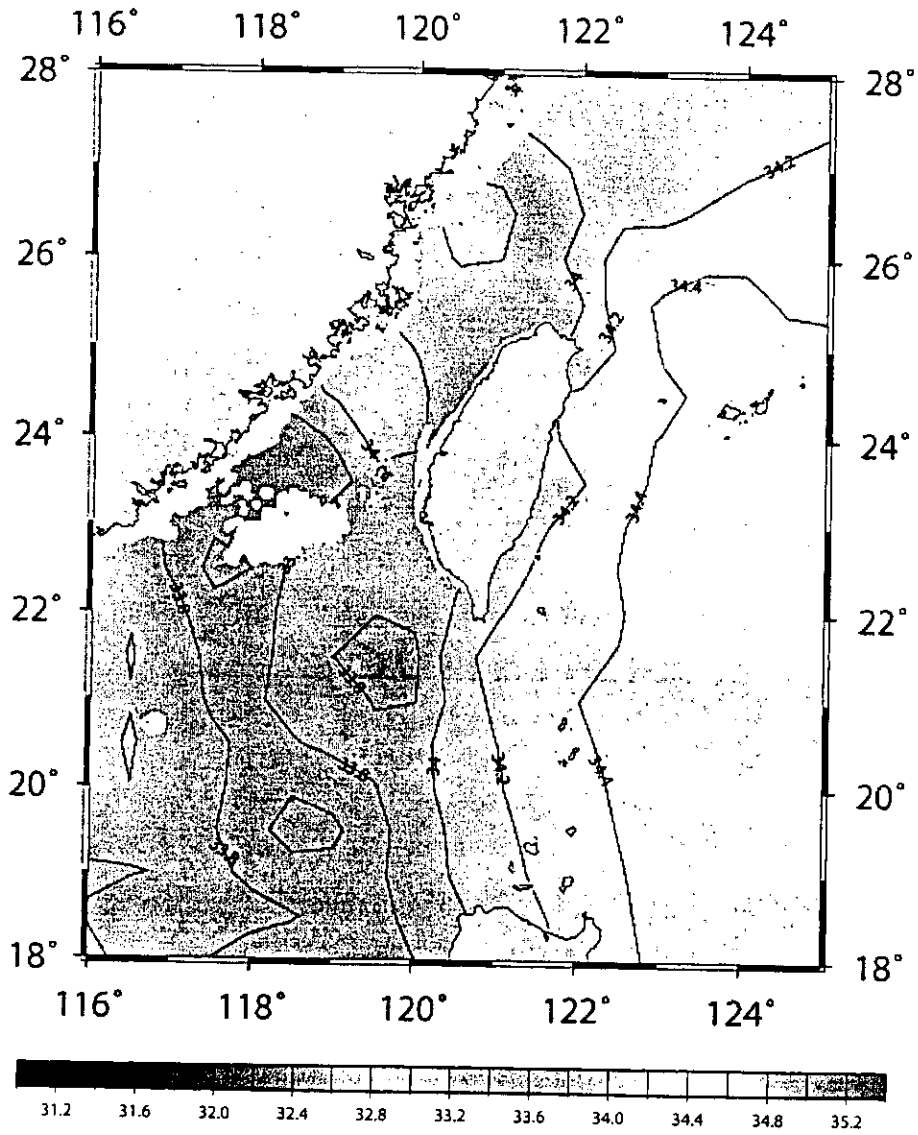


圖 3-5 (b) 觀測之夏季 30m 的鹽度

Autumn

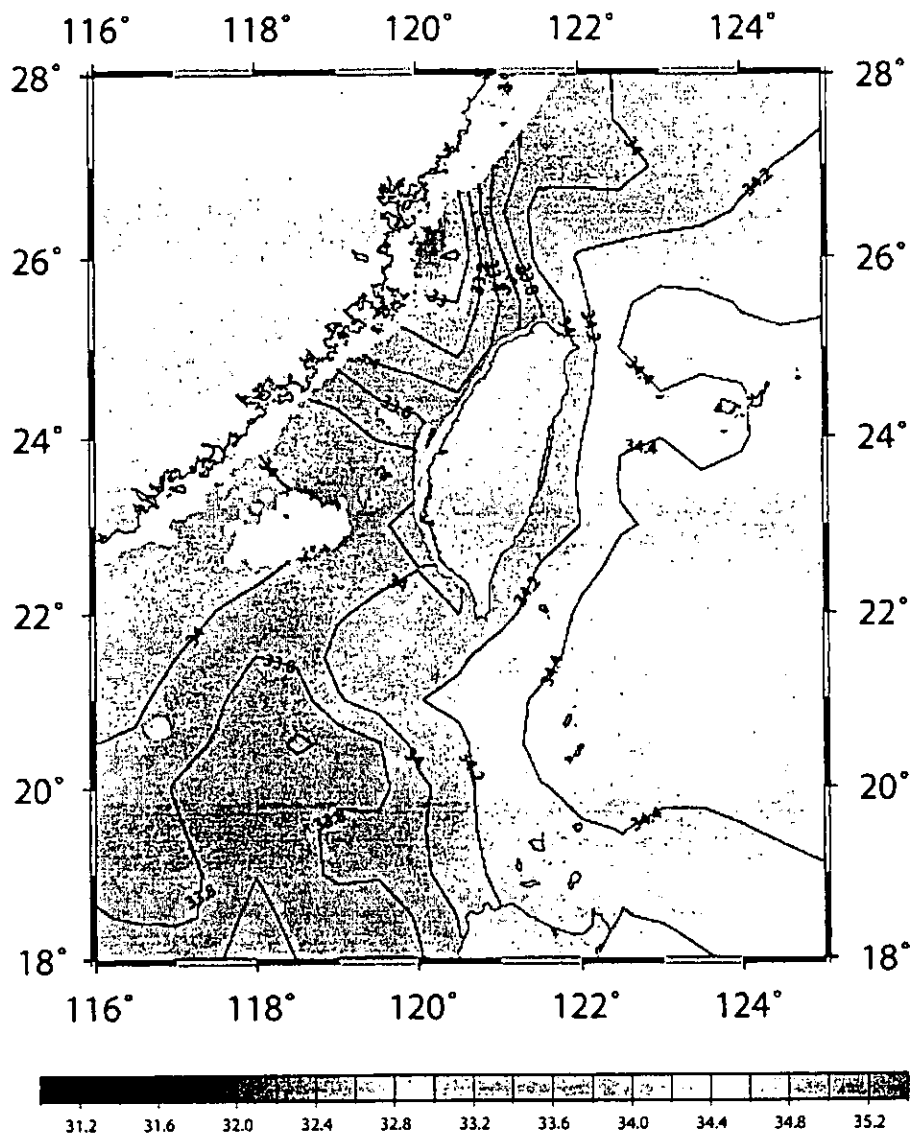


圖 3-5 (c) 觀測之秋季 30m 的鹽度

Winter

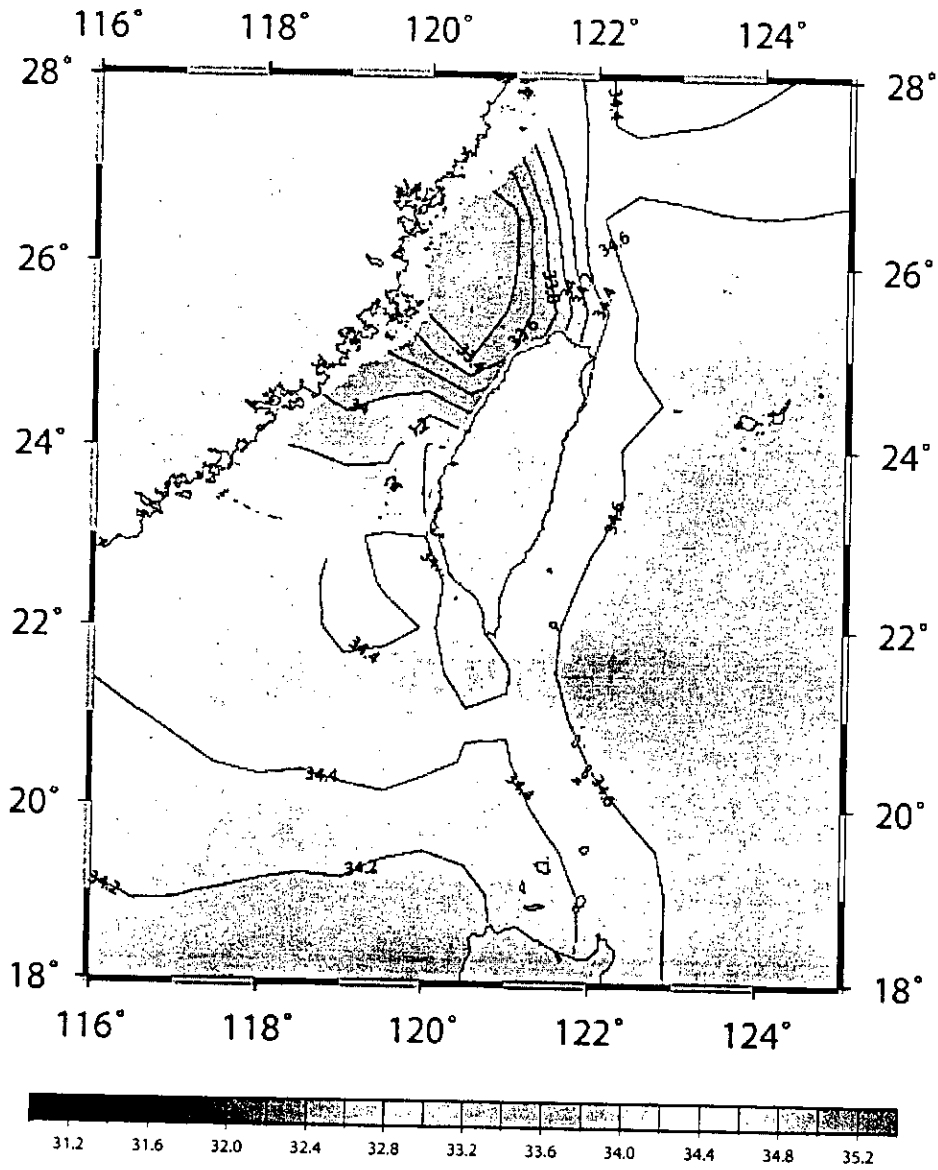


圖 3-5 (d) 觀測之冬季 30m 的鹽度

Spring 30m

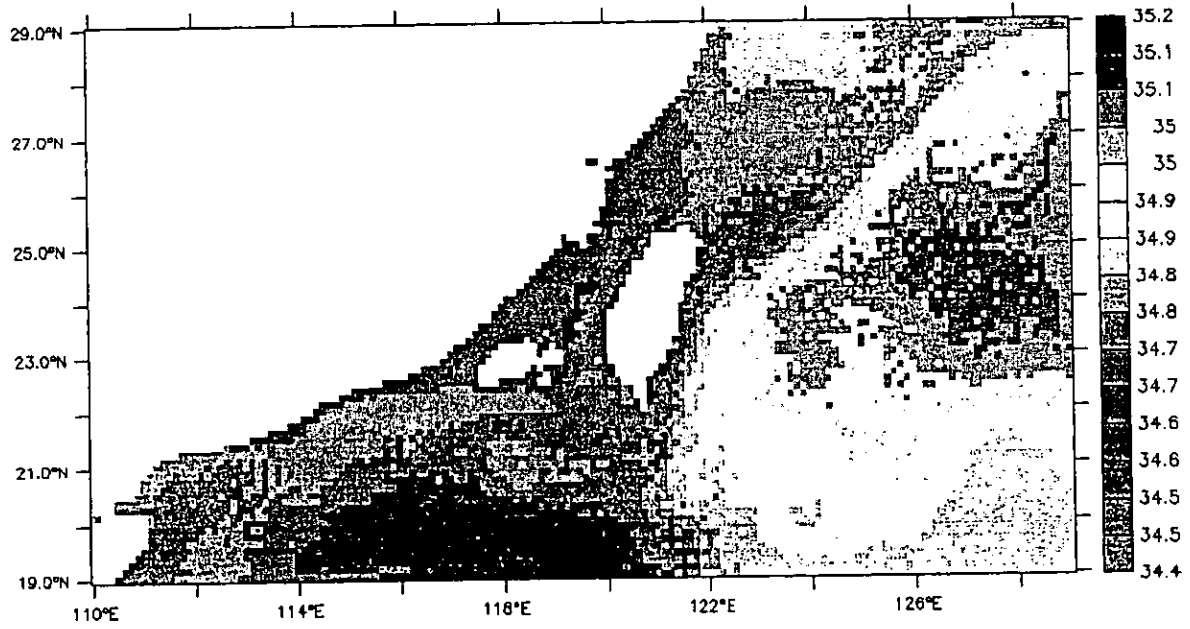


圖 3-6 (a) 模式之春季 30m 的鹽度

Summer 30m

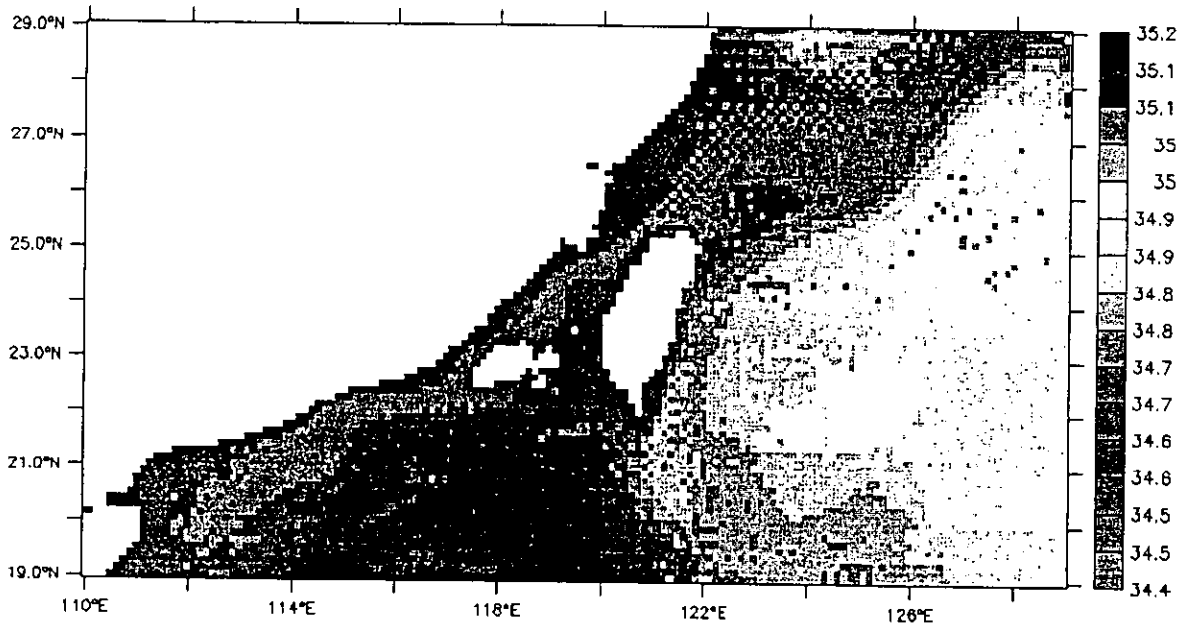


圖 3-6 (b) 模式之夏季 30m 的鹽度

Fall 30m

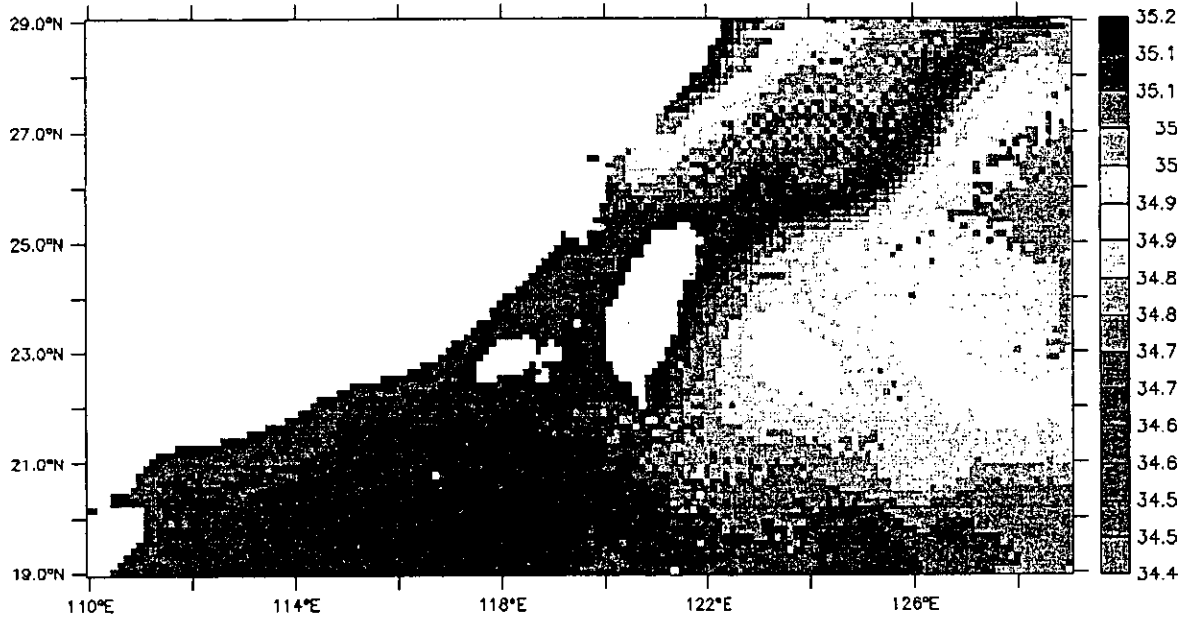


圖 3-6 (c) 模式之秋季 30m 的鹽度

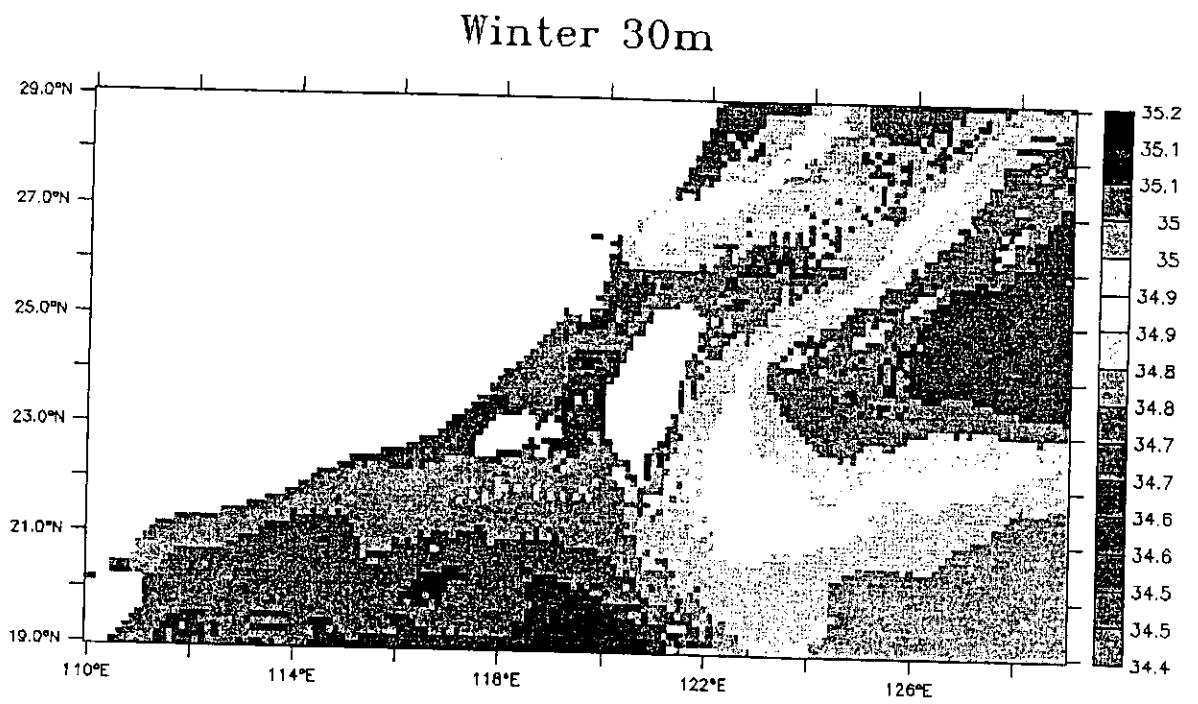
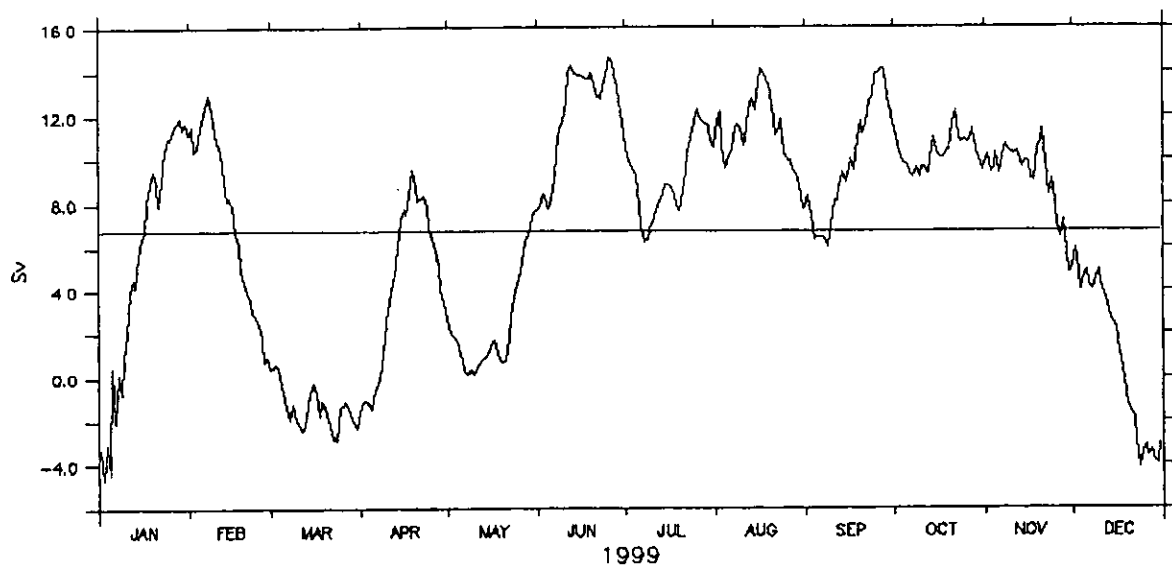
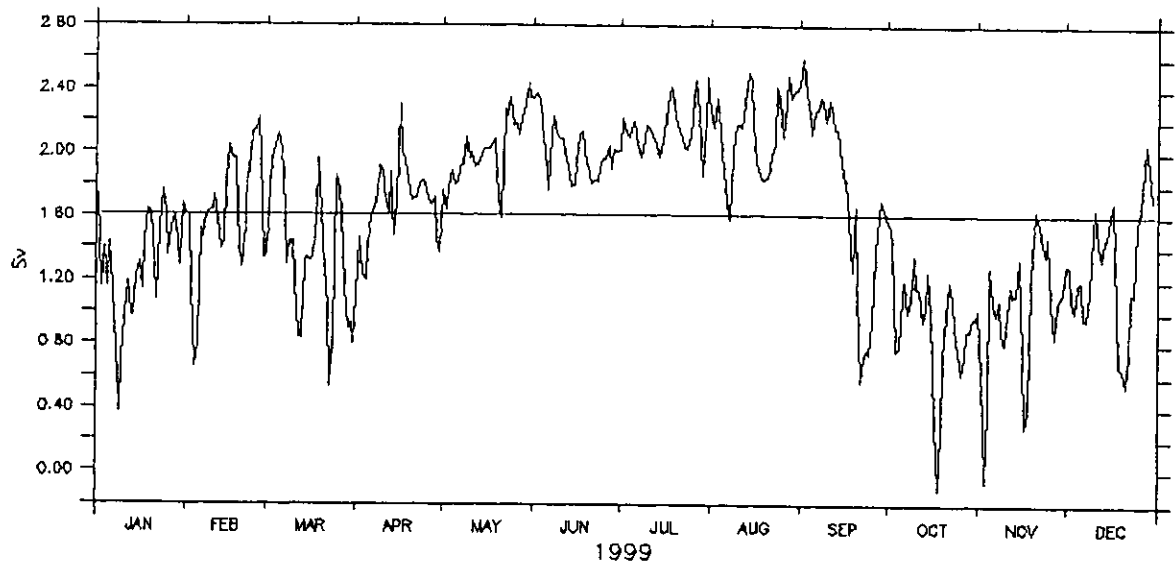


圖 3-6 (d) 模式之冬季 30m 的鹽度



Transport on ETC

圖 4-1 東臺灣通道傳輸量之時間序列



Transport on Taiwan Strait

圖 4-2 臺灣海峽傳輸量之時間序列