

應用 ROMS 模擬台灣東南海域之初探

陳孟宏¹ 范揚洺² 李汴軍³ 高家俊⁴

¹ 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生

² 國立成功大學水利及海洋工程所博士後研究員

³ 華梵大學環境與防災設計學系副教授

⁴ 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心主任

摘要

台灣附近海域的海流極為複雜，如台灣東部海域的北太平洋環流-黑潮。雖然前人對黑潮的研究已有相當程度的貢獻，但黑潮特性仍有探討的空間，故本研究目的是應用海洋數值模式模擬台灣東南海域之洋流特性。由於台灣東南海域地形水深變化幅度大，本研究選用 ROMS (Regional Ocean Modeling System) 模式模擬洋流，因為 ROMS 採用的 S 座標系統的分層設定對地形變化幅度大之區域能有較佳的描述。本研究模擬台灣海域時，邊界上之溫鹽值會出現極端值，導致模式計算過程發生不穩定現象且海流值異常。此問題在設定海棉層加強邊界混合後已獲得改善，但因邊界加強混合後，使得海流流至邊界時流不出去。此現象不符合實際狀況，故本研究調整邊界之演算法企圖改善此不合理現象，進而得到最佳邊界演算法之組合。由 ROMS 的 S 座標系統對表層做較高密度之分層，能詳細模擬黑潮在垂直方向上之流速特性，故本研究後續研究工作擬模擬不同之分層設定，探討分層參數之最佳設定，並將模擬結果與實際資料做比對，以驗證模式結果之正確性。

關鍵詞：ROMS、黑潮、S 座標系統、邊界數值方法、海棉層

Study on the Southeast waters of Taiwan by applying ROMS Model

Meng Hung Chen* Yang Ming Fan Beng Chun Lee Chia Chuen Kao

*Graduate student, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

ABSTRACT

The ocean current is really complex around Taiwan waters, for instance, the Kuroshio current. Although previous studies had a considerable degree of contribution on the Kuroshio current, but there are still numbers of unknown characteristics of Kuroshio current need to be researched. The purpose of this study is to simulate the current on the southeast waters of Taiwan by applying ROMS model. As the variational gradient of topography in southeast waters of Taiwan is huge, therefore the S coordinate system was applied along with ROMS (Regional Ocean Modeling System) model on simulating the current. During the process of current simulation, the extreme values of temperature and salinity field occurred on the boundary that unsteabled the simulation result during the process of simulation and varied the current values. The problem was solved by setting the Sponge to strengthen the mixes on the boundary, however it created an unreasonable issue that the current would then be restrained on the boundry. In order to improve the unreasonable phenomenon, different combination of the numerical schemes were used. Finally, the optimal combination of the numerical schemes on the boundary was obtained via simulating test. The next research work is to use ROMS to simulate and discuss on the Kuroshio current in the vertical direction of the flow characteristics.

Keywords: ROMS model; Kuroshio current; S coordinate system; Boundary condition; Sponge

一、前言

海流的研究主要分成兩類，一為收集海流觀測資料並加以整理研究，此方法可了解實際之流場特性，對研究海域之流場特性有很大幫助，但受限於人力及經費之考量，現場量測較難得到空間上全面性的資訊。隨著電腦技術及數值模式之發展，應用海洋數值模式模擬海域之流場成為另一了解海域流場特性之方法，此方法具有空間與時間上的優點，且人力及經費較為節省，但還需佐以實測資料以驗證模式模擬之正確性。

然而數值模式發展精緻化流場時，地形變化對於流場計算結果有顯著之影響，選用網格座標系統隨地形變化之模式，對於模擬地形變化大之區域有相當之幫助，可深度探討流場受到地形的影響。Ezer(2002)針對POM與ROMS的不同演算法在數值計算上的誤差與模式計算的效率進行比較，ROMS使用的數值方法可減少計算上的誤差，及使用較大數值積分時步長以增加計算之效率。ROMS模式中使用新的水平壓力梯度演算 Shchepectkin(2003)，相較於 POM 模式所使用的水平壓力梯度演算法，可以有效減少模式計算誤差的累積。由於台灣東南海域地形水深變化幅度大，本研究選用 ROMS(Regional Ocean Modeling System)模式模擬洋流，因為 ROMS 採用的 S 座標系統的分層設定可減少模式計算誤差之累積，且分層可對不同區域加密，不像 sigma 座標為固定厚度，對地形變化幅度大之區域能有較佳之描述。

以往前人研究黑潮主要著重在水平方向之流速流向，垂直方向上之流速變化較少討論，本研究為了模擬黑潮在垂直方向之流速特性，針對各不同分層設定所模擬之結果，做進一步之討論，並提出建議之分層設定，最後將模擬結果與實測資料做比對，以驗證模式之正確性，並討論黑潮在垂直方向之流速特性。

二、參數值設定

2.1 S 座標系統

數值網格如在地形和側邊界不連續的情形下會造成模式之誤差，而分為數層，網格隨地形變化之座標系統(terrain-following coordinate)為 sigma 座標，而 ROMS 所使用之座標系統為 S 座標系統，最早是由 Song 等(1994)所開發完成，該座標系統可採水深非等比例方式分層，對於計算水深變化大之區域，可以改善不連續數值網格所產生的計算誤差；如注重對表層現象之描述，可藉由設定參數 b 提高表層之解析度。

以下為 S 座標與 sigma 座標之轉換關係：

$$x^* = x, y^* = y, t^* = t \quad (1)$$

$$z = \zeta(1+s) + h_c s + (h-h_c)C(s) \quad -1 < s < 0 \quad (2)$$

$$C(s) = (1-b) \frac{\sinh(\theta \cdot s)}{\sinh(\theta)} + b \frac{\tanh\left[\theta\left(s + \frac{1}{2}\right)\right] - \tanh\left(\frac{1}{2}\theta\right)}{2 \tanh\left(\frac{1}{2}\theta\right)} \quad (3)$$

式中 (θ, b) 為 S 座標之設定參數，其設定值分別介於 $0 < \theta < 20$ 與 $0 < b < 1$ 和之間，當 $\theta = 0$ ，S 座標即可轉換成傳統的 sigma 座標，並且藉由調整參數 b ，可以提高表層網格的解析度。

而任何物理變數 G 在兩座標系統之微分式如下

$$\left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)_z = \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_s \left(\frac{\partial G}{\partial s}\right) \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)_z = \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_s \left(\frac{\partial G}{\partial s}\right) \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial G}{\partial z}\right) = \left(\frac{\partial s}{\partial z}\right) \frac{\partial G}{\partial s} = H_z \frac{\partial G}{\partial s} \quad (6)$$

$$H_z = \frac{\partial G}{\partial s} \quad (7)$$

2.2 邊界條件(OBC)之選擇

在計算邊界上的自由表面、流速、三維流場時，ROMS 模式提供了許多種的邊界條件(open boundary condition)供人選擇，在模擬不同之情況時，可以選擇不同的邊界條件，並從中選擇模擬結果較好的邊界條件，以下列出可供選擇之邊界條件：

2.2.1 夾擠邊界條件(Clamped boundary condition)

Clamped boundary condition 方程式如下：

$$\eta = \eta^{ext} \quad (8)$$

2.2.2 查普曼邊界條件(Chapman boundary condition)
Chapman B.C.是基於重力波傳播之理論，方程式如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sqrt{g(\eta + h_0)} \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

2.2.3 輻射邊界條件(Radiation boundary condition)
Radiation B.C. 是基於傳輸方程式之理論，方程式如下：

$$\frac{\partial f}{\partial t} + c_x \frac{\partial f}{\partial x} = 0 + c_y \frac{\partial f}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

2.2.4 梯度邊界條件(Gradient boundary condition)
Gradient B.C.是基於在邊界上之梯度為 0，方程式如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

2.2.5 Flather 邊界條件(Flather boundary condition)
Flather B.C.是結合了 Sommerfeld 和連續方程式，方程式如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sqrt{gh} \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sqrt{hu} \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (13)$$

水位(Free surface)的計算方式可以選擇以下四種邊界條件：1.Chapman; 2.Clamped; 3.Radiation; 4.Gradient.

二維流速的計算方式可以選擇以下四種邊界條件：1.Clamped; 2.Gradient; 3.Radiation; 4.Flather.

三維流速的計算方式可以選擇以下三種邊界條件：1.Clamped; 2.Gradient; 3.Radiation.

三、參數設定對模式模擬結果之影響

本研究所使用之初始溫、鹽場及邊界之洋流資料來自 WOA(World Ocean Atlas)；表面風場及氣壓等數據則來自 COADS (The Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)，其數據皆為多年之月平均數據，以這些資料作為本研究之輸入數據，計算台灣海域之流場流況。

3.1 ROMS 模式之初步模擬

本研究初步模擬台灣海域之海流時，在邊界處常有異常之溫度與鹽度出現，如下圖 1 所示之溫度

場。

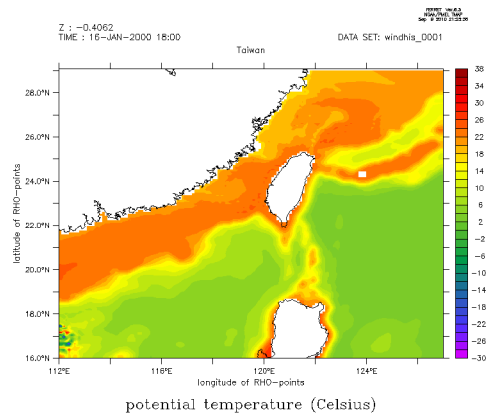


圖 1 案例一溫度場(模擬 15 天)

此案例在西南邊界處，溫度出現異常之極端值，而海流之流速、流向又與溫、鹽有密切之關係，從圖 2 中可看到西南邊界處也出現異常之海流，因溫、鹽之計算錯誤而產生之錯誤海流也會慢慢影響至整個流場，故初步需解決溫、鹽之極端值問題。

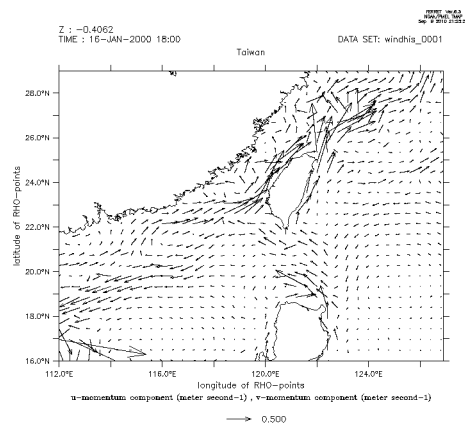


圖 2 案例一流場(模擬 15 天)

3.2 海綿層設定

邊界異常之溫、鹽極端值，初步研判是邊界所給之溫、鹽值在計算至內部區域時出錯，故在 ROMS 模擬計算時，在邊界設置一圈海綿層(Sponge)，邊界所給之溫、鹽、流在往內部傳導時，在此海綿層中快速混合，藉此改善邊界上出現極端值之現象，減少因混合不均所產生之誤差，增加模式之穩定性。在增設此海綿層後，模式邊界出現極端值之現象已有所改善，以下為較為穩定之案例，其海綿層厚度設定為 50KM，從溫度場(圖 3)可以看到此案例

之溫度場較為正常，邊界上並沒有出現極端值，流場圖(圖 4)中也可看到流經台灣東岸之黑潮成型。

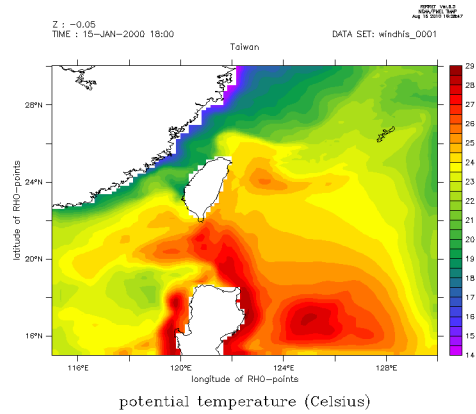


圖 3 案例二溫度場(模擬 15 天)

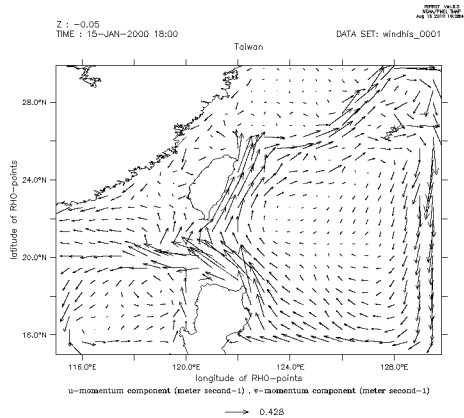


圖 4 案例二流場(模擬 15 天)

在案例二中，海棉層之厚度為 50km，而本研究進一步討論海綿層厚度之影響，模擬海綿層厚度分別為 10KM(案例三)及 200KM(案例四)作比較。圖 5~圖 7 分別為海綿層厚度 10KM、50KM、200KM 情況下模擬 60 天之海流流向，顯示海流大小及流向近似，僅有小部份區域不同、即使 3 個案例模擬至一年，其結果還是幾乎相同，上述 3 個案例中，雖然海綿層之厚度相差甚大，但計算結果之差異幾乎可以忽略，因此設定海綿層可以改善邊界之溫鹽混合之問題，但海綿層厚度的大小並不會影響計算結果的誤差。

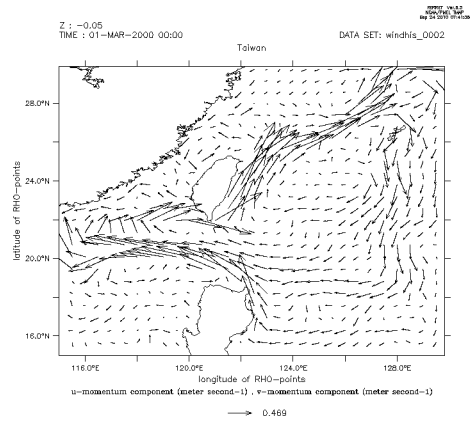


圖 5 案例三 60 天流場(海綿層 10KM)

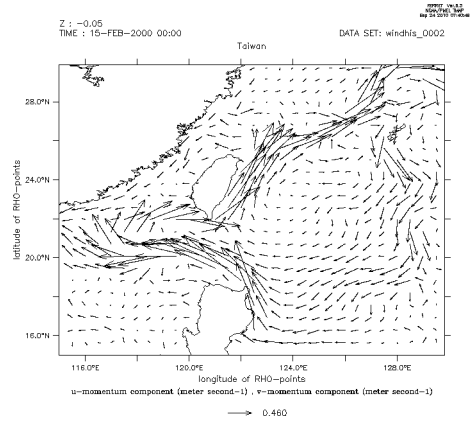


圖 6 案例二 60 天流場(海綿層 50KM)

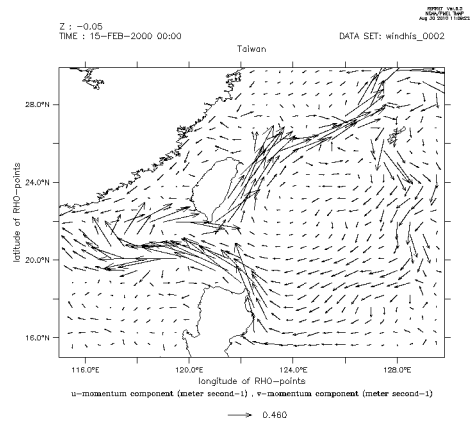


圖 7 案例四 60 天流場(海綿層 200KM)

圖 8~圖 11 是案例二模擬至 30 天與 60 天，圖 8 與圖 10 顯示案例二之溫度場並無極端值出現。圖 9 與圖 11 的流場圖亦可明顯看出之黑潮流向，黑潮流經呂宋島東方時，會朝西北方進入呂宋海峽，黑潮主流常會在這繞一個小圈，這被稱為「黑潮套流」

(Wu, 2005)，至此可看到黑潮已經成型，且流速、流向與實際情況大致相符；

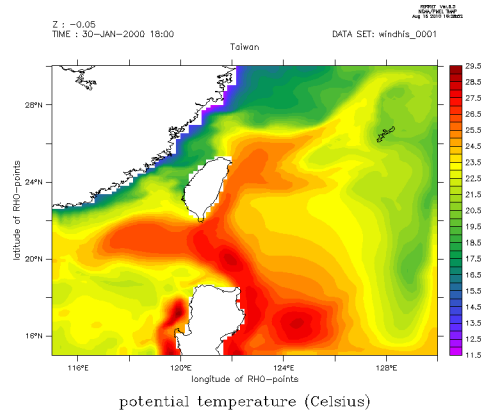


圖 8 案例二溫度場(模擬 30 天)

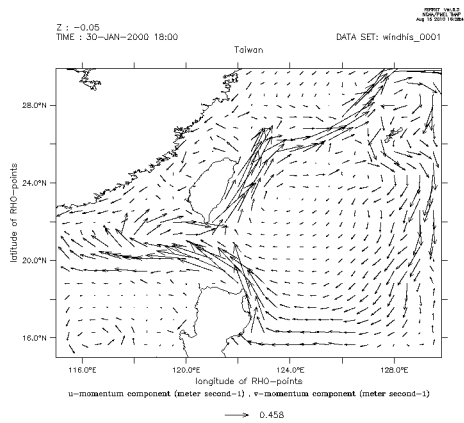


圖 9 案例二流場(模擬 30 天)

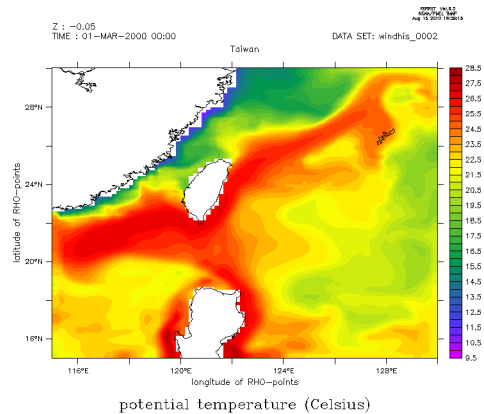


圖 10 案例二溫度場(模擬 60 天)

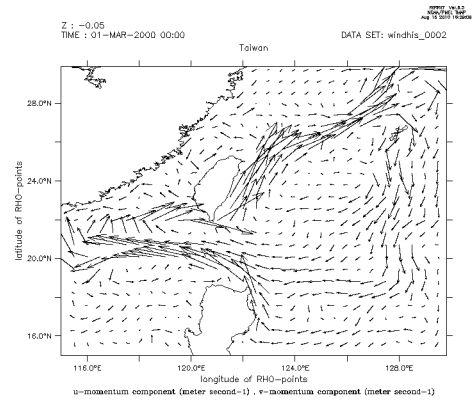


圖 11 案例二流場(模擬 60 天)

本研究利用海棉層的設定解決了邊界之溫、鹽極端值，但衍伸出另一個問題，由流場圖的東邊界可明顯看到海流在流至邊界時流不出邊界，而是沿著東邊界往回流，進而影響之後之模擬結果，此現象不符合實際物理現象，推測此問題是海棉層所造成之另一影響，因為在海棉層中加強了溫鹽之混合，海流流至海棉層時受到混合效果過強之影響，所以海流在邊界反而流不出去。

3.3 不同邊界條件的設定

本研究測試不同邊界條件計算之數值方法，探討海流流不出去之現象是否有所改善。

將三維流速之邊界條件設為 Radiation，看海流流不出去之情形是否能改善，水位邊界條件為 Chapman，二維流速邊界條件為 Nuding，如圖 12 之案例五。但在邊界的海流依然流不出去。

另一案例六設定條件為 2D-Radiation，3D-Nuding，FS-Chapman，如圖 13 之模擬結果。此案例不但海流流不出邊界，連海流流向都與實際情況相差甚遠，本研究測試不同邊界條件下計算的結果，模擬之結果中比較穩定的為案例二之設定，其邊界條件如下：2D-Flather，3D-Clamper，FS-Chapman，因其模擬出之溫、鹽值較穩定，與實測資料也較接近、海流流向及流速也大致相符，故此邊界條件為較為穩定之組合。後續將嘗試測試海綿層是否有影響混合強度之參數，將混合強度調弱，期望調整至邊界之溫鹽能順利混合，不會出現極端值之現象，而海流又能順利流出邊界，之後即可模擬台灣周邊海域，並討論 S 座標系統對模擬黑潮垂直流速特性之影響。

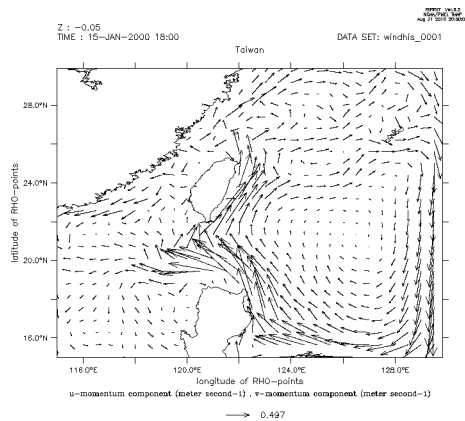


圖 12 案例五流場(模擬 15 天)

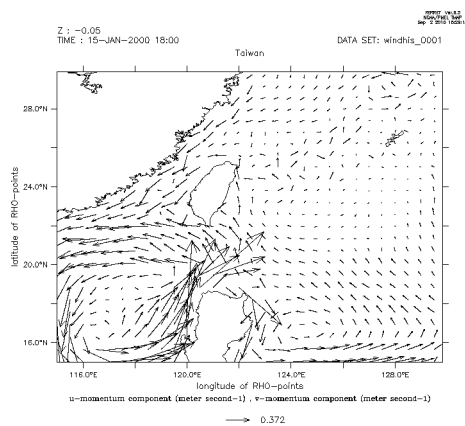


圖 13 案例六流場(模擬 15 天)

四、結論與建議

ROMS 在邊界設定一圈海綿層(Sponge)，邊界所給之溫、鹽、流在往內部傳導時，在此海綿層中快速混合，藉此可改善邊界上出現極端值之現象，減少因混合不均所產生之誤差，增加模式之穩定性。經本研究模擬結果證明增設海綿層後，模式邊界出現極端值之現象已有所改善。

本研究模擬海流過程中，發現另存在不合理之現象，從流場圖顯示海流在流至各邊界時往往流不出去，海流留不出去而延著邊界往回流，進而影響之後之模擬結果，這可能是海棉層所造成之另一影響，為了解決此不合理現象，測試不同邊界條件計算之數值方法，數值分析結果顯示 2D-Flather、3D-Clamper 及 FS-Chapman 的組合可模擬較穩定之溫、鹽值，且海流流向及流速也符合物理現象。

由於 ROMS 採用的 S 座標系統的分層設定對地

形變化幅度大之區域能有較佳的描述。本研究探討的黑潮前人由實測資料觀察到黑潮的表層流速約為 100m/sec，寬度約 100 km，深度約影響至水下 500 m，隨深度遞減，流速會慢慢遞減。採用 S 座標的 ROMS 對表層做較高密度之分層，應可詳細模擬黑潮在垂直方向上之流速特性。

謝誌

本論文係國科會專題研究計畫「海面波浪對颱風暴潮推算影響之研究」(編號 NSC96-2221-E-006-203-MY3)之研究成果，承蒙國科會經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. Ezer, T., H. G. Arango and Shchepetkin, A. F. (2002) "Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects," *Ocean Modelling*, 4, pp. 249-267.
2. Shchepetkin, A. F. and McWilliams, J. C. (2003) "A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with nonaligned vertical coordinate," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. C3,), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.
3. Song, Y. and D. B. Haidvogel, (1994) "A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system," *J. Comp. Phys.*, 115 (1), pp. 228-244.
4. Wu, C. -R., Tang, T. Y., and Lin, S. F. (2005) "Intra-seasonal variation in the velocity field of the northeastern South China Sea," *Continental Shelf Research*, 25, pp. 2075-2083.