

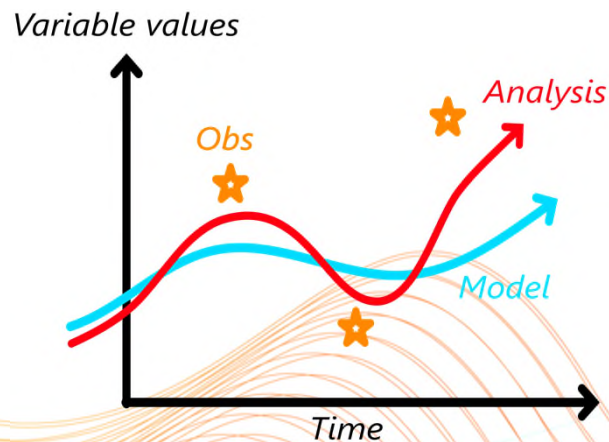
# 海洋模式同化衛星水位高對臺灣東部黑潮流場模擬之影響

台灣海洋科技研究中心陳世明 中華民國114年9月4日

- 資料同化概念
- 簡介4-dimensional variational method (4D-Var)
- 模式設定
- 資料同化設定
- 結果：與錨碇比較
- ROMS 4D-Var計算量
- 結論

# 資料同化概念

- 目的：利用觀測資料對模式進行調整，使模擬結果更接近真實流場。
- 專門術語：背景場 ( background )、分析場 ( analysis )、再分析場 ( reanalysis )
  - 背景場：未同化模式模擬結果。
  - 分析場：經過資料同化的模擬結果，通常是指資料同化的預報結果。
  - 再分析場：經過資料同化的過去歷史模擬結果，會以一致的資料來源與演算法來進行資料同化。
- 兩個主流方法：Variational methods ( 變分法 )、Kalman filter family ( 卡爾曼濾波家族 )
- ROMS 使用 4-dimensional variational method (4D-Var)。



# 簡介4-dimensional variational method (4D-Var)

- Variational (變分法) 通過使模式預測與觀測資料的差異最小化，來找到系統的最佳初始條件，再以最佳的初始條件來驅動模式。
- 差異以目標函數 (cost function) 來定義：

$$J(\mathbf{z}) = \underbrace{\frac{1}{2}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_b)^T \mathbf{D}^{-1}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_b)}_{\text{與背景場的差異}} + \underbrace{\frac{1}{2}(\mathbf{y} - H(\mathbf{z}))^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - H(\mathbf{z}))}_{\text{與觀測資料的差異}}$$

$\mathbf{z}$	控制向量 (流速、溫度、鹽度、水位高)
$\mathbf{z}_b$	未同化模式 (背景場) 的控制向量
$\mathbf{y}$	觀測資料向量
$\mathbf{z} - \mathbf{z}_b$	與未同化模式的差異
$\mathbf{y} - H(\mathbf{z})$	與觀測資料的差異

# 簡介4-dimensional variational method (4D-Var)

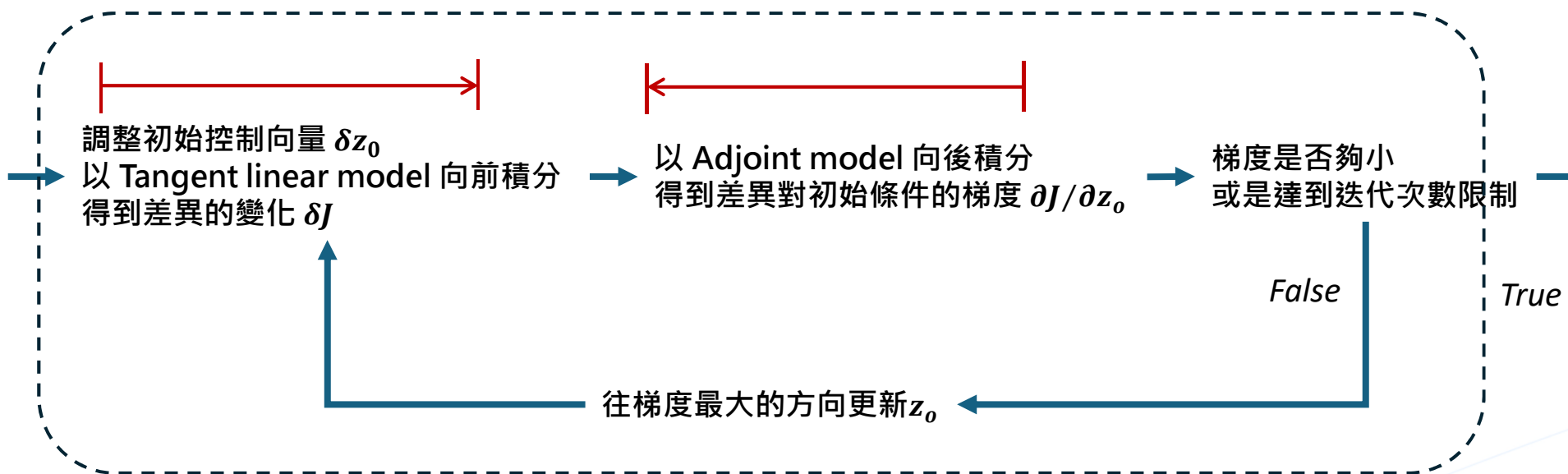
- 4D-Var：在一段時間窗 (assimilation window) 內，找出「在初始時間」的最佳控制向量使目標函數最小，表示模擬結果同時接近背景場與觀測。

實務上會設定迭代次數限制 (例如15次)

Assimilation window (例如 3 天)



非線性模式向前積分  
得到模擬與觀測的差異  $J(z_0)$



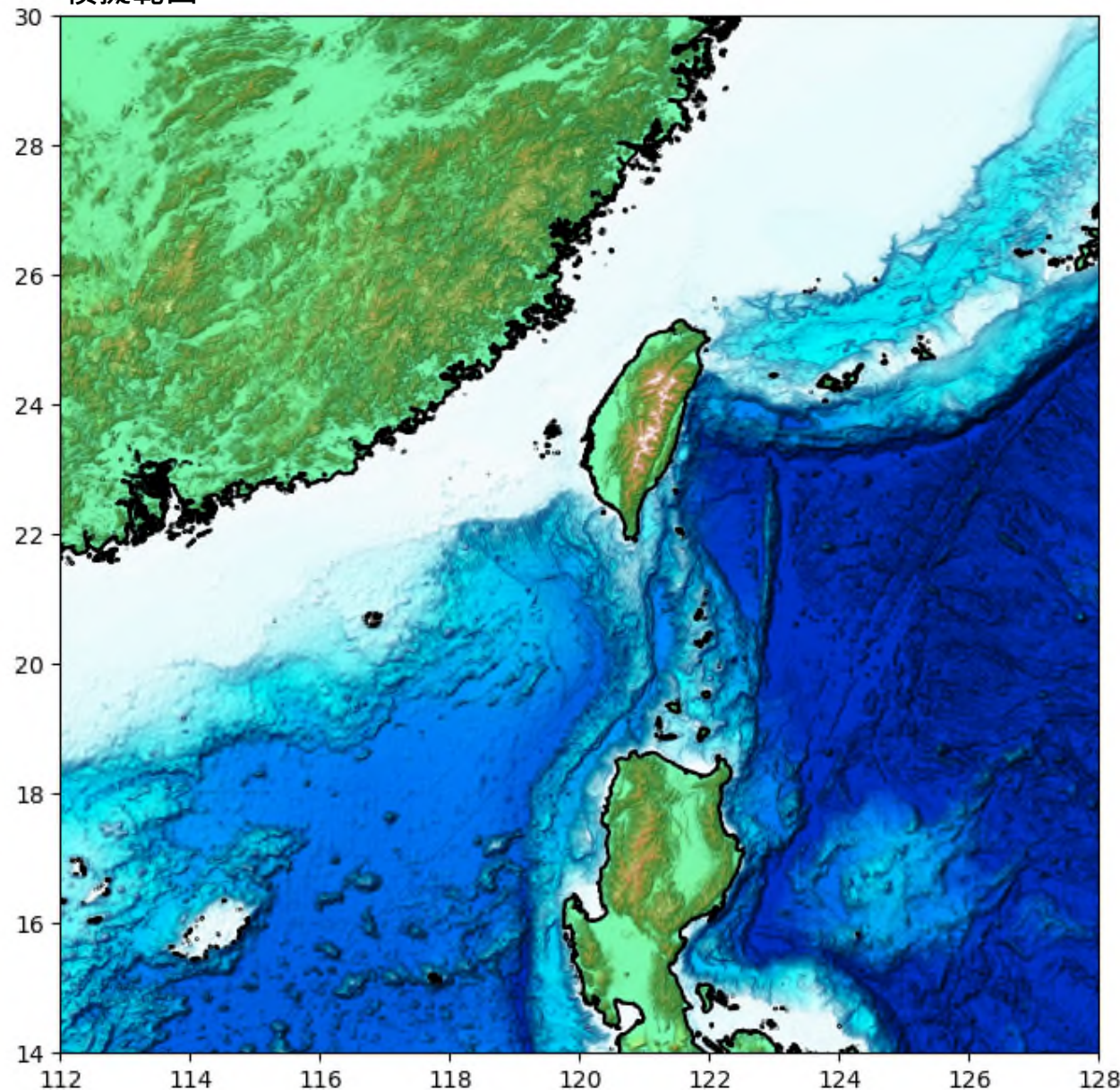
縮小差異 (目標函數) 的過程需反覆迭代，因此相比原本的非線性模式，4D-Var的計算量非常大。

此時的  $z_0$  是初始時間的最佳化控制向量  
以非線性模式配合  $z_0$  向前積分得到分析場

# 模式設定

模式版本	ROMS v4.0 revision 1151
海底地形	ETOPO 2022
水面大氣邊界條件	ERA5 1/4°
開放邊界條件	HYCOM GOFS 3.0 Global Analysis 1/12°
潮汐邊界條件	TPXO 8.0 13個分潮
網格數量	320 X 320 X 40 (1/20° )
時間步階	60 秒
Spin-up	2018/7/1 – 2018/8/20

模擬範圍



# 資料同化設定

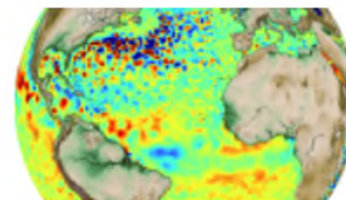
觀測資料來源 Copernicus Marine Service  
Global Ocean Gridded L4 SSH  
(daily)

資料同化演算法 RBL4DVAR

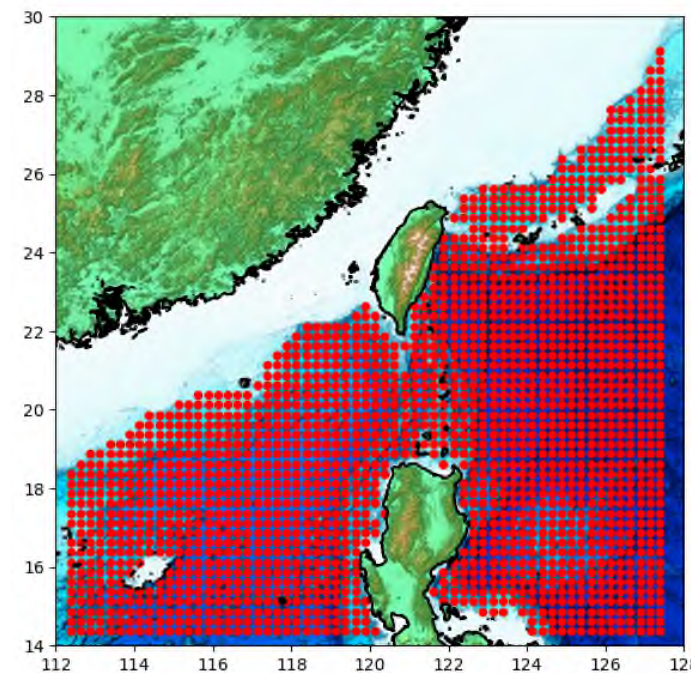
迭代次數限制 15

特殊設定 只在水深超過500公尺的地方同化水位  
觀測資料

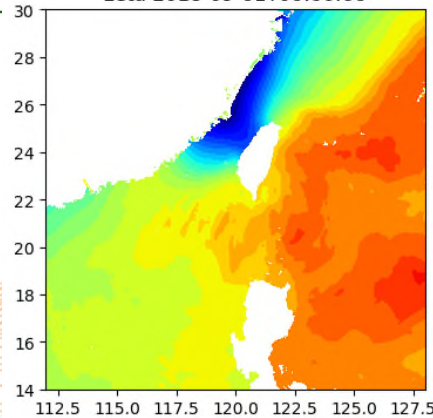
觀測資料處理 非同化模擬的年平均水位  
+  
TPXO 8.0 潮位  
+  
衛星水位產品  
sea level anomaly (SLA)



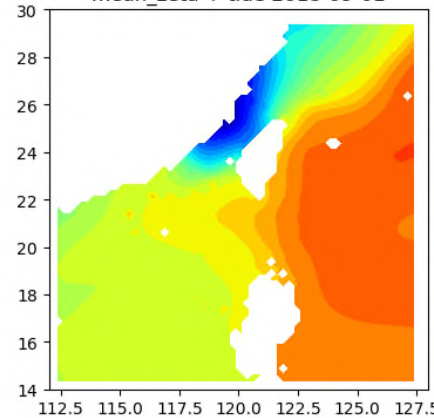
Global Ocean Gridded L 4 Sea  
Surface Heights And Derived...  
SEALEVEL\_GLO\_PHY\_L4\_MY\_008\_047  
Satellite (L4)  
Global, 0.25° x 0.25°  
1 Jan 1993 to 31 Dec 2020, daily, monthly  
Sea surface height, velocity



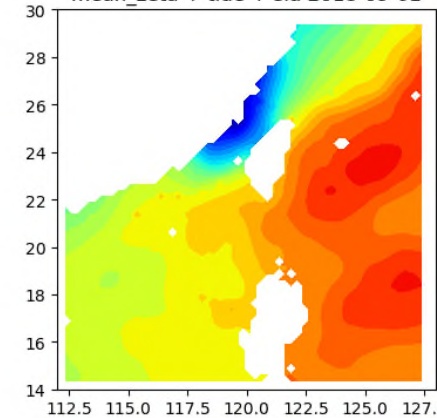
非同化模擬  
zeta 2018-09-01T00:00:00



年平均水位+潮位  
mean\_zeta + tide 2018-09-01



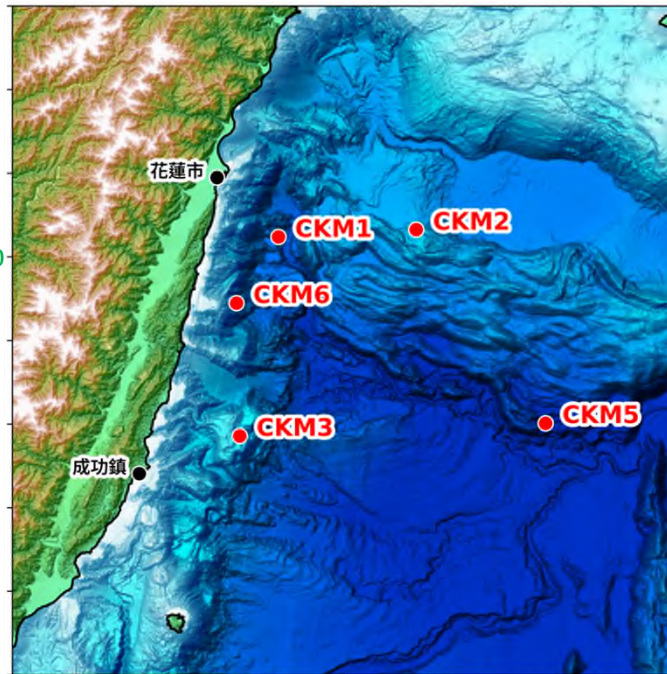
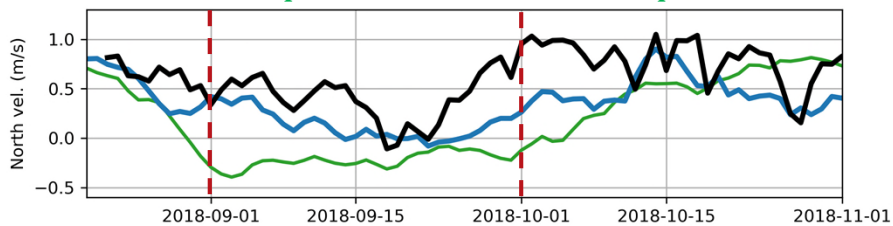
年平均水位+潮位+SLA  
mean\_zeta + tide + sla 2018-09-01



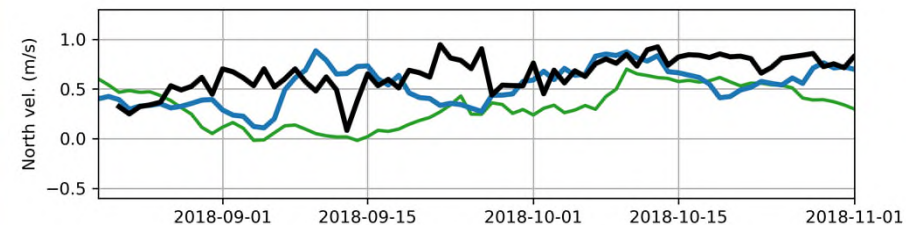
# 結果：與錨碇100公尺深北向流速比較

## Correlation coefficient

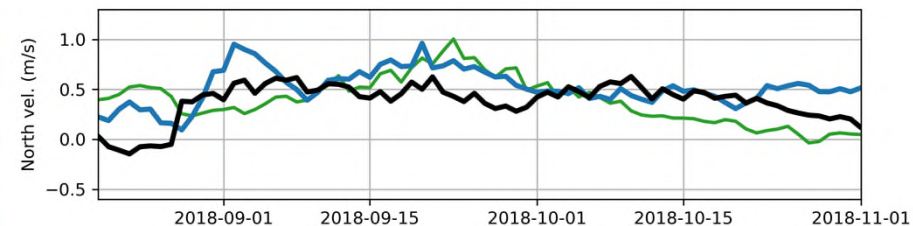
CKM1: 0.42  $p = 4 \times 10^{-4}$  → 0.66  $p = 6 \times 10^{-10}$



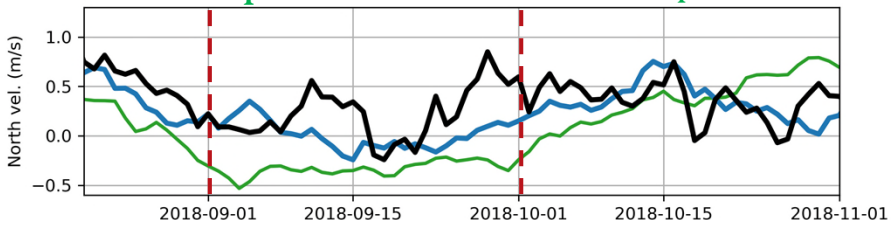
CKM2: 0.48  $p = 3 \times 10^{-5}$  → 0.25  $p = 0.036$



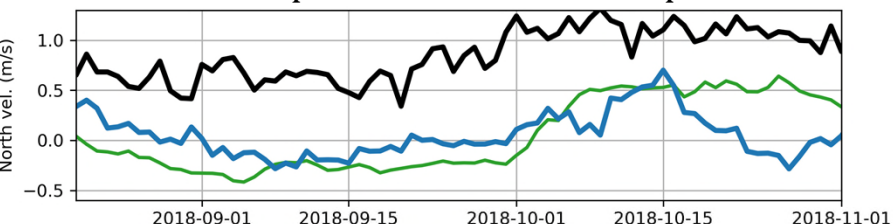
CKM5: -0.43  $p = 2 \times 10^{-4}$  → -0.47  $p = 5 \times 10^{-5}$



CKM6: 0.43  $p = 2 \times 10^{-4}$  → 0.66  $p = 5 \times 10^{-10}$



CKM3: 0.51  $p = 9 \times 10^{-6}$  → 0.52  $p = 6 \times 10^{-6}$



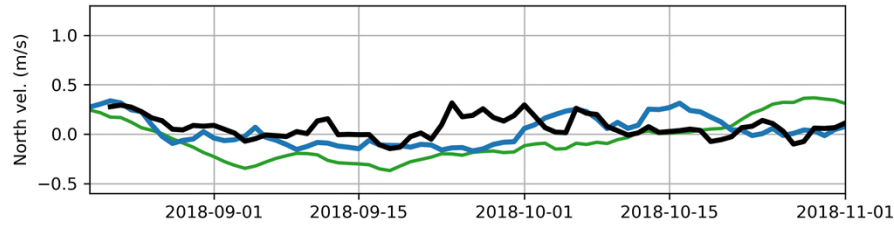
- 使用 Gridded L4 衛星水位高產品同化的結果並無明顯改善模擬結果。
- 因為實際上導入的觀測資料只有 SLA，影響可能不大。
- 推測如果使用 Along track 產品會有較大的改善。

■ 錨碇    ■ 同化    ■ 未同化

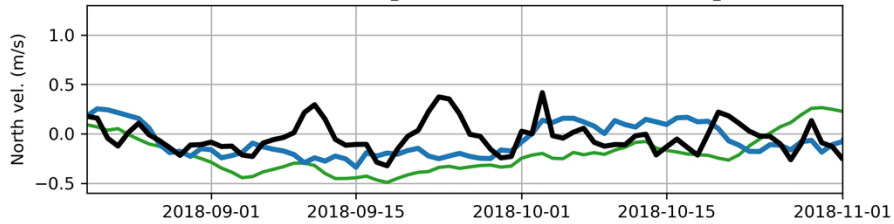
# 結果：與錨碇300公尺深北向流速比較

## Correlation coefficient

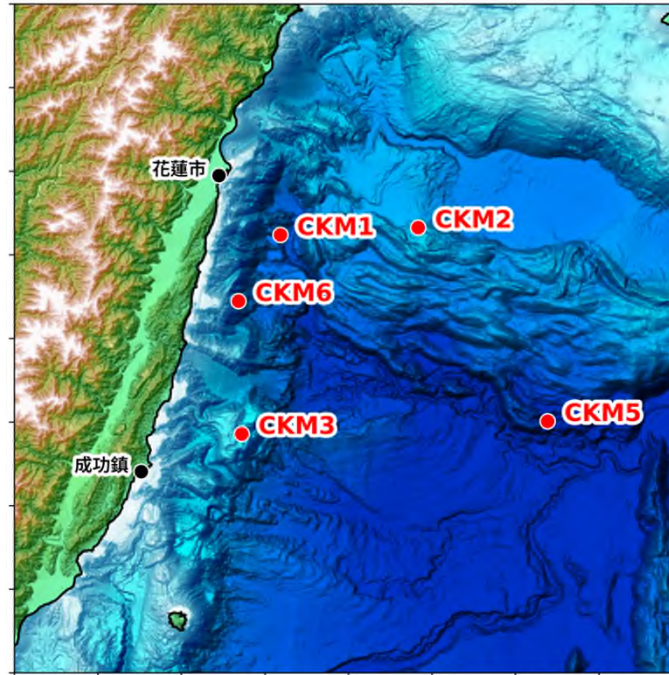
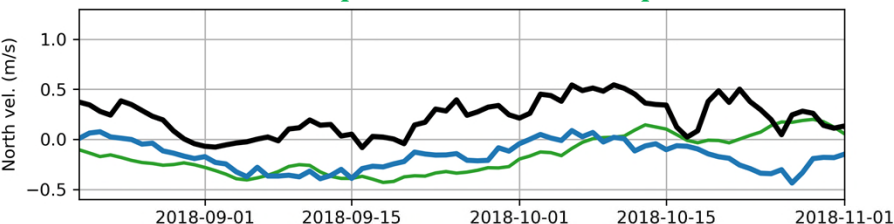
CKM1: 0.09  $p = 0.46$   $\rightarrow$  0.087  $p = 0.48$



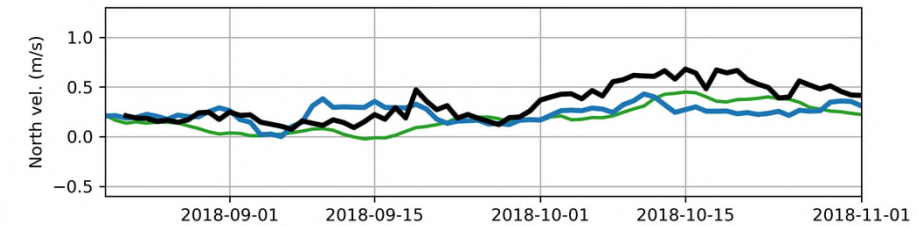
CKM6: 0.14  $p = 0.25$   $\rightarrow$  0.077  $p = 0.53$



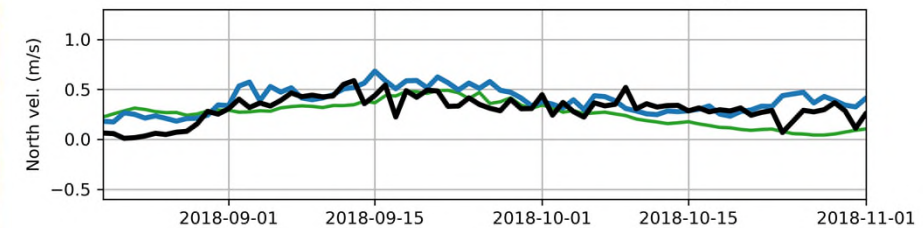
CKM3: 0.039  $p = 0.75$   $\rightarrow$  0.42  $p = 3 \times 10^{-4}$



CKM2: 0.083  $p = 0.5$   $\rightarrow$  0.152  $p = 0.21$



CKM5: 0.071  $p = 0.56$   $\rightarrow$  -0.11  $p = 0.39$

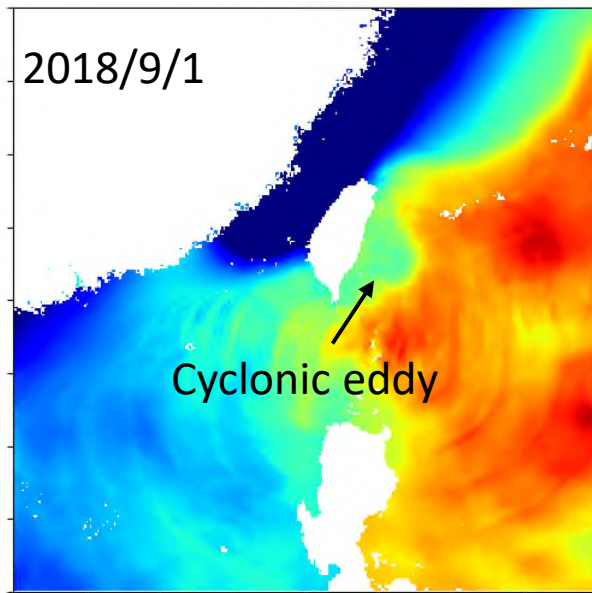


- 使用 Gridded L4 衛星水位高產品同化的結果並無明顯改善模擬結果。
- 因為實際上導入的觀測資料只有 SLA，影響可能不大。
- 推測如果使用 Along track 產品會有較大的改善。

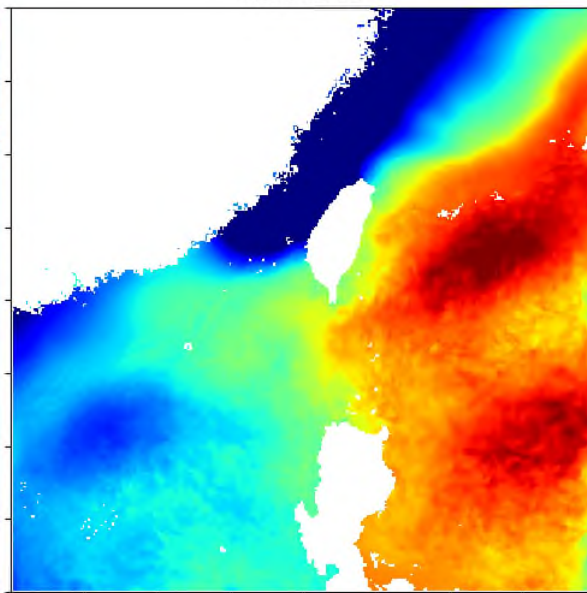
■ 錨碇    ■ 同化    ■ 未同化

原本未同化模式出現在臺灣東部的 cyclonic eddy，在衛星觀測資料中不存在，因此資料同化模擬就會修正掉這個 cyclonic eddy 的存在。

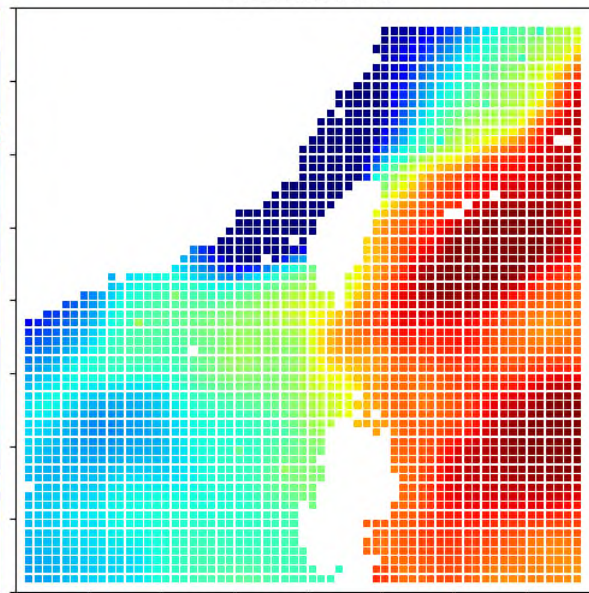
未同化模式 ROMS NODA  
2018-09-01



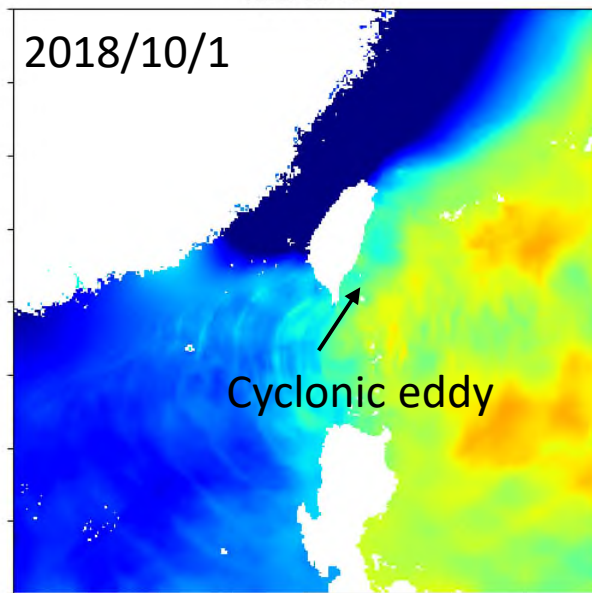
同化模式 ROMS DA  
2018-09-01



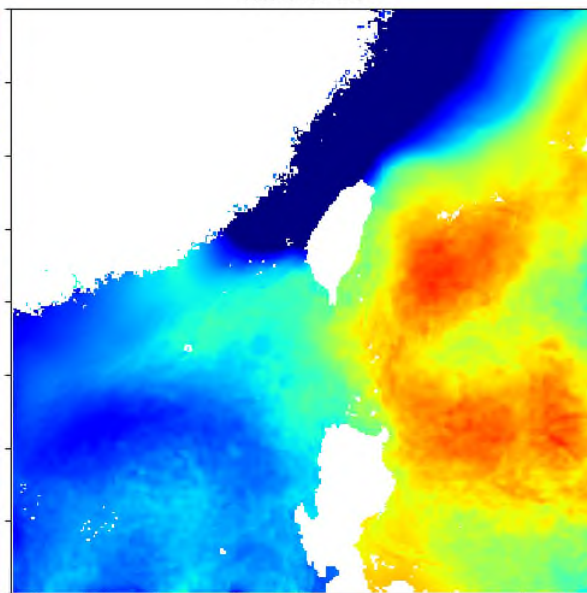
觀測資料 Observation SSH



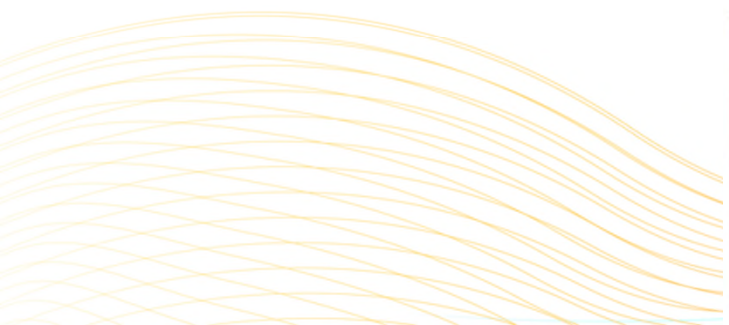
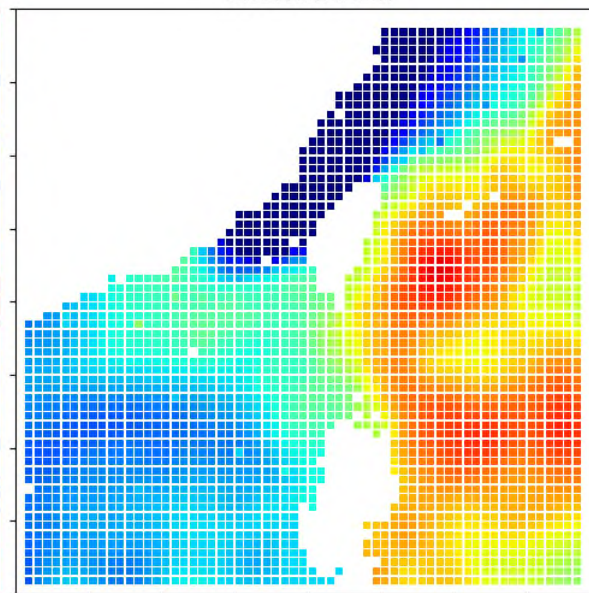
ROMS NODA  
2018-10-01



ROMS DA  
2018-10-01



Observation SSH



# ROMS 4D-Var 計算量

在國網中心創進一號使用 256 個核心進行計算的耗時

模式	網格	模擬 3 天耗時
未同化模式	320x320x40	5 分鐘
同化模式	320x320x40	4.5 小時

原本未同化模式 ( nonlinear model ) 的計算耗時只佔整個資料同化模擬的 5% , 代表資料同化需要的計算量龐大。

	計算耗時佔比
Nonlinear model	5%
Tangent linear model	43%
Adjoint model	49%

- 同化衛星水位高會調整模式的水位高，使其接近於衛星水位高，消除掉一些觀測中未出現的渦旋。
- 使用 Gridded L4 衛星水位高產品同化的結果並無明顯改善模擬結果。
- 將測試 Along track 產品 (例如 SWOT)。
- 資料同化模擬計算需求龐大，難以反覆測試。