



臺灣海域三維海流系集同化系統 建置

王啓竑、尤皓正、張應龍、于嘉順、朱啓豪

西灣海環科技股份有限公司
美國維吉尼亞威廉與瑪麗學院海洋科學研究所
交通部中央氣象署海象氣候組



目錄

CONTENTS

01

▶ 模式介紹

ESMF/PDAF

SCHISM

CWA-OCM

三維海流系集同化模式

02

▶ 三維海流系集 同化模式

2015年蘇迪勒颱風案例

03

▶ 案例分析

不同觀測資料同化效果

Full Cycle與Partial Cycle初始場測試分析

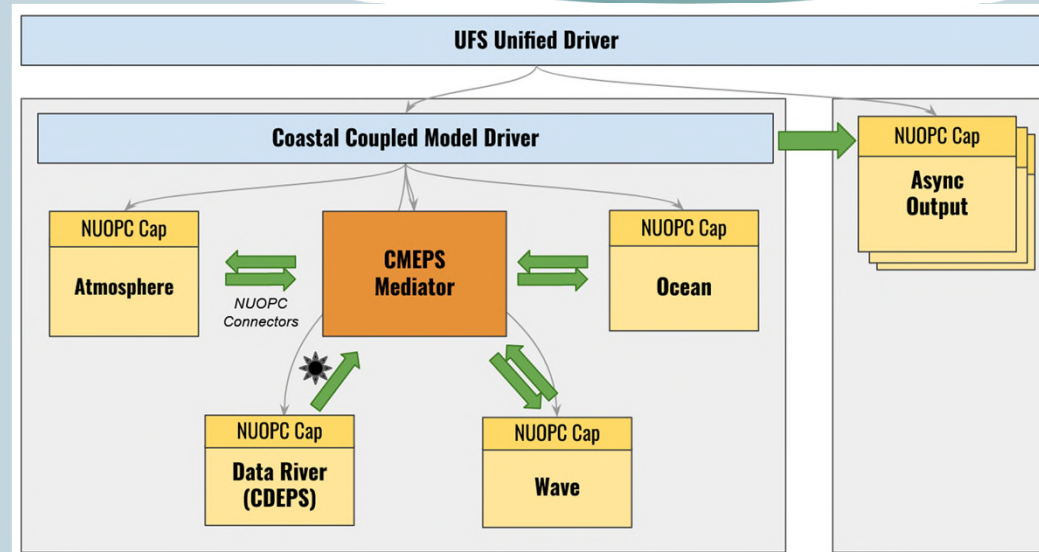
應用NCEP觀測資料同化分析

現行國際間作業預報模式發展趨勢

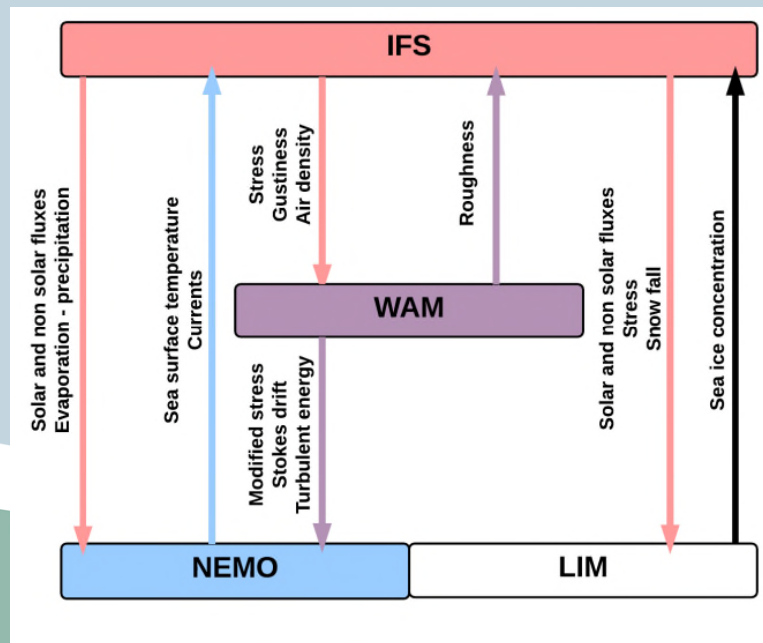


地球模式耦合系統的發展為主流

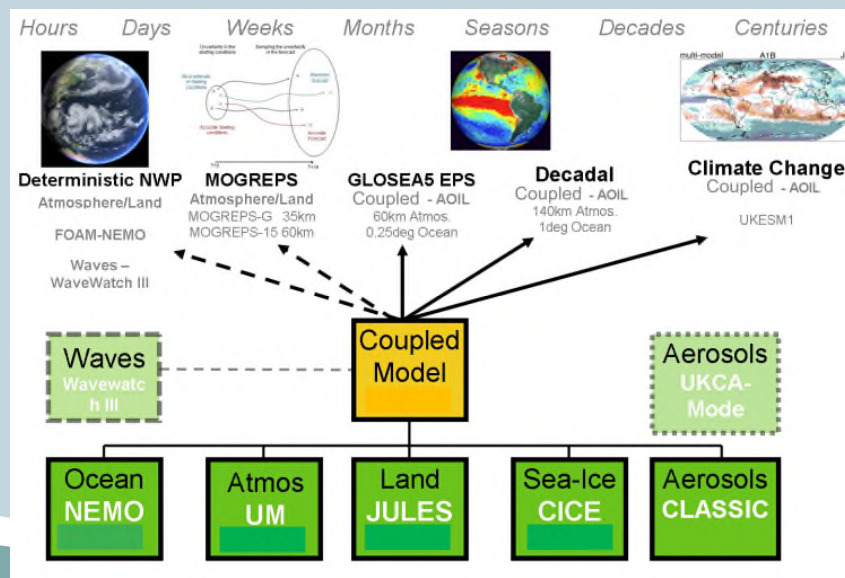
- 不同模式可直接互相溝通
 - 單向或雙向
- 透過耦合器或系統架構達成
 - ESMF, OASIS3-MCT



ECMWF



UK - MetOffice

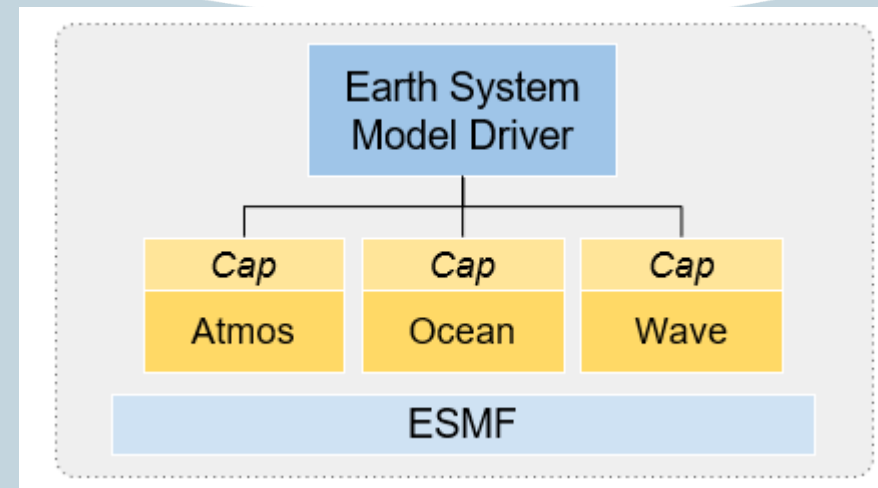
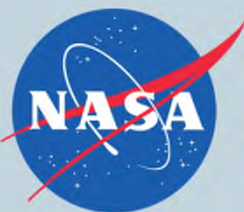




ESMF/PDAF 基本介紹

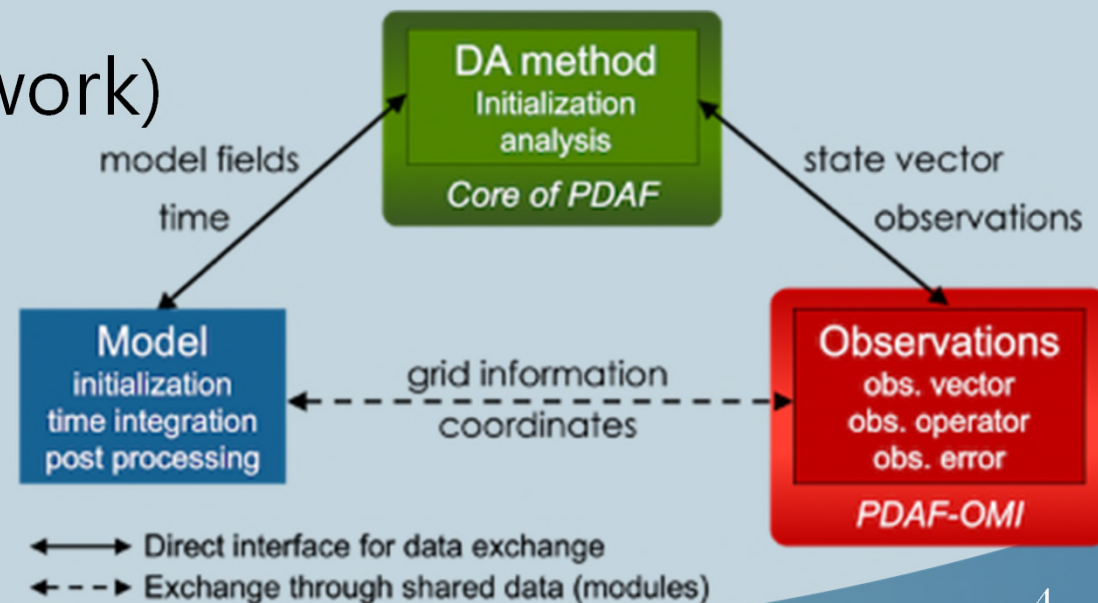
• ESMF (Earth System Modeling Framework)

- 耦合不同地球模式之高性能軟體架構
- 簡化模式耦合步驟並控制其耦合計算方式
- 控制模式間之資料交換



• PDAF (Parallel Data Assimilation Framework)

- 依據模式狀態與觀測資料提供模式最佳分析場
- 採用平行架構計算並提供多種不同同化方法

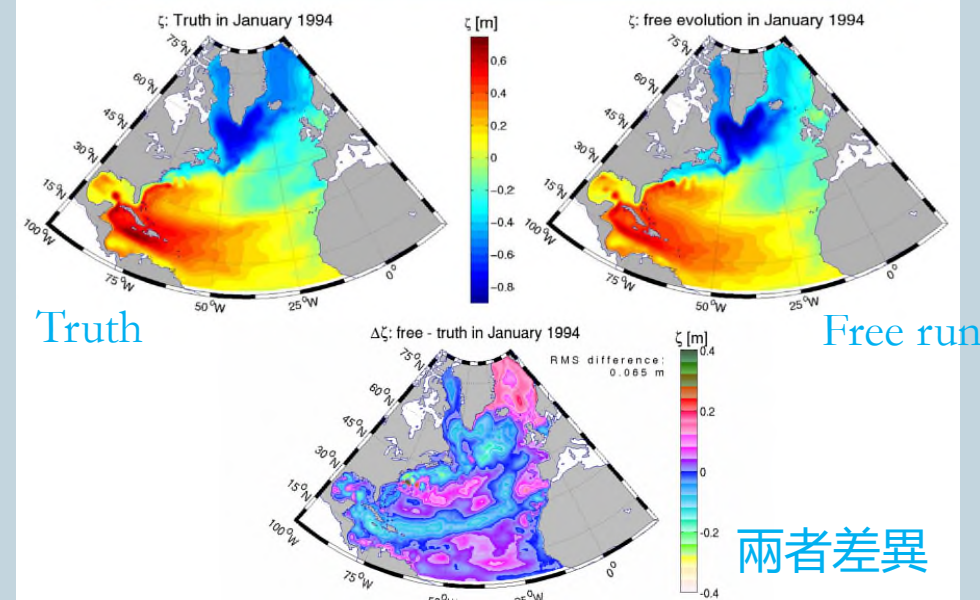


SCHISM系集同化功能

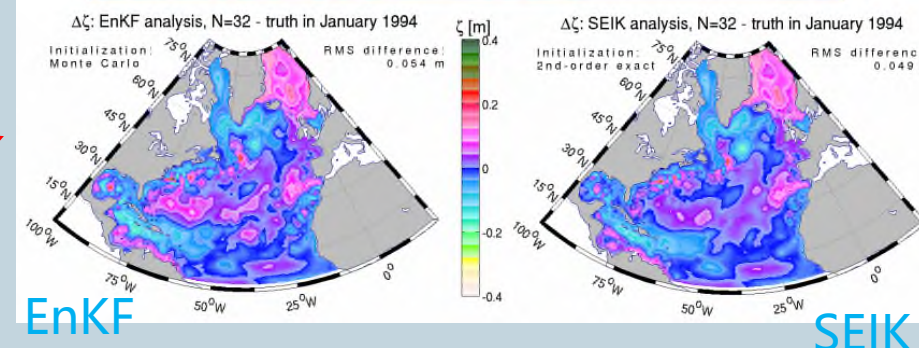


- 透過耦合已完成開發之同化模組達成
 - 保有原有模式程式碼之簡潔與彈性
 - 兩者新功能的開發並不互相影響
- 可選擇之同化耦合模組
 - 大部分皆以濾波法為基礎
 - DART(美國NCAR)、PDAF(德國AWI)、JEDI(美國NCEP、NOAA等)、OpenDA(荷蘭Delft)、SANGOMA(歐盟計畫)、EMPIRE(英國雷丁大學)等
- PDAF為少數適合非結構性網格模式之實際應用 (Nerger et al., 2006)

Modeled Sea Surface Height



Estimated Sea Surface Height



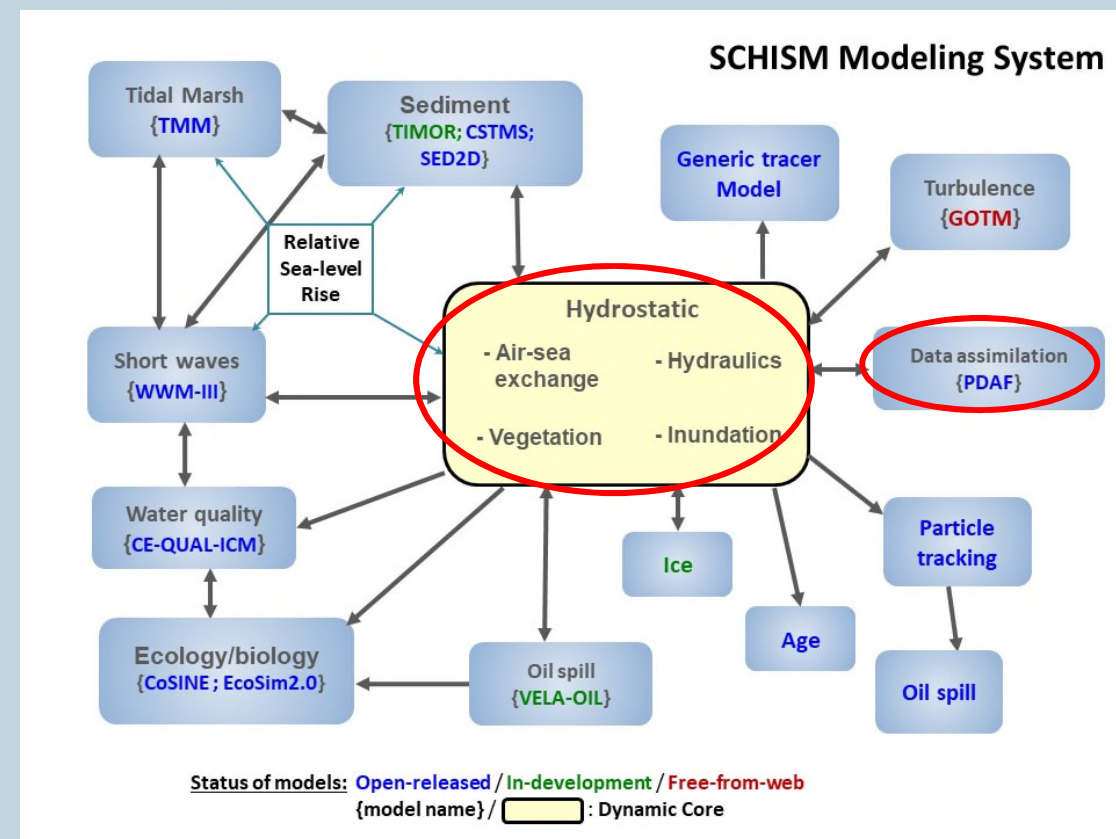
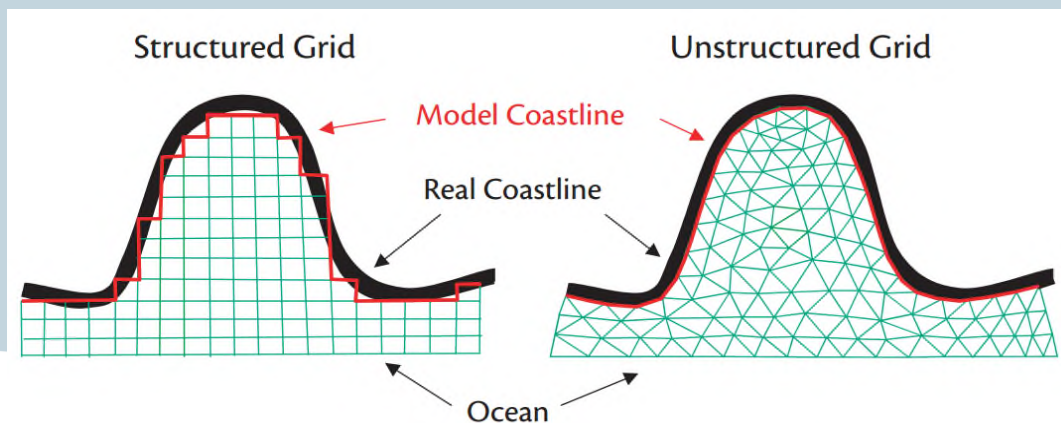
PDAF目前支援之同化方法

	Filter	Localized version	Status	Reference
Ensemble Filter	Error-Subspace Transform Kalman Filter (ESTKF)	LESTKF	Ready	Nerger et al. (2012a, 2012b)
	Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF)	LETKF	Ready	Hunt et al. (2007)
	Ensemble Kalman Filter (EnKF)	LEnKF	Ready	Evensen (1994)
	Singular Evolutive Extended Kalman (SEEK)		Ready	Pham et al. (1998b)
Particle Filter	Singular Evolutive Interpolated extended Kalman (SEIK)	LSEIK	Ready	Pham et al. (1998a, 2001)
	Non-linear Ensemble Transform Kalman Filter (NETF)	LNETF	Ready	Tödter & Ahrens (2015)
	Particle Filter with resampling (PF)		Ready	Vetra-Carvalho Sanita et al. (2018)
Var	3DVar with parameterized covariance matrix (3DVar)		Ready	Bannister (2017)
	3DVar using ensemble covariance matrix (3DEnVar)	Ensemble perturbations are updated with the LESTKF filter	Ready	Bannister (2017)
Hybrid	Hybrid 3DVar using a combination of parameterized and ensemble covariance matrix (Hyb3DVar)	Ensemble perturbations are updated with the LESTKF filter	Ready	Bannister (2017)

SCHISM

(Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model)

- 利用半隱式法進行求解，可使用較大的時間步長計算，並確保模式的穩定與精度，避免數值擴散
- 透過耦合多個模組進行運算，如波浪計算模組、懸浮沉積物模組、生態模組等
- 採用非結構性網格，相比結構性網格能更貼近真實岸線



三維海流作業化模式系統(CWA-OCM)



- 以SCHISM模式
- 初始場: RTOFS/HYCOM全球模式
- 氣象場: CWB-WRF (15km, 3km)
- 5 days (分析場) + 4 (長備援GFS 7天) days (預報場)

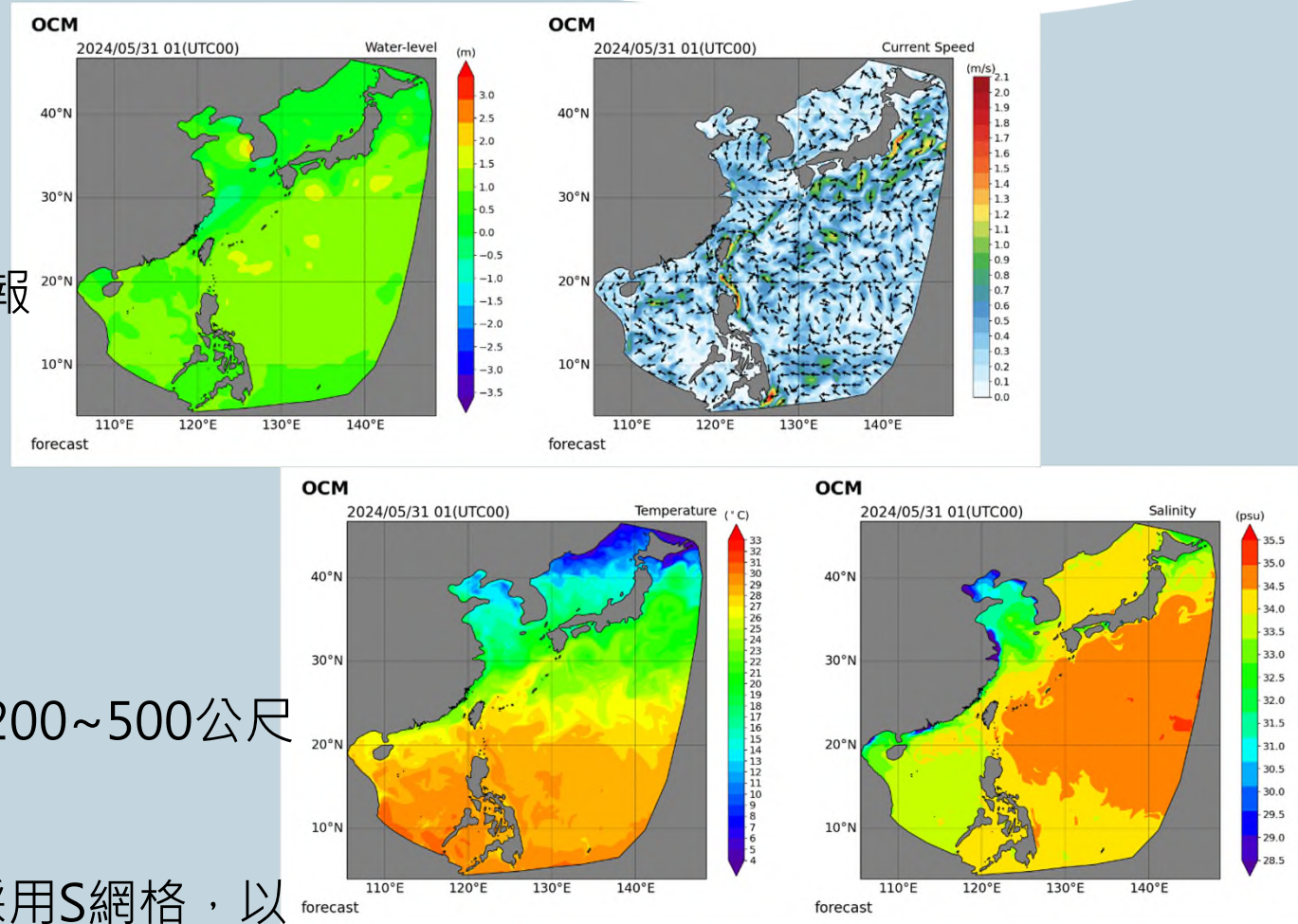
水平解析度

- 節點數量 500k nodes
- 元素 1000k elements
- 最大網格：小於8公里
- 最小網格：港內小於100公尺、近岸200~500公尺

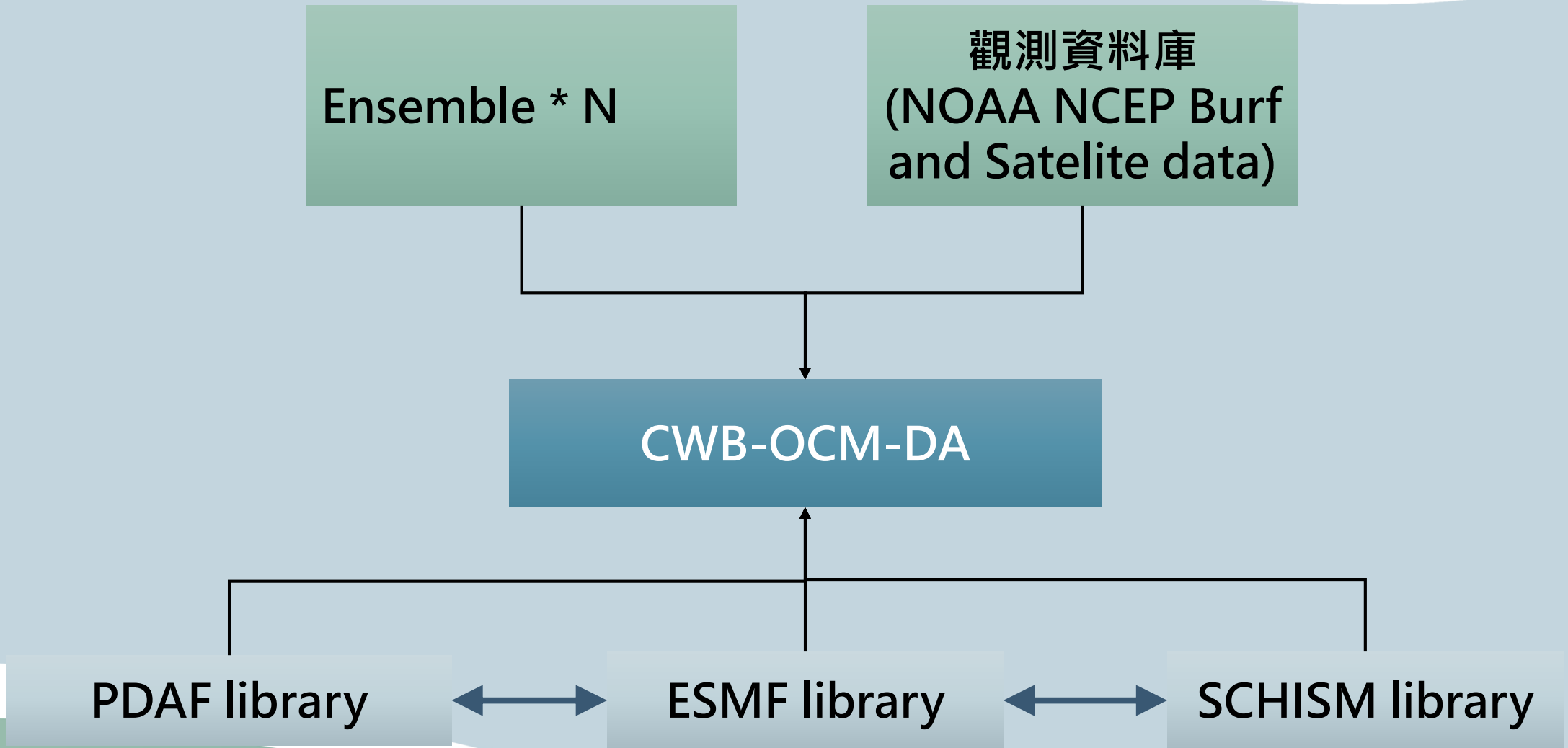
垂直解析度

- LSC2 Grid，1050公尺以上採用S網格，以下採用Z網格。每點有不同分層，由5至48層

- 避免S網格將較強水平海流轉換為垂直壓力梯度造成異常海流現象



臺灣海域三維海流系集同化系統架構



海流系集同化系統作業平台效能測試



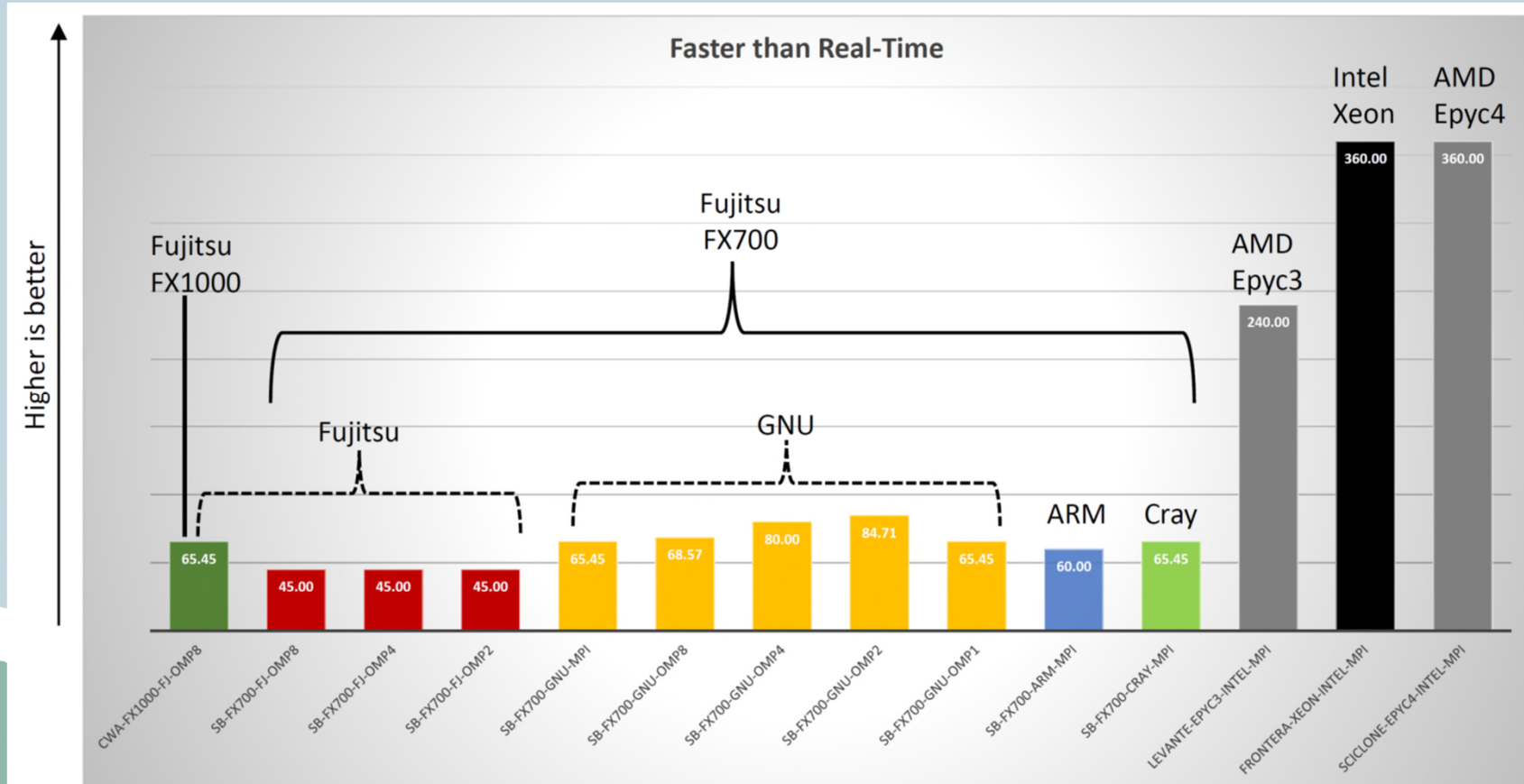
- 在不同CPU架構下硬體指令集有所差異，進行X86與ARM CPU的不同平台測試
- 為了解於不同高速運算機器進行測試SCHISM之編譯與執行效率

測試平台	處理器	核心時脈 (GHz)	單節點核心數	單節點記憶體大小 (GB)	編譯器與版本	節點間連結速度	Top500排名 (2024/06)
CWA-FX1000	Fujitsu-FX1000	2.2	48	32	Fujitsu (4.6.1)	~100Gbps	86
Stony-Brook: Ookami	Fujitsu-FX700	1.8	48	32	Fujitsu (4.8) Arm (22.1) GNU (12.1) Cray(22.10)	HDR100	N.A.
Stony-Brook: Ookami	Nvidia Grace	3.0	144	480	Nvidia HPC (24.3)	HDR100	N.A.
TACC-Frontera	Intel Xeon Platinum 8280	2.7	56	192	Intel mpi (18.0.5)	HDR100	33
DKZR-Levante	AMD EPYC 7763 (3 rd Gen)	2.45	128	256	Intel mpi (2022.0.1)	HDR100	92
WM-Sciclone-Kuro	AMD EPYC 9124 (4 th Gen)	3.7	64	380	Intel mpi (2024.0)	HDR200	N.A.

海流系集同化系統作業平台效能測試



- 不同平台測試都能順利執行模式且結果呈現相似的結果→證明SCHISM與SCHISM-PDAF擁有良好的可攜性(Portability)
- 不同編譯器在相同硬體上，執行效率有所差異(甚至達2倍差距)
- X86 平台執行效率較ARM平台快3倍以上，若有記憶體瓶頸會差異更大

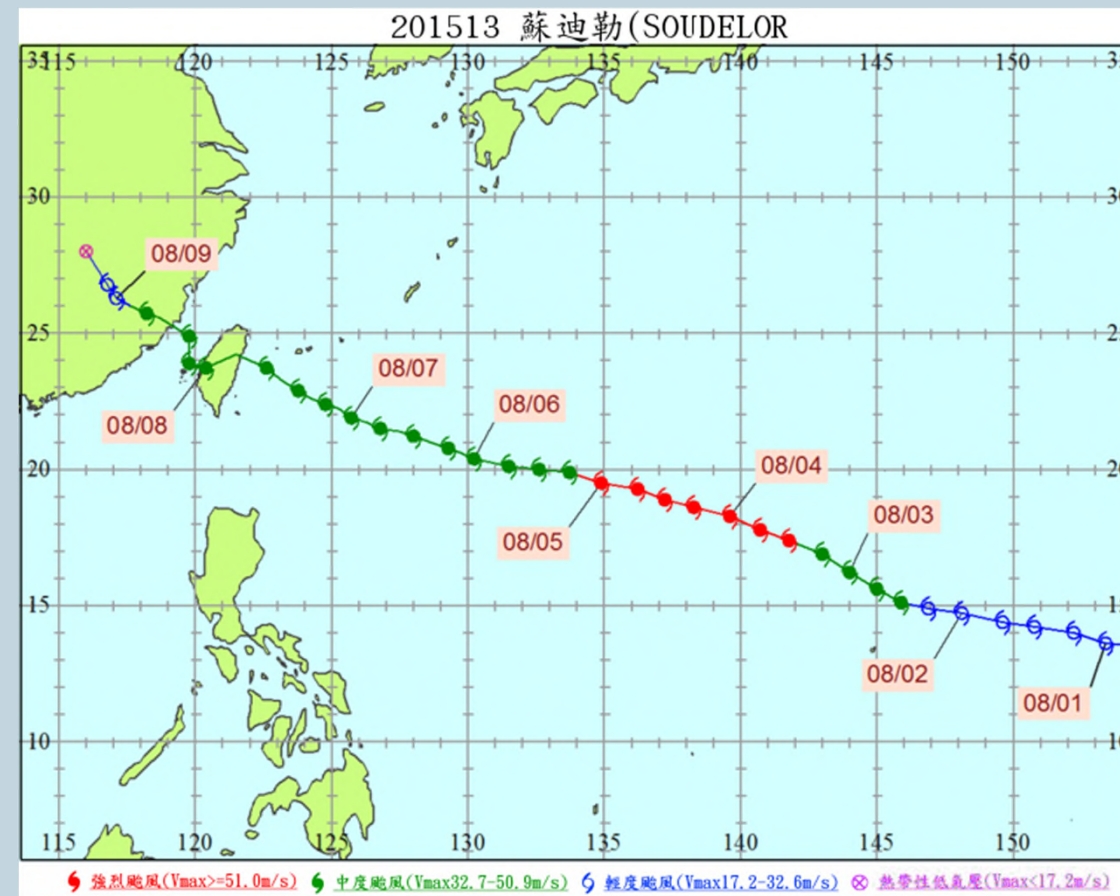




2015年蘇迪勒颱風案例測試

- 以2015蘇迪勒颱風(2015/8/4 ~ 2015/8/12, 共8日)進行案例測試

- 網格: CWA-OCM範圍
- 初始與邊界場: HYCOM
- 氣象場: ECMWF-ERA5
- 同化資料: ESA-SST
- DA參數
 - LESTKF
 - 系集數量8組
 - 同化頻率:1日
 - 影響半徑0.5度
 - 量測誤差: 由SST量測提供



不同觀測資料同化結果分析 - 海表溫

案例比較

- 僅同化海高
- 僅同化海表溫
- 同時同化兩組觀測資料(ESA-SST、AVISO-SSH)
- 無同化

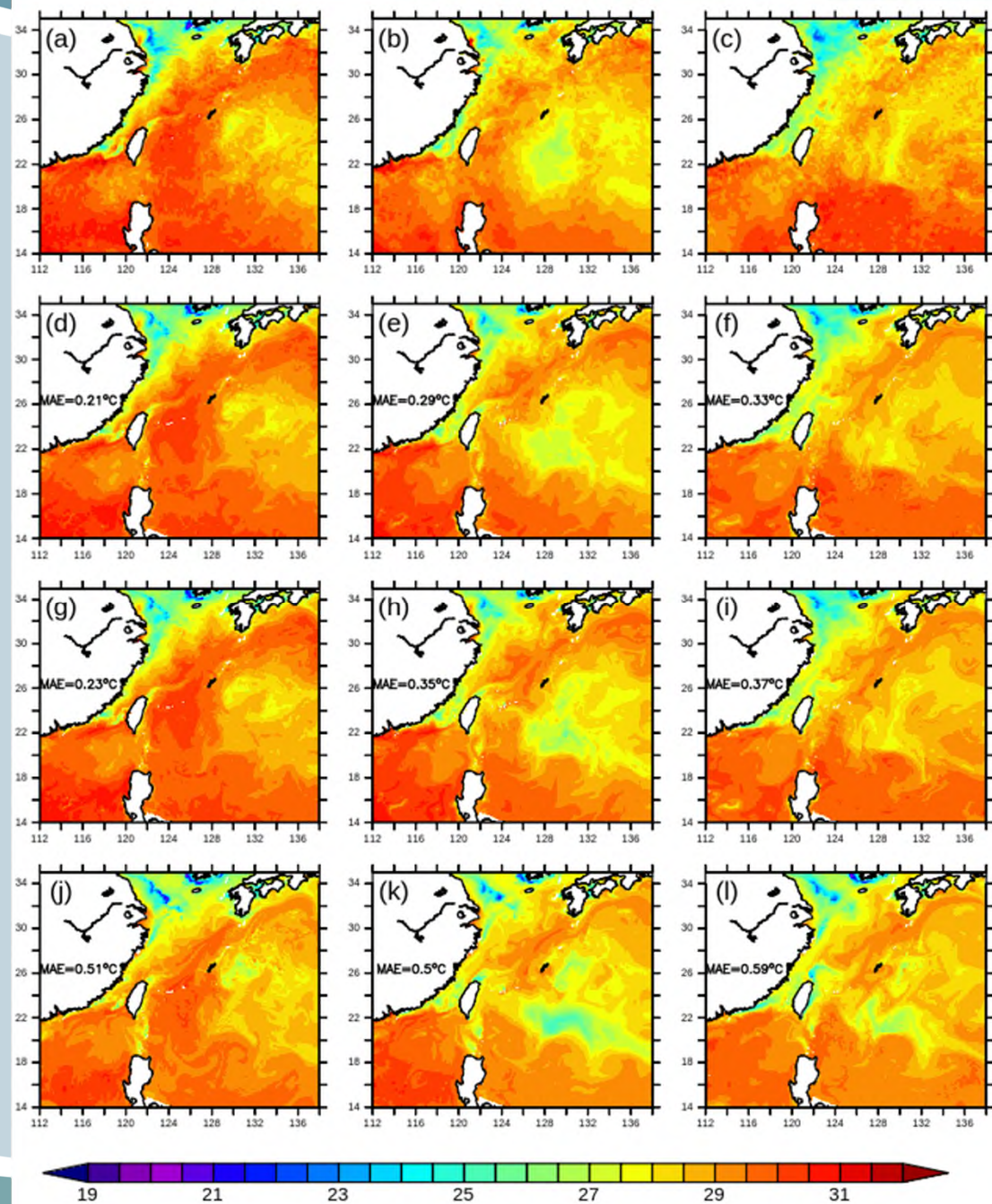
海表溫結果

- 同化結果優於無同化
- 同化兩組觀測資料，同化分析需平衡兩組觀測，MAE將略高於僅同化海表溫之案例。

颱風前

颱風侵台

颱風後
交通部中央氣象署



不同觀測資料同化結果分析 - 海高(差異值)

案例比較

- 僅同化海高
- 僅同化海表溫
- 同時同化兩組觀測資料(ESA-SST、AVISO-SSH)
- 無同化

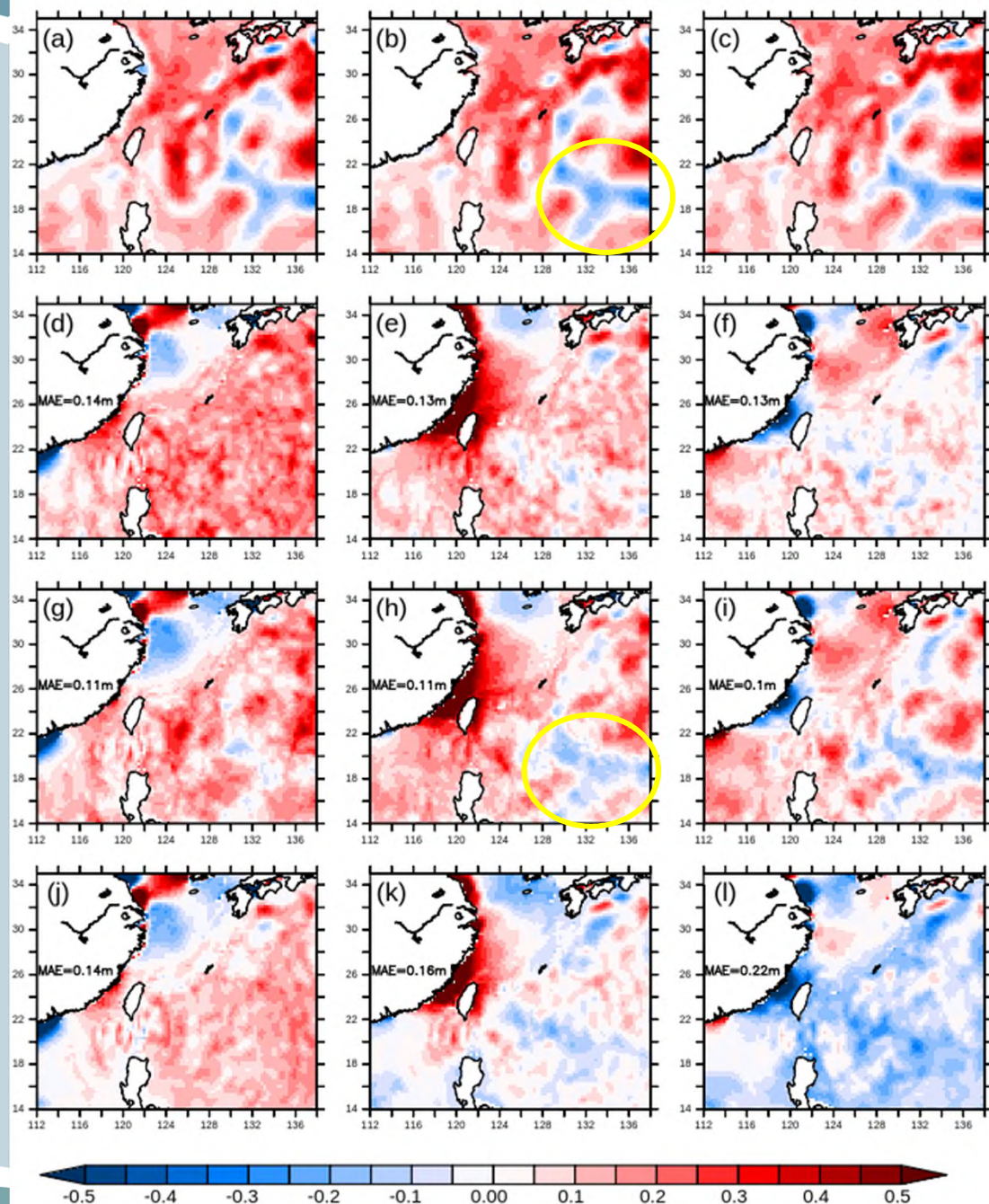
海表溫結果

- 同化結果優於無同化
- 僅同化海表溫之案例仍可改善海高結果
- 同化兩組觀測資料，可進一步改善海高分布特性

颱風前

颱風侵台

交通部中央氣象署



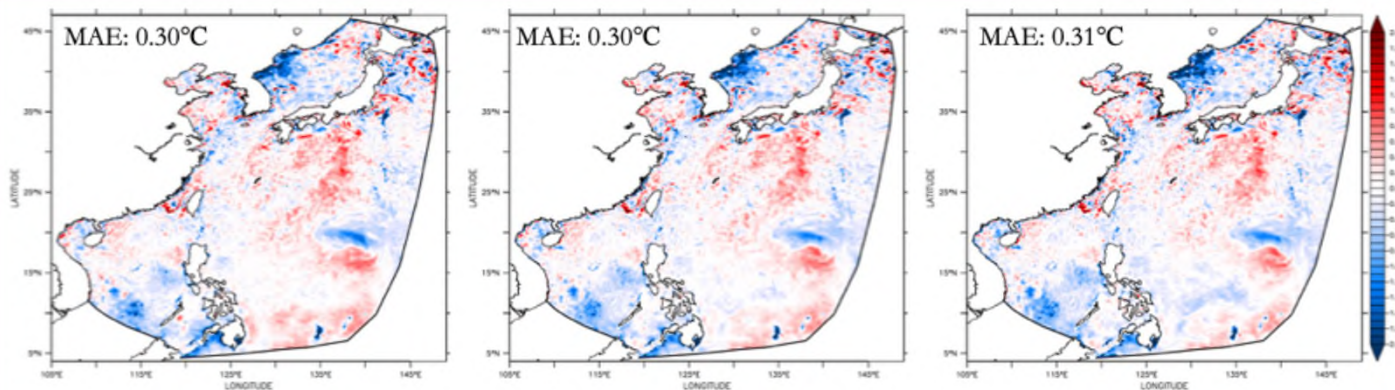
評估使用不同初始場(partial cycle及full cycle) SST差異性

Full Cycle

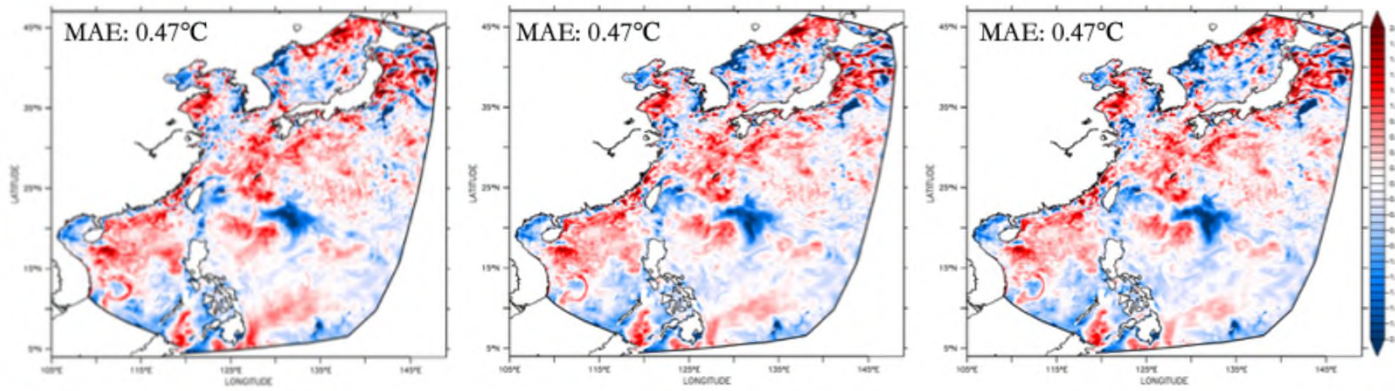
Partial Cycle 2 day

Partial Cycle 1 day

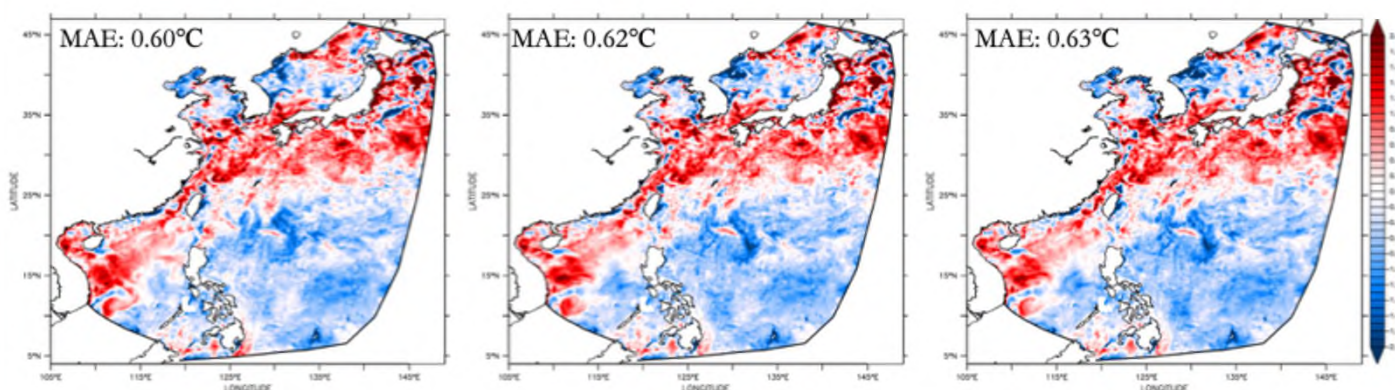
2015/8/4



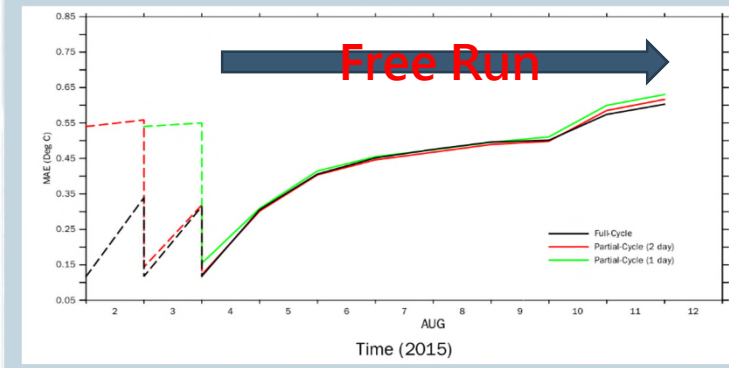
2015/8/8



2015/8/12



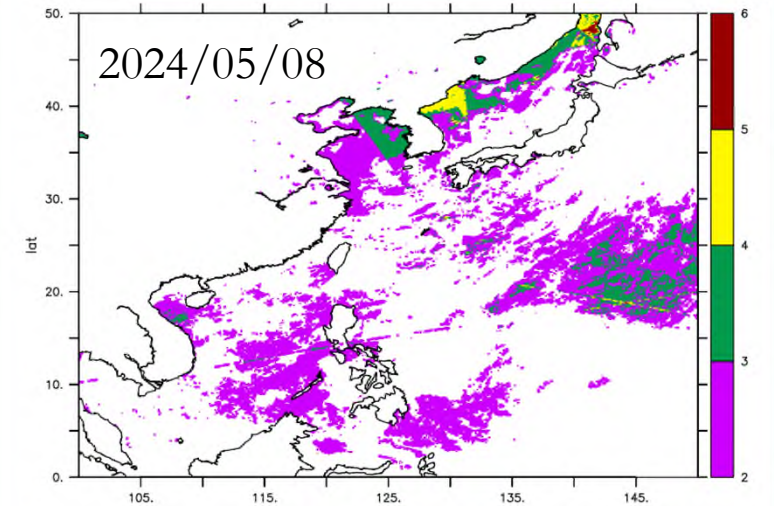
- Full cycle: 由7/30開始連續同化至8/4
- Partial cycle 2 day: 由8/2之HYCOM起始計算，同化2次至8/4
- Partial cycle 1 day: 由8/3之HYCOM起始計算，同化1次至8/4
- 三者差異並不明顯，以 Full-Cycle之結果為最佳



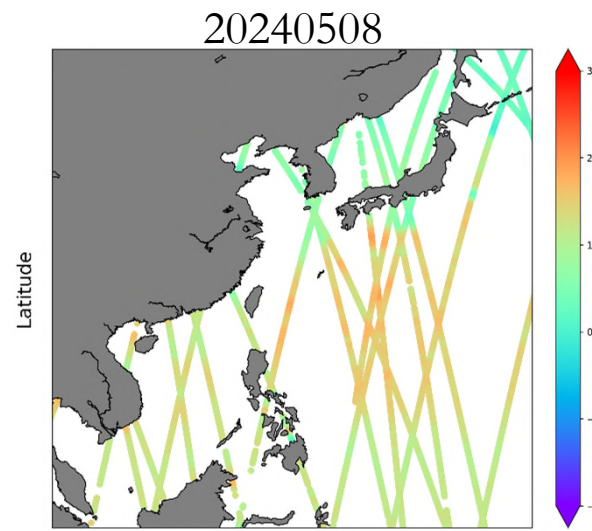
評估應用NCEP資料之同化效果



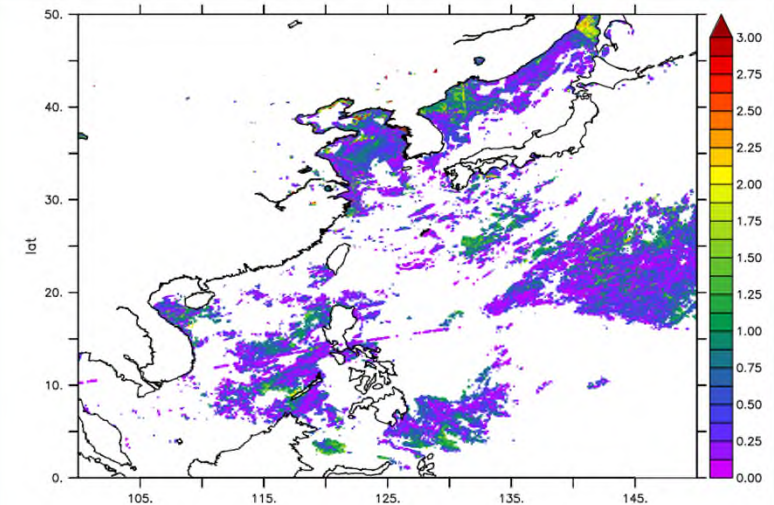
- ADT資料較少，引入對整體可能無法優化
- 故以NCEP提供**衛星海表溫之原始觀測資料**進行測試，因海表溫於同一點位有重複資料，如該點重複值之最大差異值於 1°C 內，則取其平均值作為該點觀測值，否則不採計該點資料
- 模式設定
 - 網格: CWA-OCM範圍
 - 初始與邊界場: HYCOM
 - 氣象場: NOAA-GFS
 - 模擬時間: 2024/05/07 ~ 2024/05/14
 - DA參數
 - LESTKF
 - 系集數量8組
 - 同化頻率: 1日
 - 影響半徑0.5度
 - 量測誤差: 0.1度



重複資料點數



ADT



海表溫最大差異 ($^{\circ}\text{C}$)

評估應用NCEP資料之同化效果 - 海表溫分析

Geo_Polar

NCEP SST

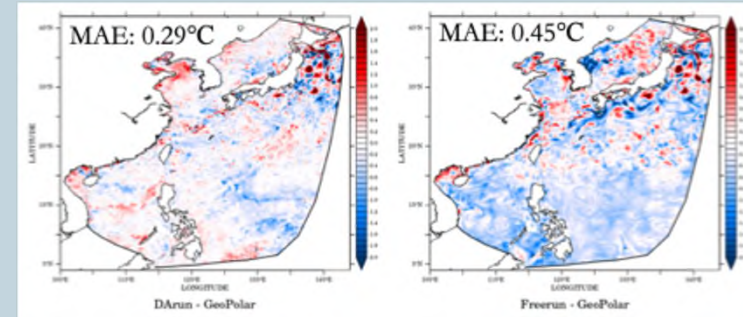
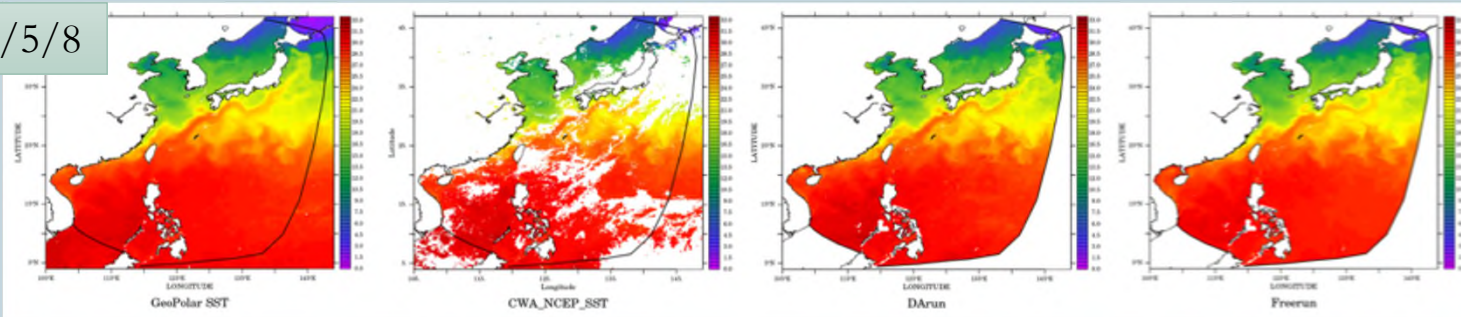
DA

noDA

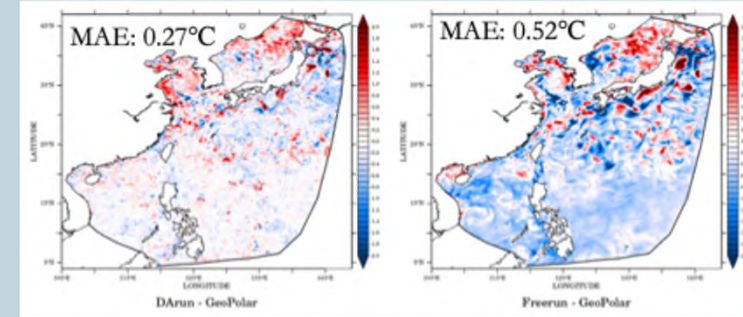
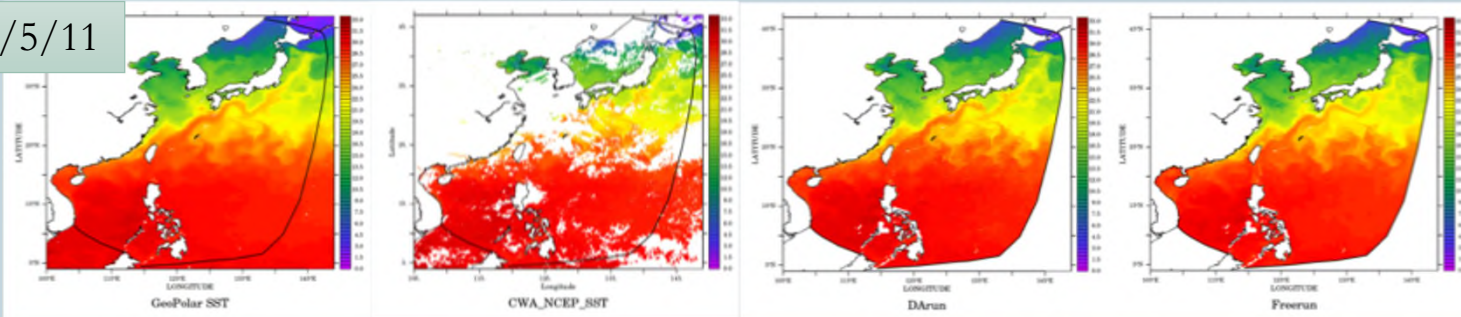
DA - Geo_Polar

noDA - Geo_Polar

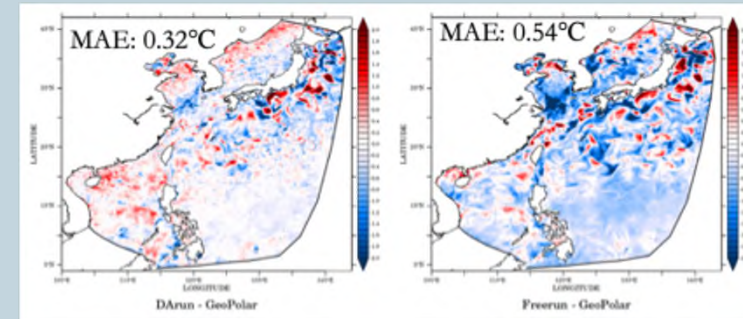
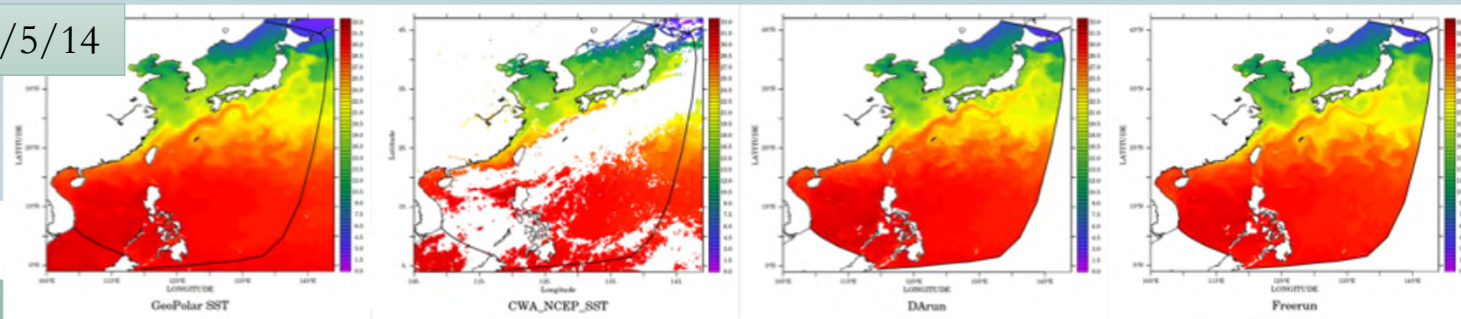
2024/5/8



2024/5/11



2024/5/14





未來工作...

- 優化整體執行流程，持續朝向作業化目標前進
- 根據CWA-OCM網格持續進行網格與系統的更新
- 持續引入NCEP Burf與Satelite觀測資料的進行同化測試

Thanks for
your listening

