

臺灣海域降尺度歷史海流資料重建

國家海洋研究院

廖建明、吳虹儀、陳沛宏



研究目的

- 過去研究多集中於短期觀測
- 缺乏針對數十年 (Decadal scale) 的海流系統分析
- 建立近40年長期多維高解析度海洋模擬資料
- 利用高解析度海洋模式模擬臺灣海域，進行多維度時空特徵分析
- 聚焦於臺灣海域海洋動力特性，可作為評估氣候變遷對區域海洋環境影響之重要參考
- 可作為海洋環境變遷趨勢判針、區域海洋模式驗證與改進的重要參考、未來政策端之科學依據

HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)

- **HYCOM背景與應用**

HYCOM為美國全球海洋資料同化發展計畫（GODAE）的一部分，由美國海軍海洋局（NAVOCEANO）負責營運，提供全球海洋預報服務，亦為NOAA現今即時海洋預報系統(Real-Time Ocean Forecast System, RTOFS)之主要模型，同時可作為更高解析區域模式(regional model)的邊界條件來源。

- **模式特色**

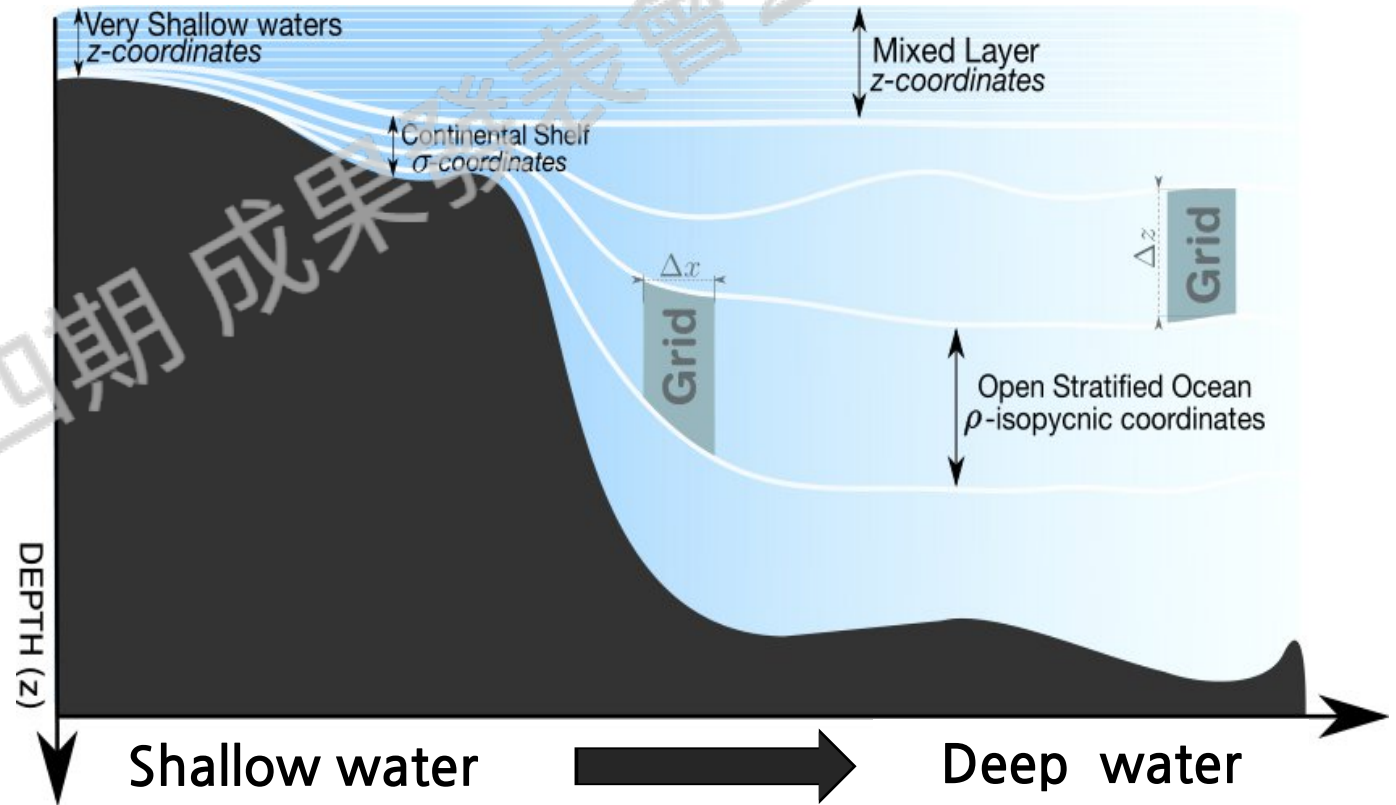
採用 $1/12^\circ$ 高解析度混合座標系統（40層垂直結構），結合等密度座標、 σ 座標與 z 座標，可有效模擬深海至近岸海域的海洋環境。

- **預報與資料同化能力**

結合海洋觀測資料進行資料同化，可提供未來7天海洋預報，並作為區域海洋模式的重要邊界條件來源，具有良好的預報表現與應用口碑。

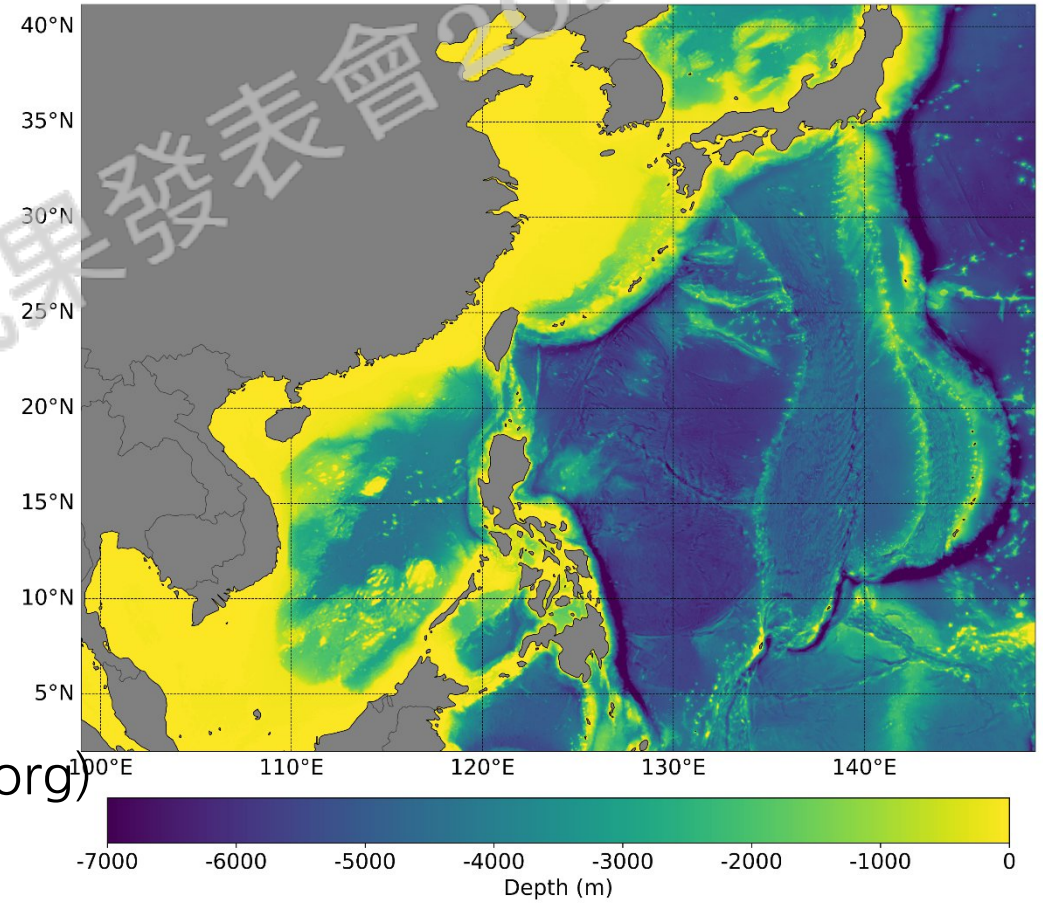
HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)

- u 三維海洋模式
- u 混合座標 (Hybrid coordinates)
 - ✓ z-coordinate: 淺水或混合層
 - ✓ σ -coordinate: 大陸棚
 - ✓ ρ -coordinate: 遠洋海域

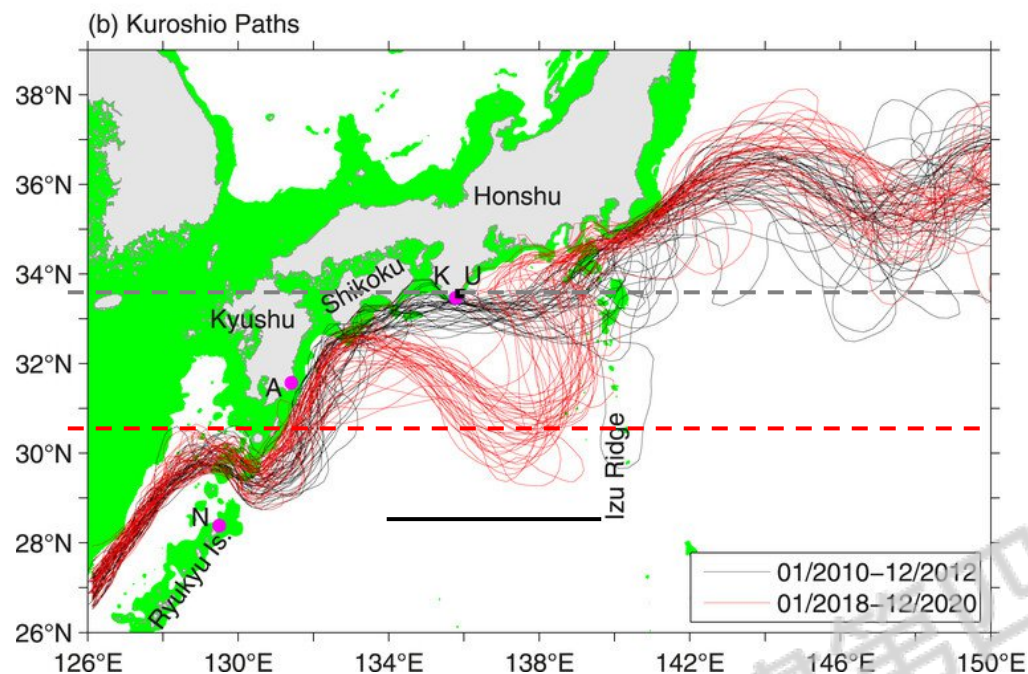


HYCOM海洋模式設定

- 範圍：西北太平洋 (99~148.96°E ; 2~41.16°N)
- 空間解析度：0.04°
- 格網數：1250 X 980 X 41
- 模擬時間：1980/01~2022/12 (約40年)
- 大氣邊界：ERA5-TReAD blending
- 海洋側邊界：ORAS5 (1980-1995) (ECMWF) / GLB0.08 (1996-2022) (HYCOM.org)

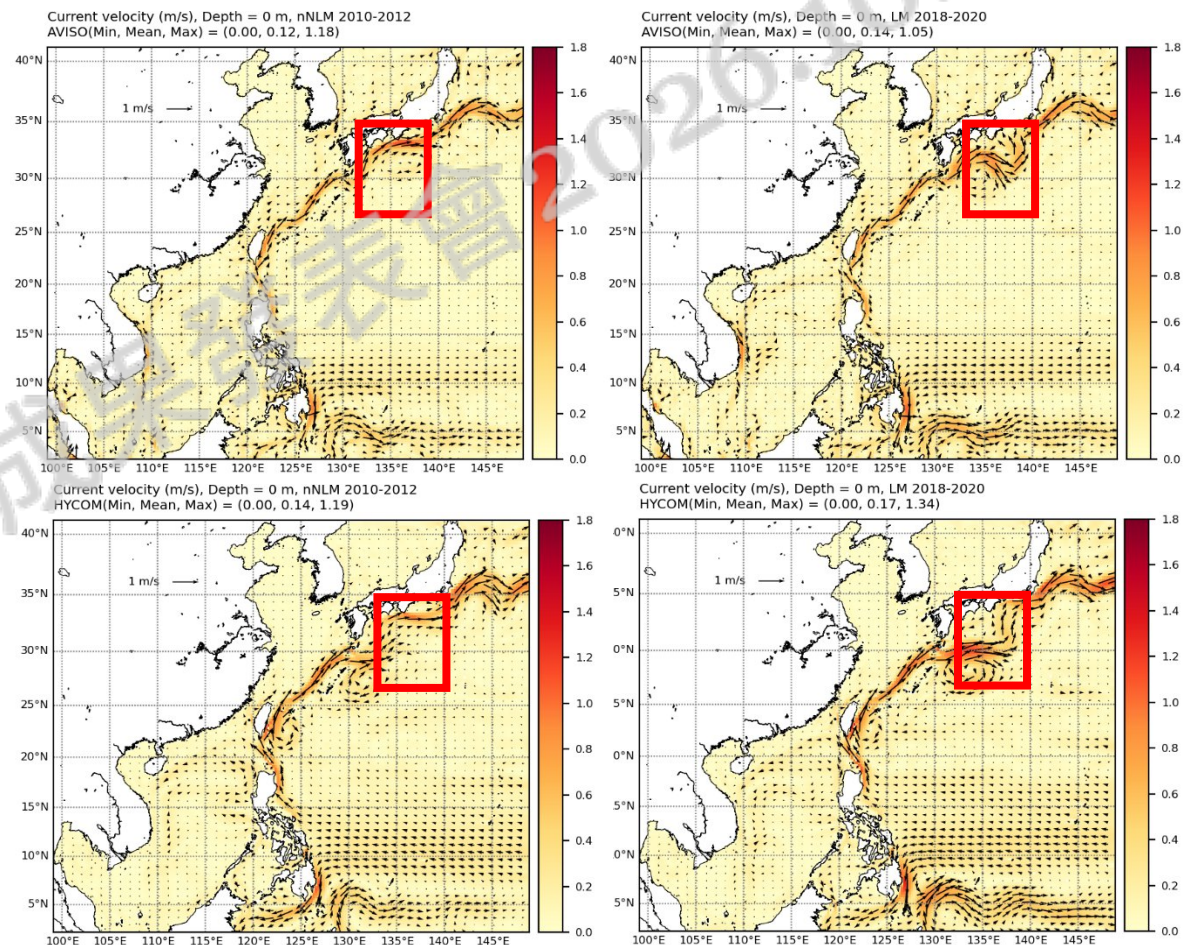


不同年份間的海表面流場變化



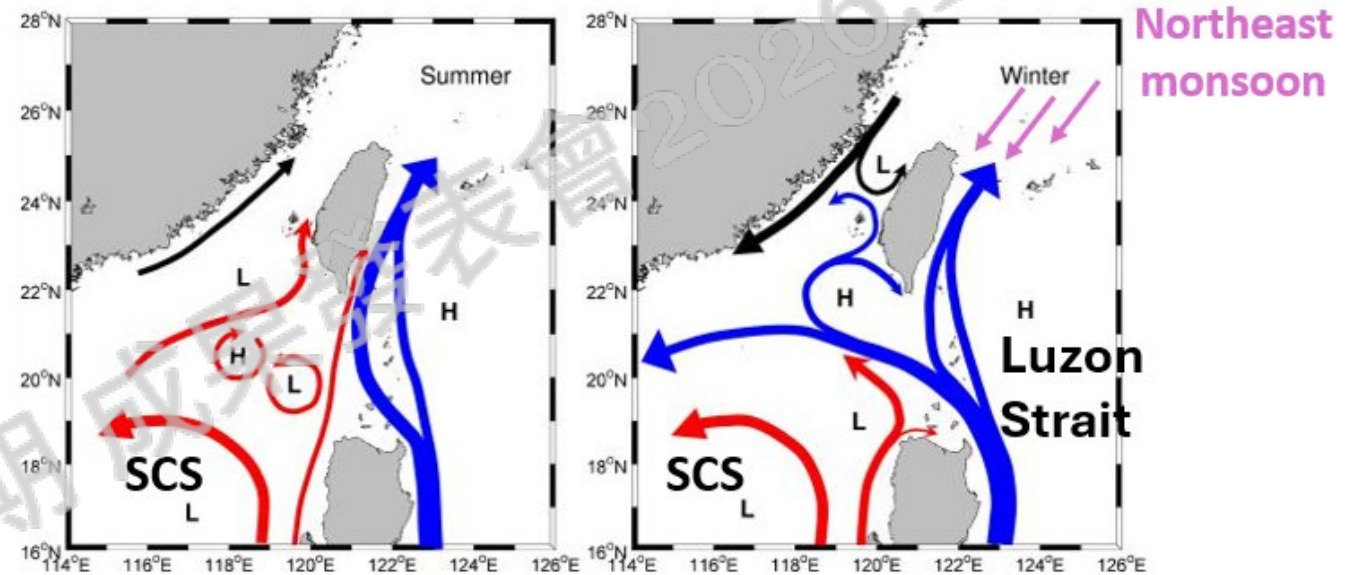
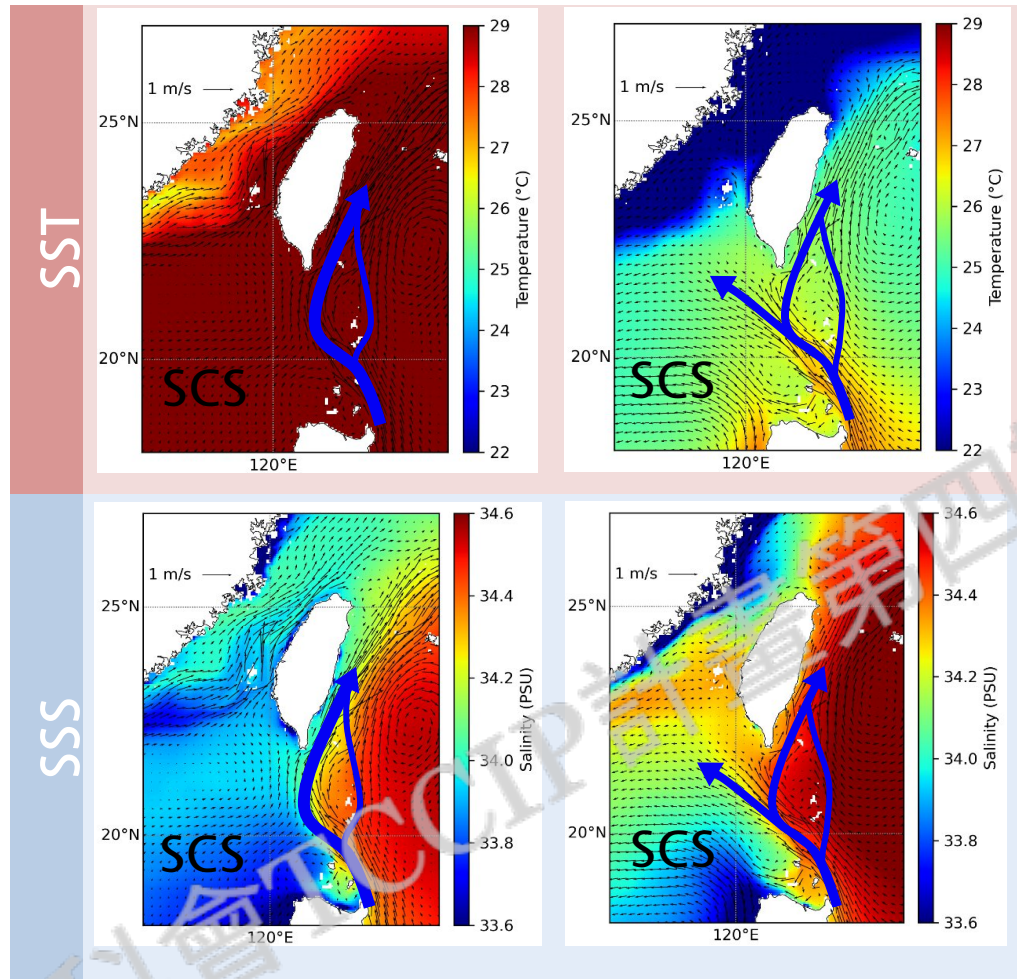
- Straight path state in 2010-2012
- Large-meander state in 2018-2020

(Ref: Qiu et al., 2021)



- 2010-2012, 兩者在134-140°E間黑潮則維持在33°N (Straight path state)。
- 2018-2022, 兩者在134-140°E間黑潮從33°N往南偏移至30°N (Large-meander state)。

黑潮於冬季入侵至呂宋海峽



(Dai et al., 2014)

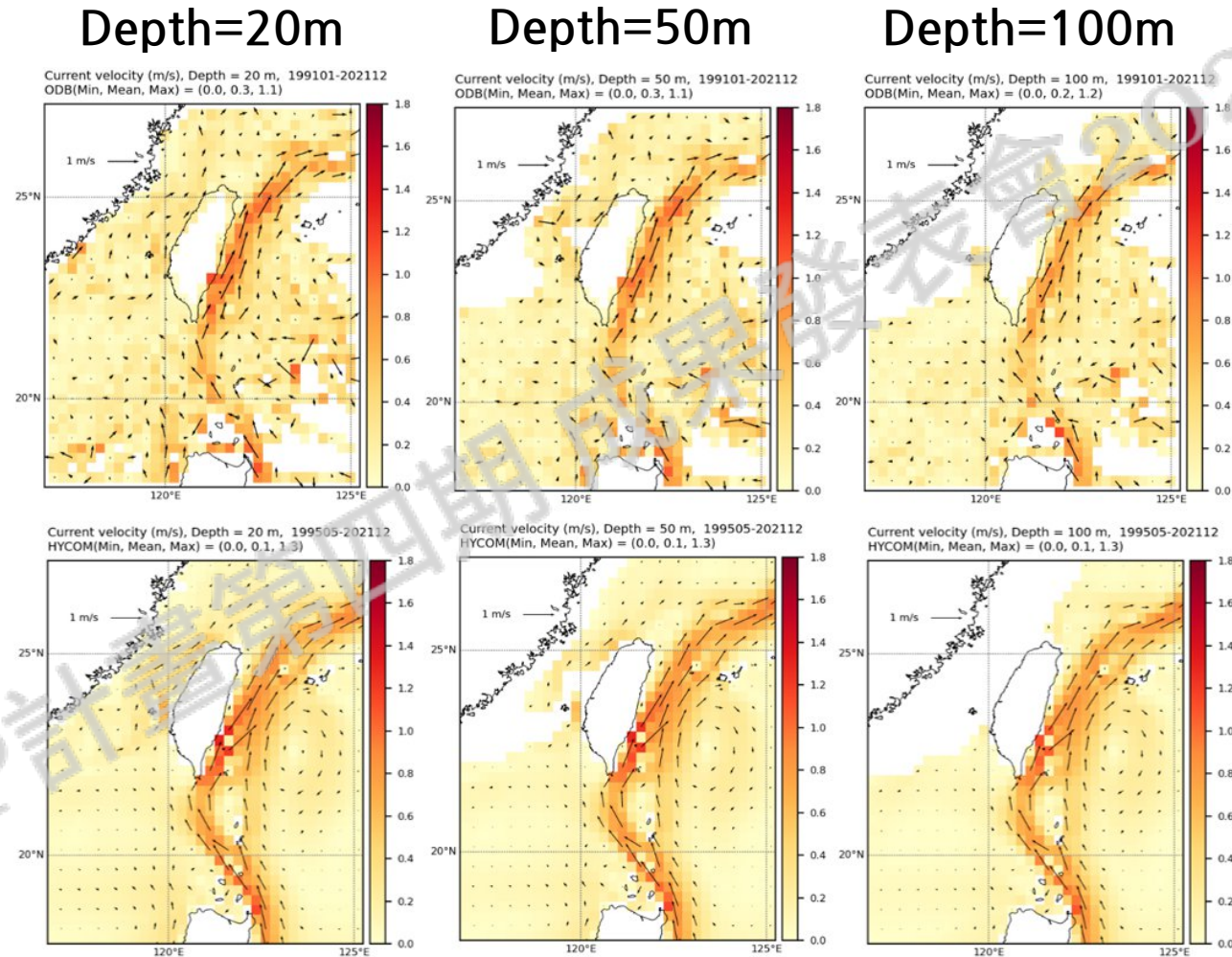
- 海表溫度和鹽度的結果顯示冬季有黑潮入侵。
- 黑潮入侵影響整個南海的熱和鹽分收支。

(Metzger and Hurlburt, 1996; Qu et al., 2000; Xu and Su, 2000)

ODB與HYCOM不同深度流場比較

ODB
1991/01-2021/12

HYCOM
1995/05-2021/12

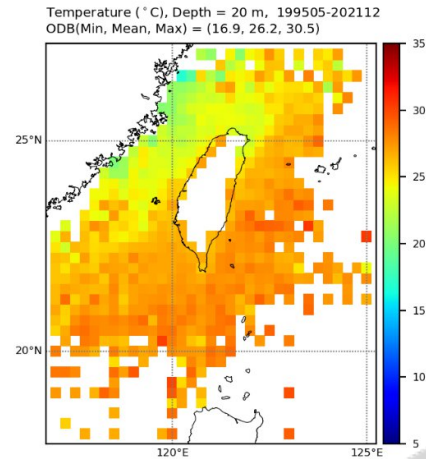


- HYCOM黑潮模擬與觀測資料趨勢相符。

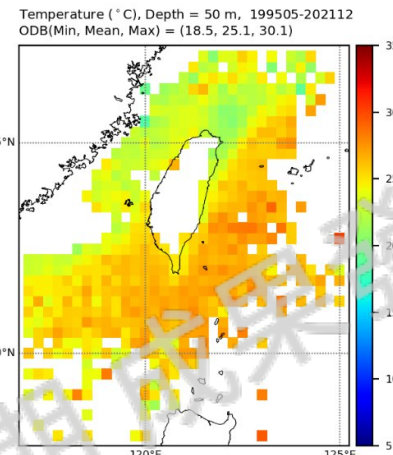
ODB與HYCOM不同深度溫度比較

ODB
1985/01-2021/12

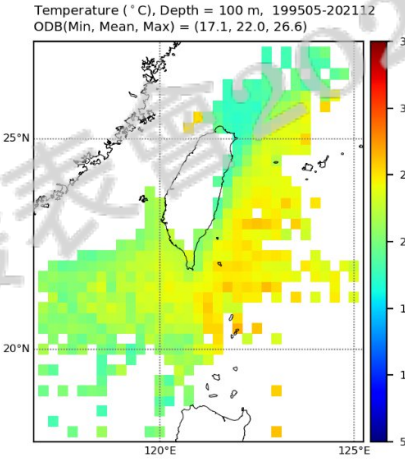
Depth=20m



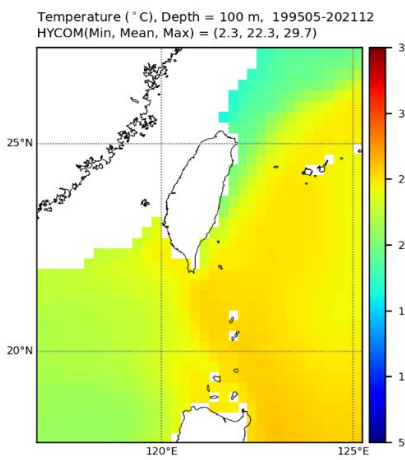
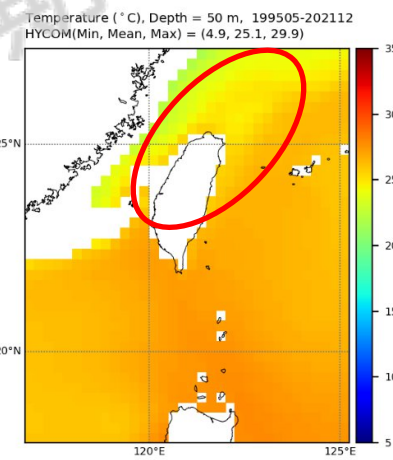
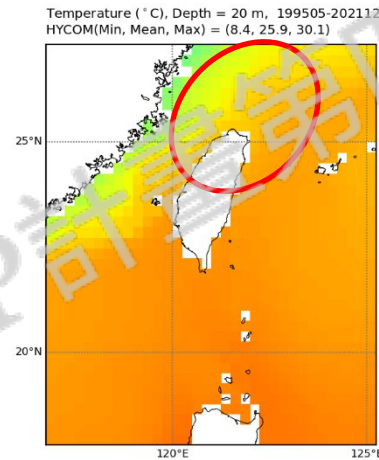
Depth=50m



Depth=100m



HYCOM
1995/05-2021/12

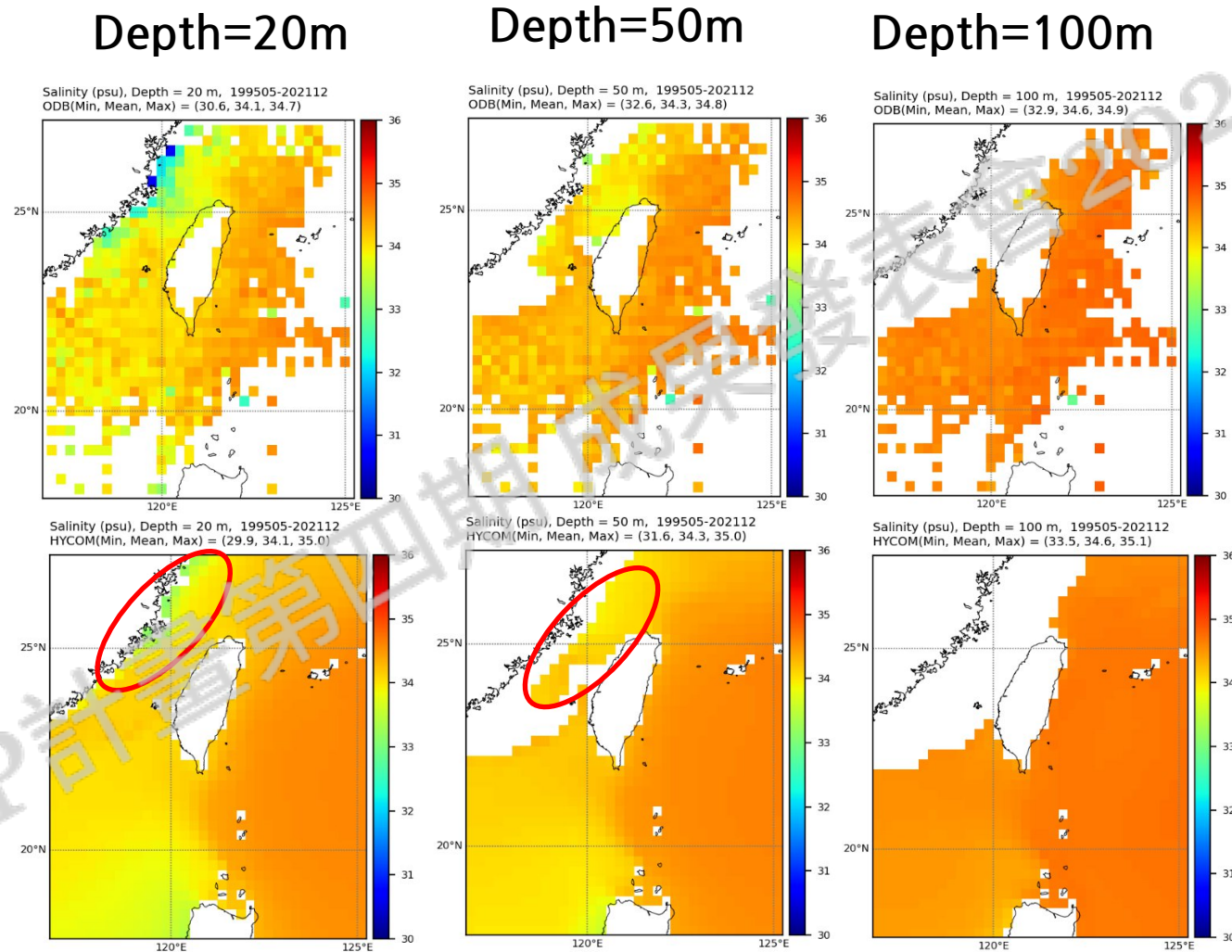


- 在部分臺灣海峽區域海溫有些許差異，大致分布趨勢相符。

ODB與HYCOM不同深度鹽度比較

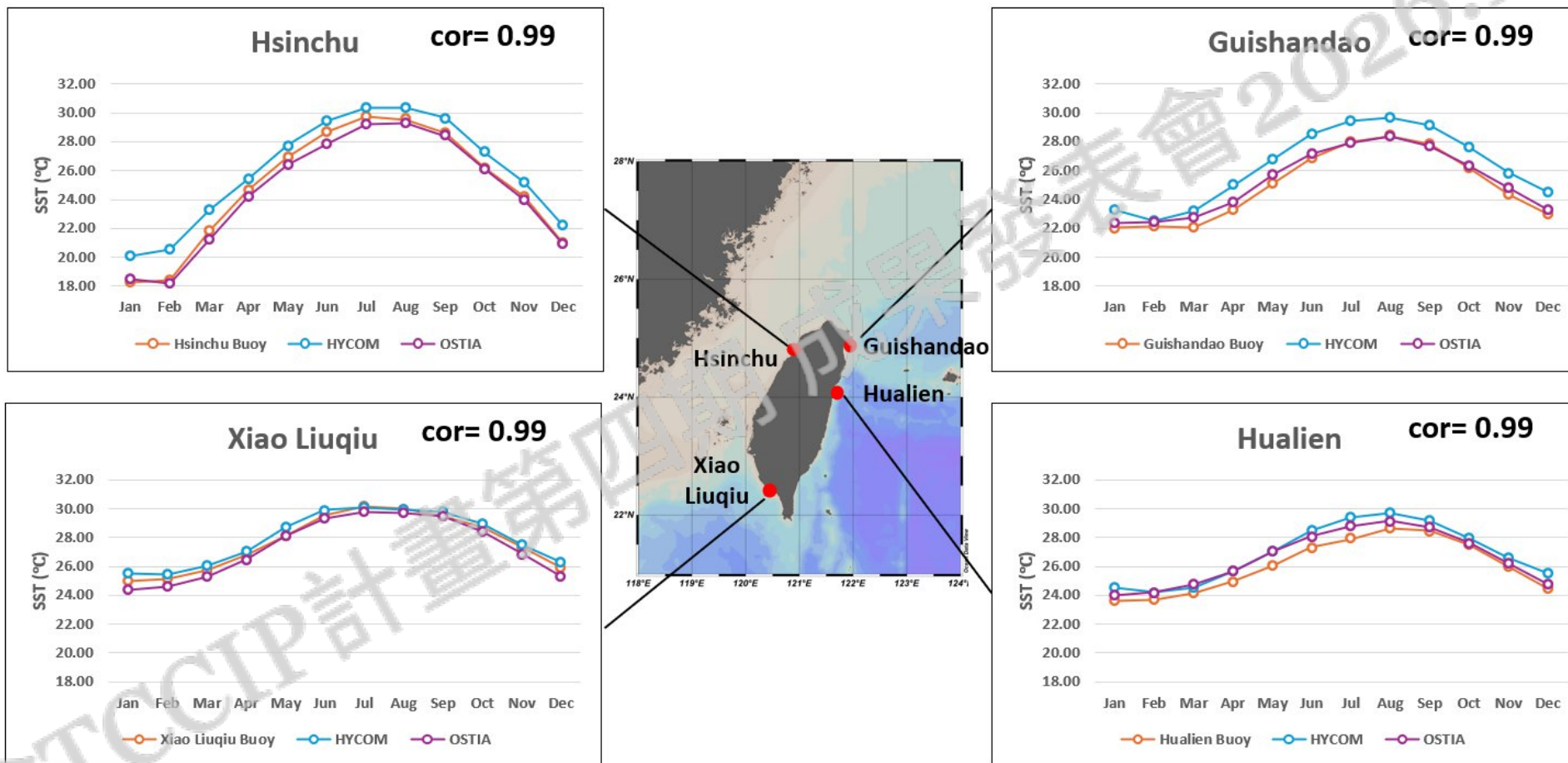
ODB
1985/01-2021/12

HYCOM
1995/05-2021/12



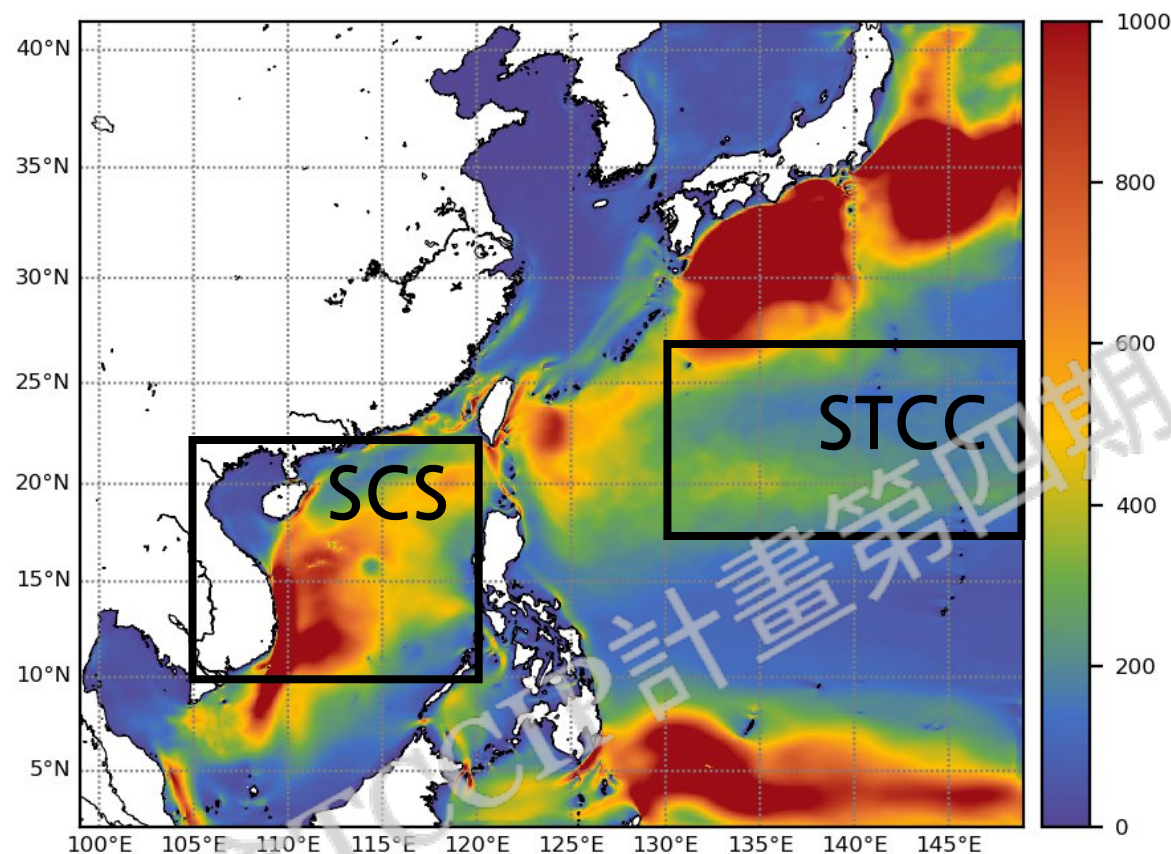
- 在部分臺灣海峽區域鹽度有些許差異，大致分布趨勢相符。

浮標、HYCOM 和衛星資料之海表溫比較



- 雖然HYCOM SST數據高於衛星和浮標數據，但趨勢相似。
- HYCOM SST 資料與浮標資料具有高度相關性 (>0.99)。

渦旋活躍區 Eddy kinetic energy (EKE)



區域	經緯度
副熱帶逆流區 (STCC)	130.125-148.125 °E 18.125-27.125 °N
南海 (SCS)	105.125-120.125 °E 10.125-22.125 °N

STCC: SubTropical Counter Current
SCS: South China Sea

分析渦旋特徵

Satellite data
(1995/05-2022/12)

HYCOM data
(1995/05-2022/12)

SLA

ugosa

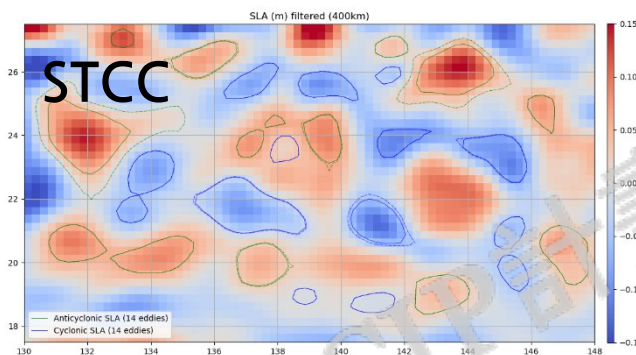
vgosa

SLA

ugosa

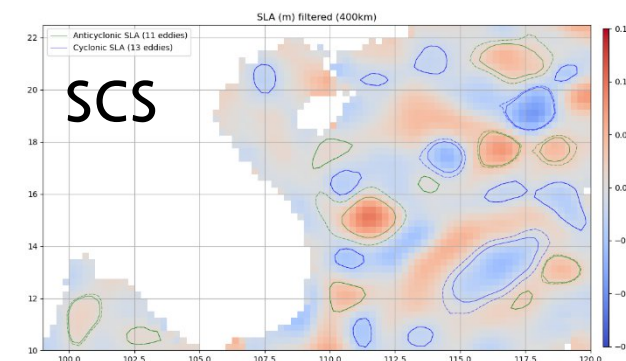
vgosa

SLA: 海面高度異常
ugosa: U方向異常地轉流
vgosa: V方向異常地轉流



Py eddy tracker

(Mason et al.,
2014)



日/月渦旋數量

渦旋半徑

渦旋振幅

渦旋生命週期

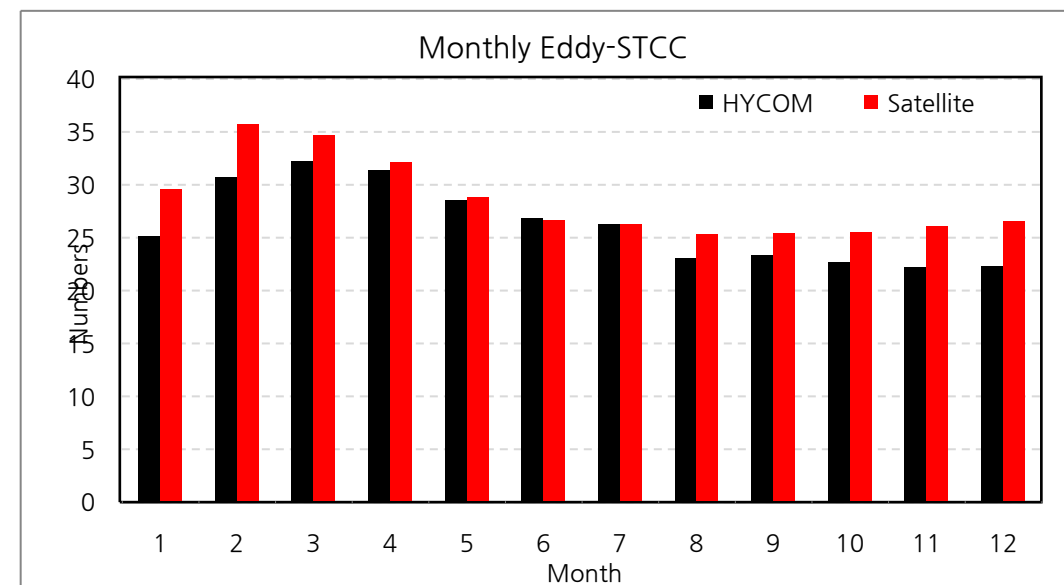
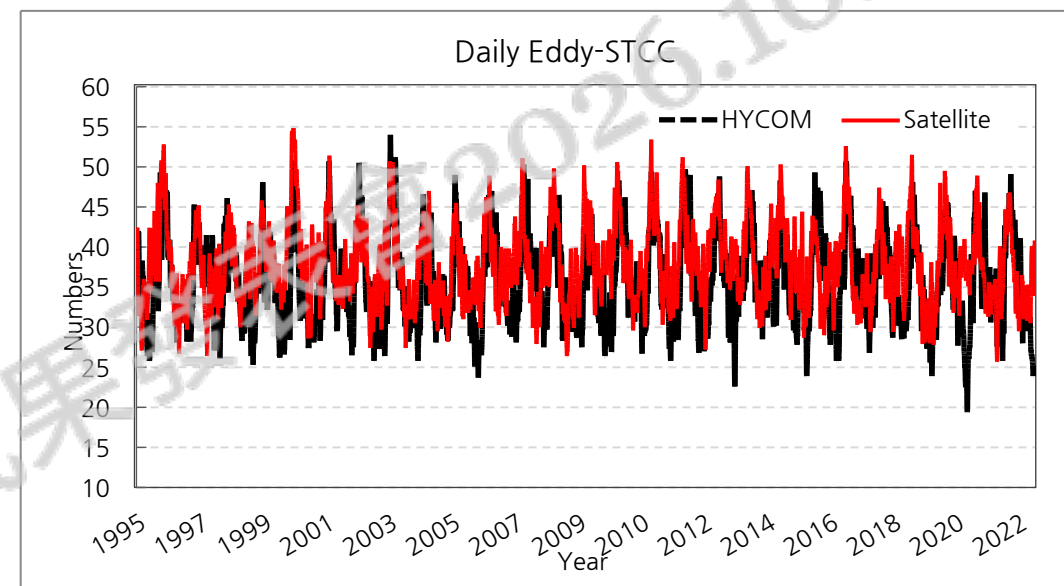
副熱帶逆流區(STCC)中尺度渦旋

日變化

- ✓ HYCOM模擬結果與衛星觀測資料有較好的相關性($R=0.52$)

月變化

- ✓ 中尺度渦流有明顯的季節性變化，在冬末春初時有較多渦旋個數。
- ✓ HYCOM (26.2) 比衛星資料(28.6) 平均少2.4個。



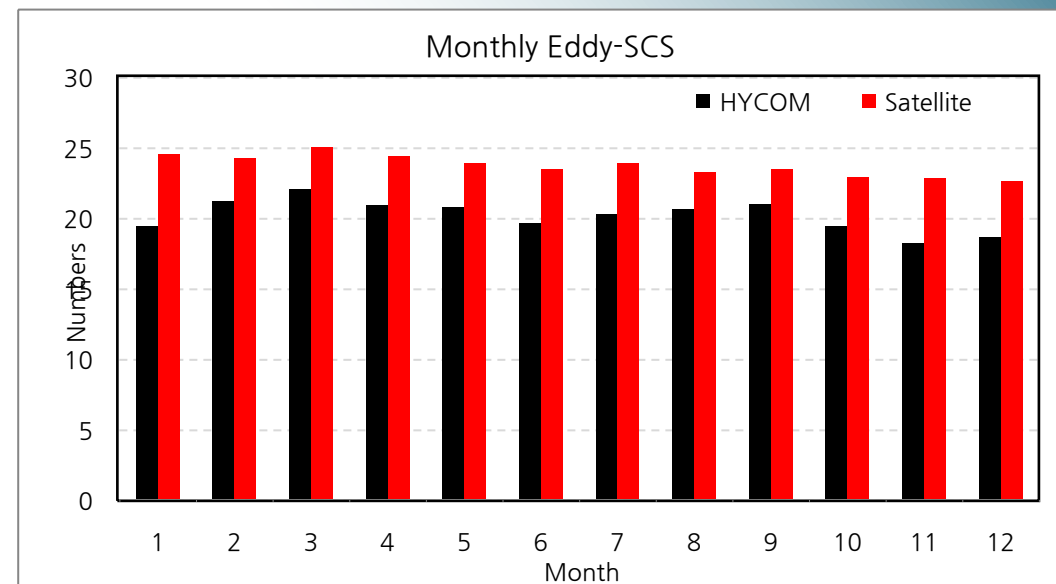
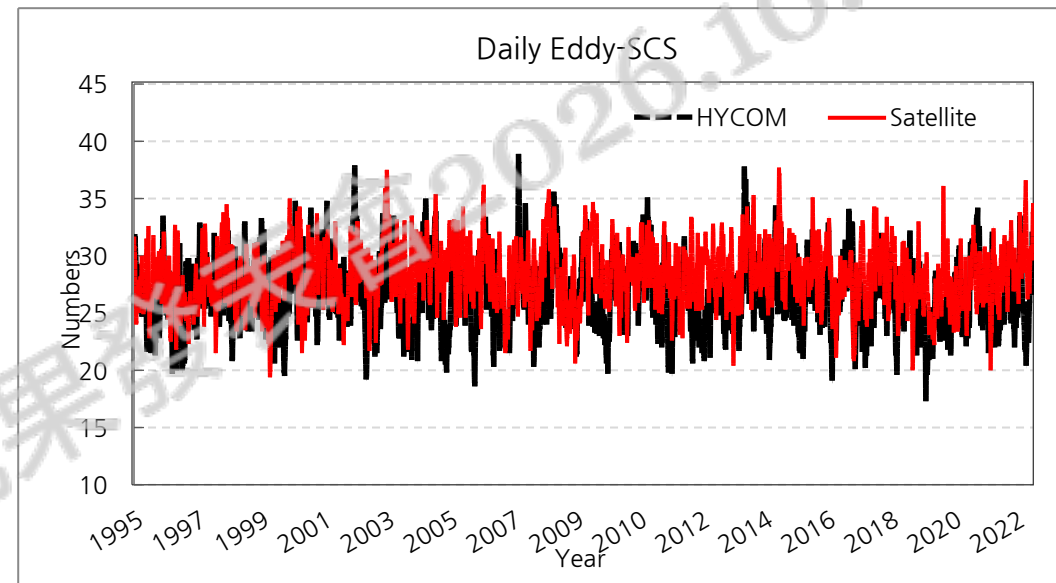
南海(SCS)中尺度渦旋

日變化

- ✓ HYCOM模擬結果與衛星觀測資料有較差的相關性($R=0.15$)

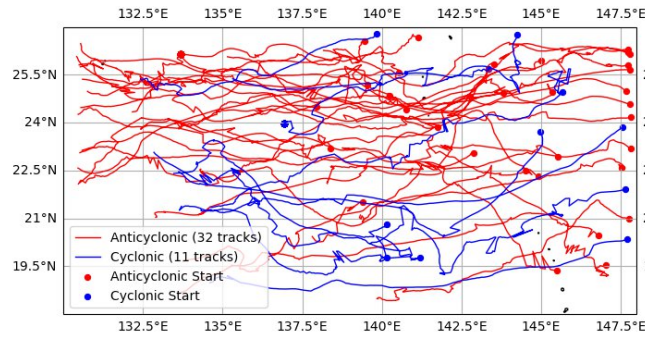
月變化

- ✓ HYCOM的中尺度渦旋有明顯的季節性變化，夏末冬初與冬末春初有較多渦旋個數。
- ✓ HYCOM (20.2) 比衛星資料 (23.7) 平均少3.5個。
- ✓ 兩者間無相似的季節性變化



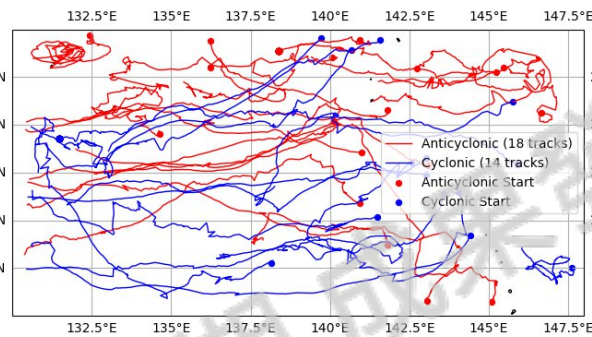
中尺度渦旋路徑

衛星測高

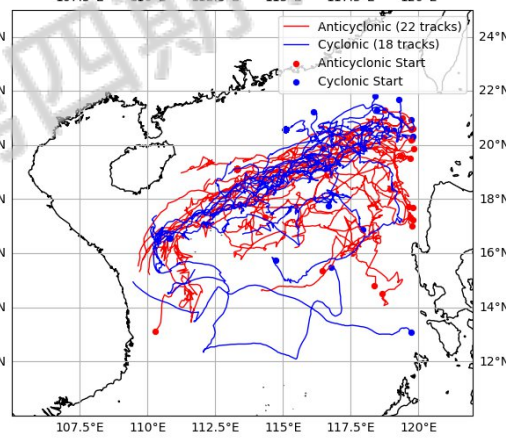
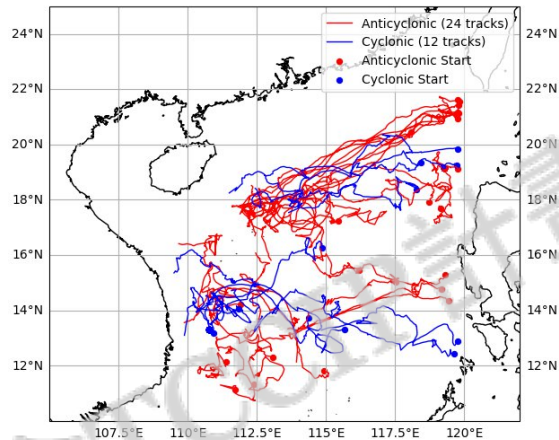


STCC

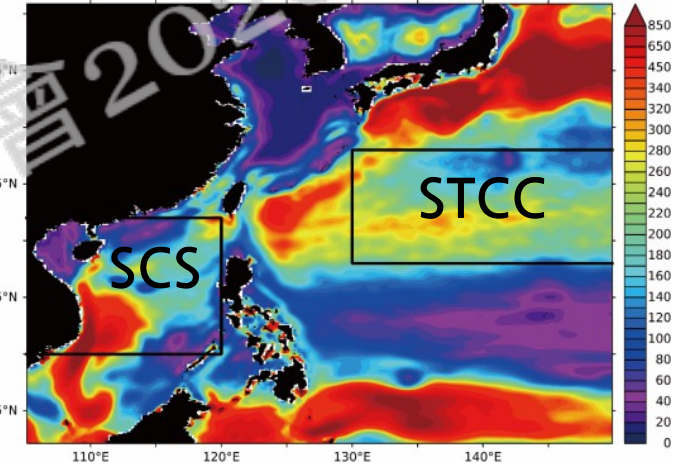
模擬結果



SCS



AE: 反氣旋渦旋 CE: 氣旋渦旋



- 在STCC與SCS的渦旋多數由東向西消逝。
- SCS區域，渦旋都是由呂宋島生成往西移動至越南。
- 篩選生命週期 ≥ 154 天，反氣旋渦數量皆多於氣旋渦。

臺灣周邊海流系統—黑潮

黑潮

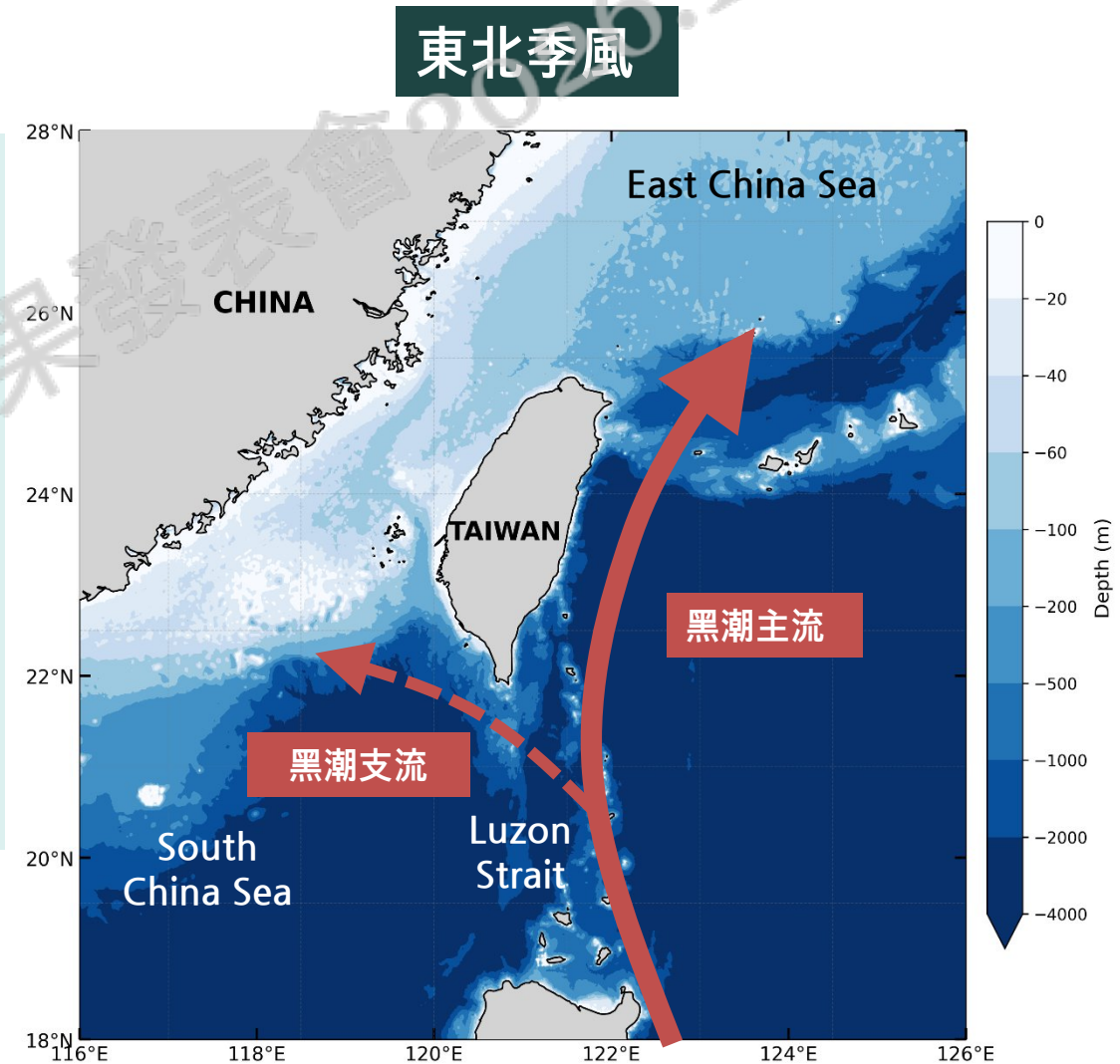
- 黑潮寬度從臺灣東岸延伸至離岸 100-150 公里處，深度可達 800-1000 公尺。

(Liang et al., 2003; Hsin et al., 2008)

- 不同季風黑潮入侵呂宋海峽

冬季：黑潮入侵↑

夏季：黑潮入侵↓



臺灣周邊海流系統—黑潮

黑潮

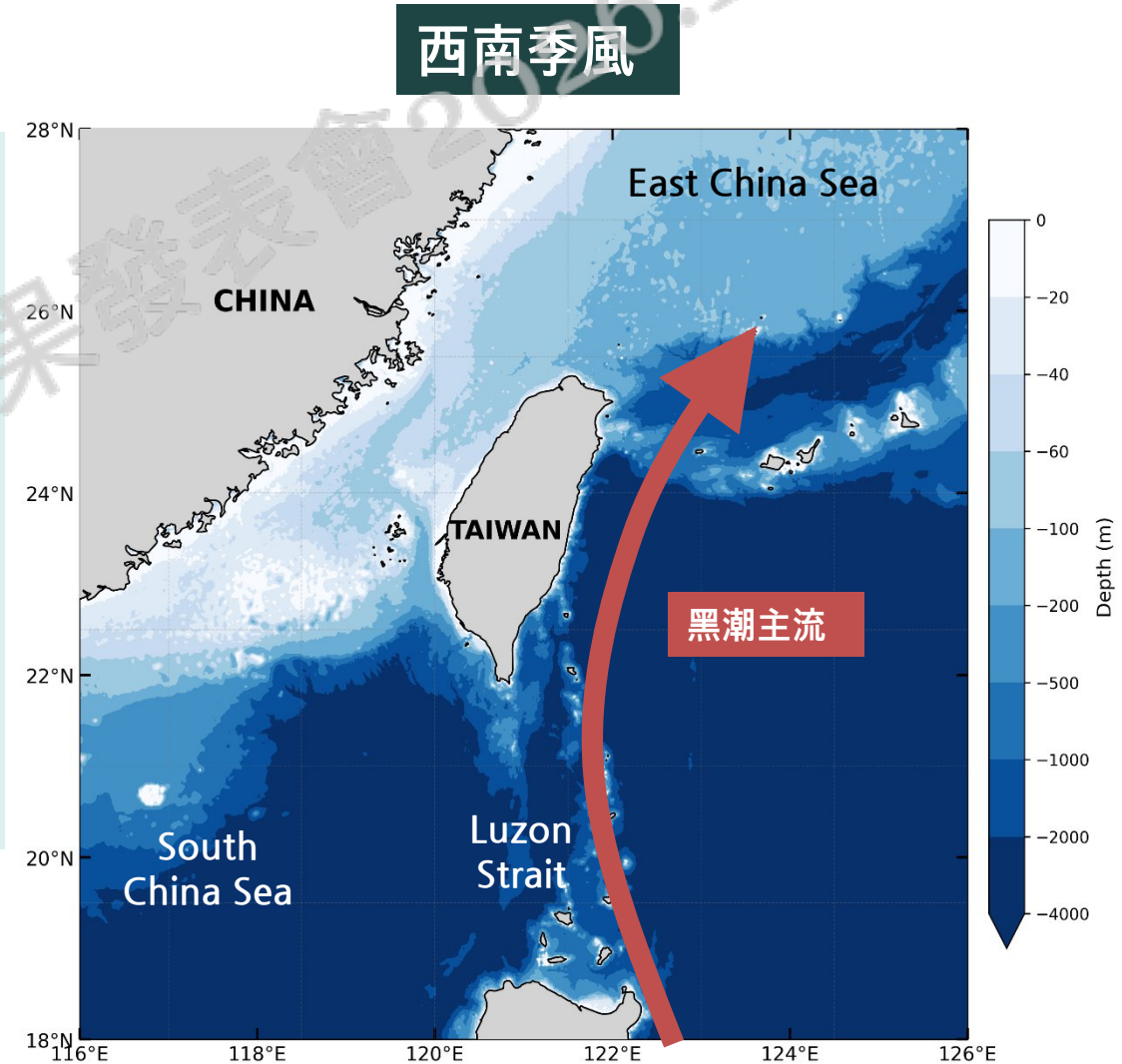
- 黑潮寬度從臺灣東岸延伸至離岸 100-150 公里處，深度可達 800-1000 公尺。

(Liang et al., 2003; Hsin et al., 2008)

- 不同季風黑潮入侵呂宋海峽

冬季：黑潮入侵↑

夏季：黑潮入侵↓



臺灣周邊海流系統—臺灣海峽

臺灣海峽

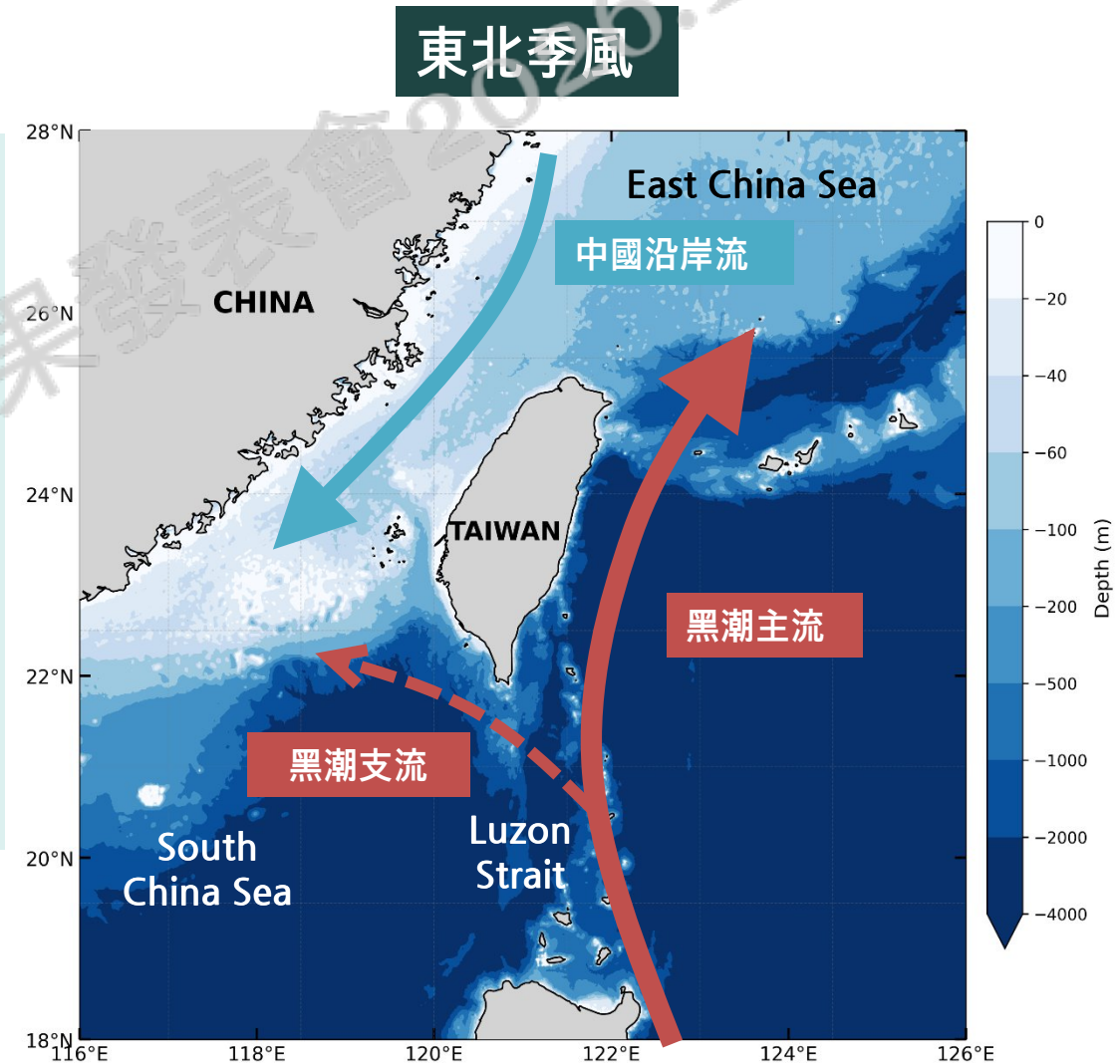
- 深度約為 60 公尺，
連接南海與東海的唯一直接通道。

- 不同季風主要海流

冬季：中國沿岸流、黑潮支流

夏季：南海暖流

(Guan, 1998, 2002; Guan and Fang, 2006 ; Hu et al., 2010)

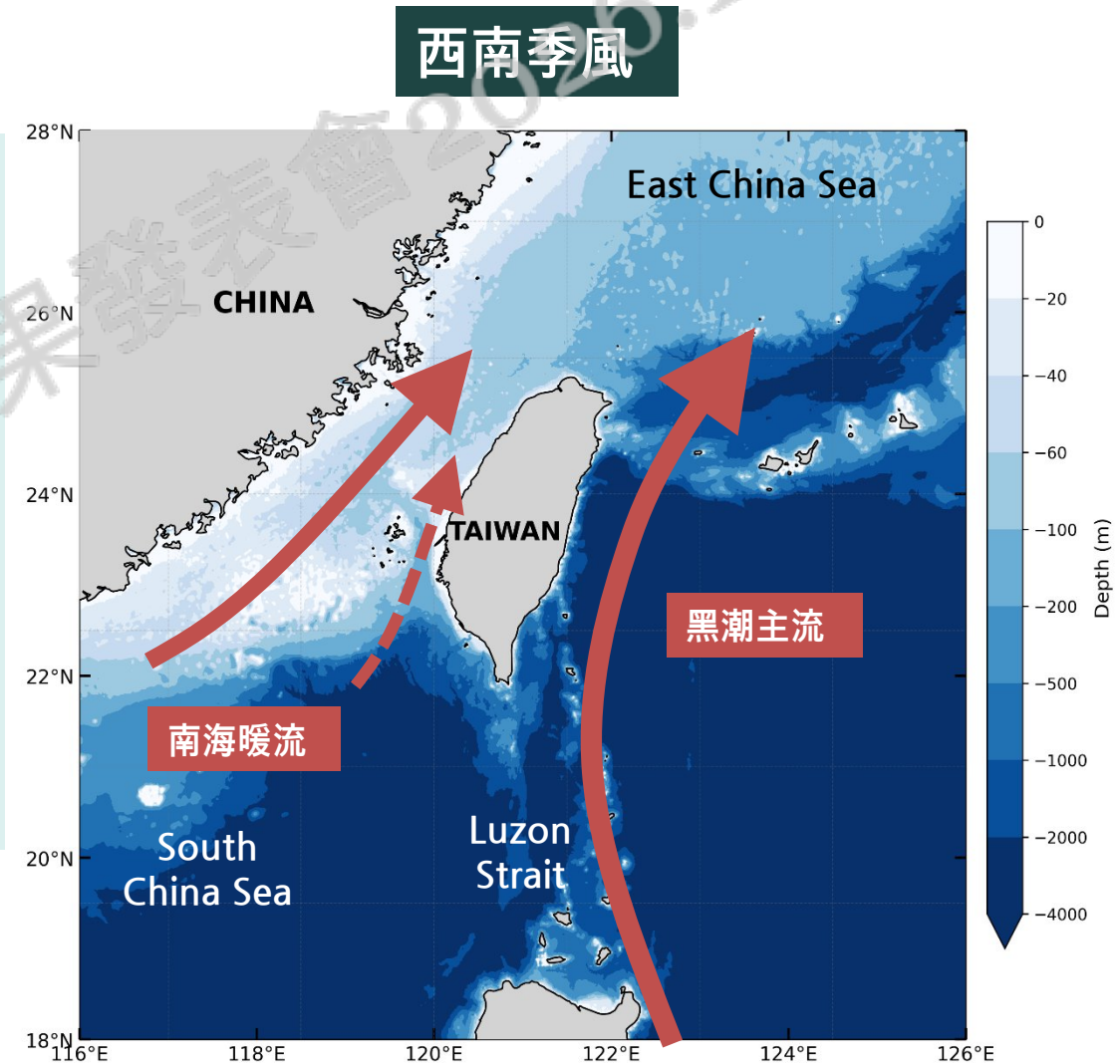


臺灣周邊海流系統—臺灣海峽

臺灣海峽

- 深度約為 60 公尺，
連接南海與東海的唯一直接通道。
- 不同季風主要海流
冬季：中國沿岸流、黑潮支流
夏季：南海暖流

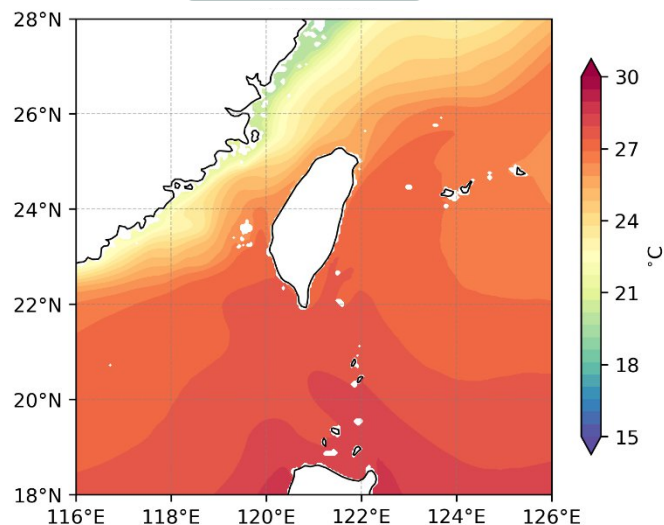
(Guan, 1998, 2002; Guan and Fang, 2006 ; Hu et al., 2010)



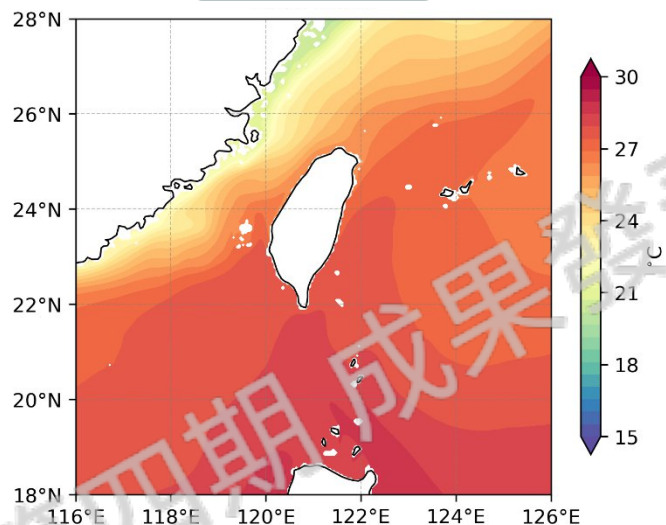
年際海表溫與海表流之變化

SST

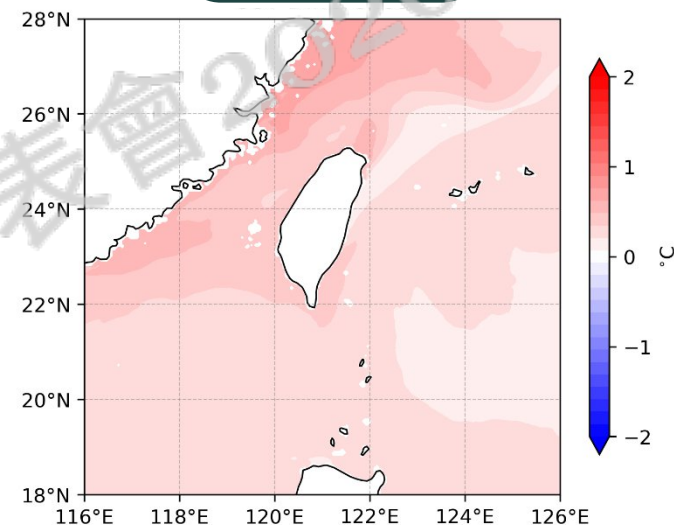
1981-2001



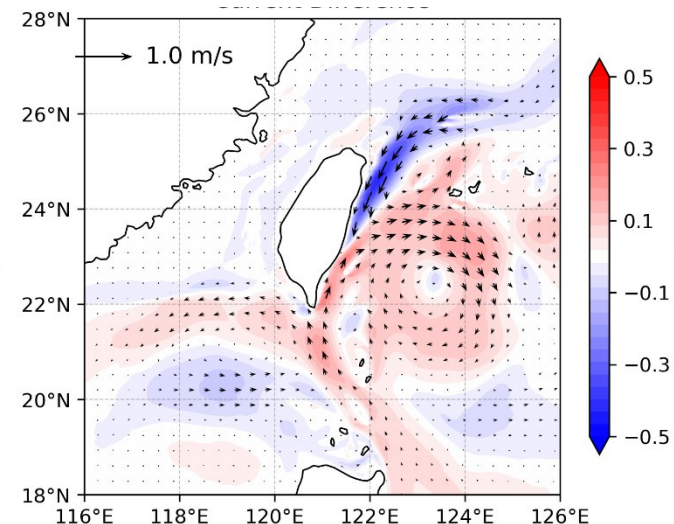
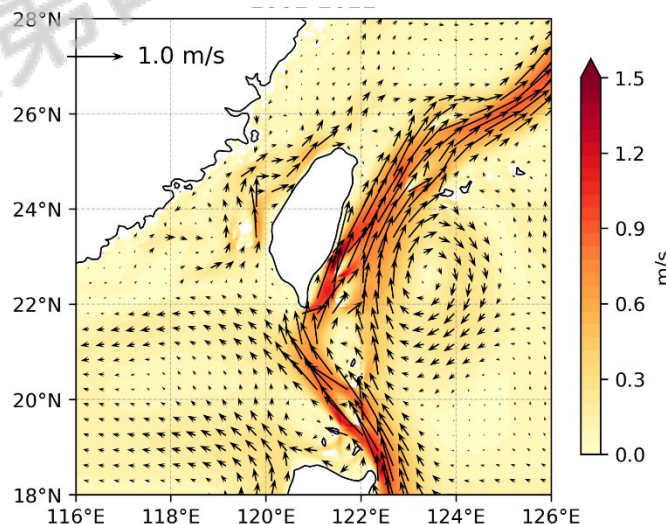
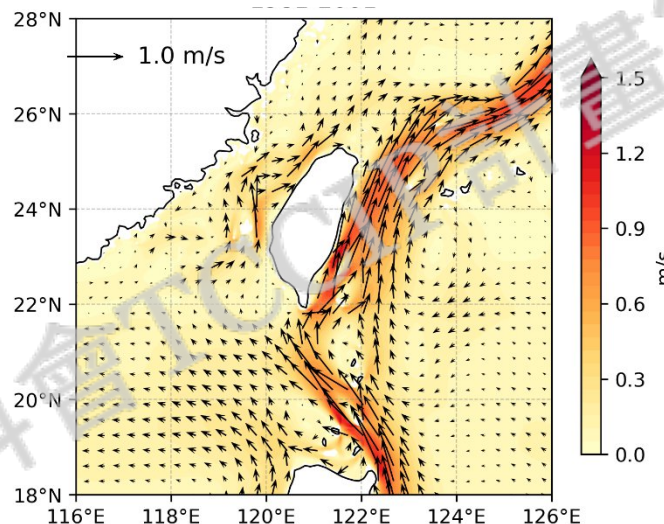
2002-2022



Difference



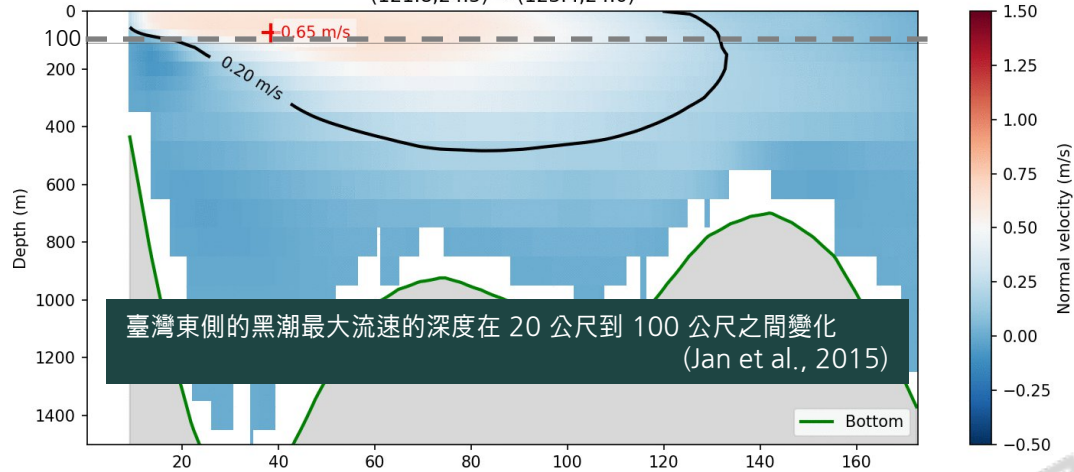
Current



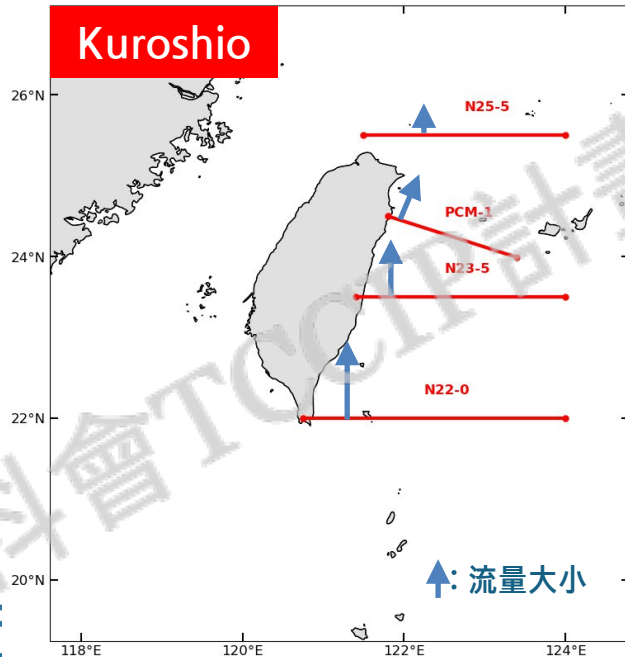
黑潮斷面傳輸量

PCM-1

Time = 1980-01-16T12, Monthly Transect Transport = 15.12 Sv
(121.8,24.5) → (123.4,24.0)

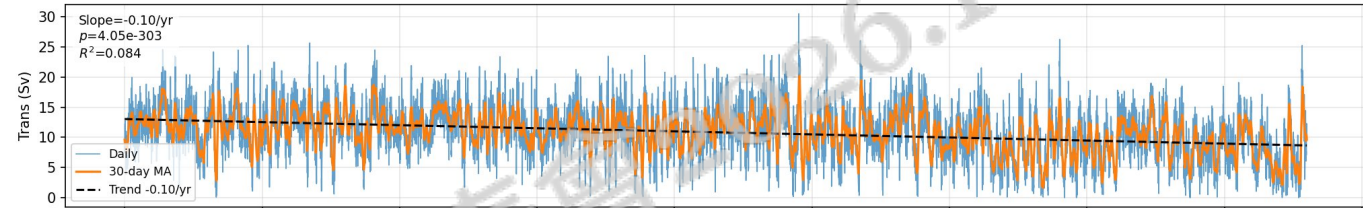


Kuroshio



N25-5

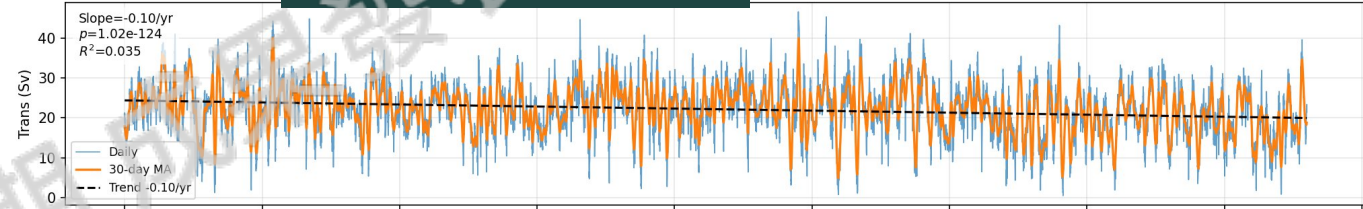
Mean=10.8 / Trend= -0.1/yr



PCM-1

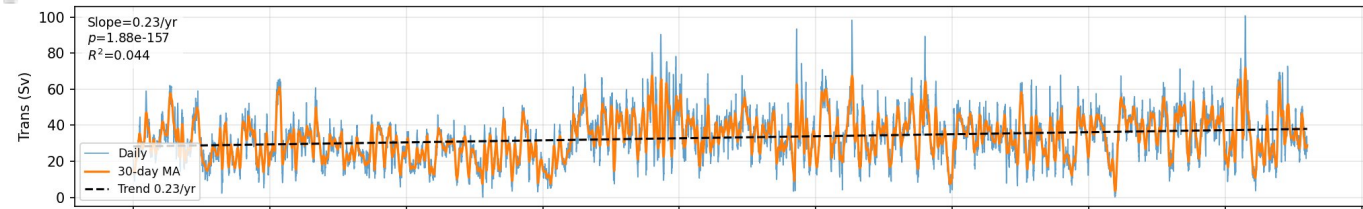
PCM-1平均傳輸量為 21.5 ± 2.5 Sv
(Johns et al. 2001)

Mean=22.2 / Trend= -0.1/yr



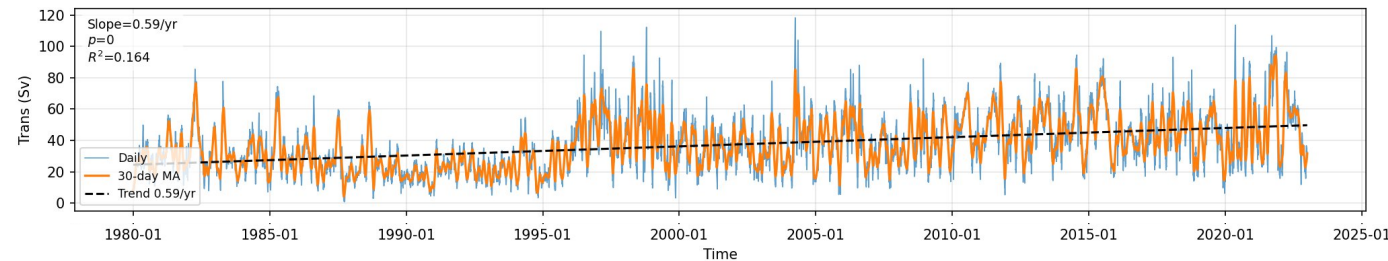
N23-5

Mean=33.1 / Trend=0.23/yr

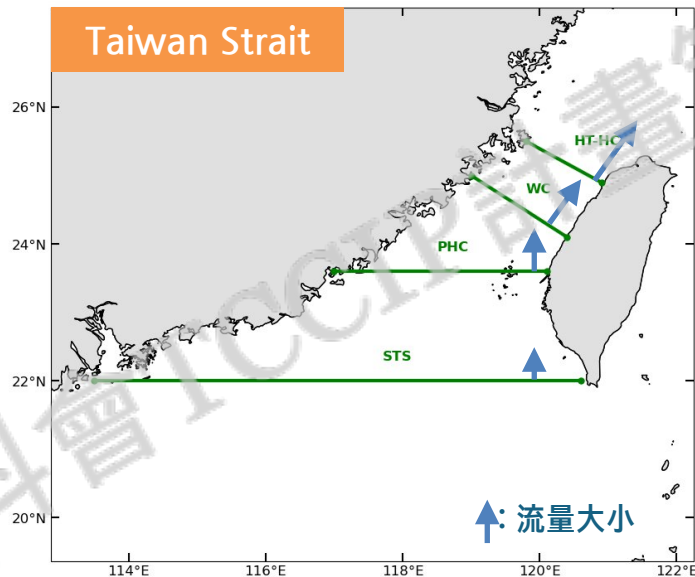
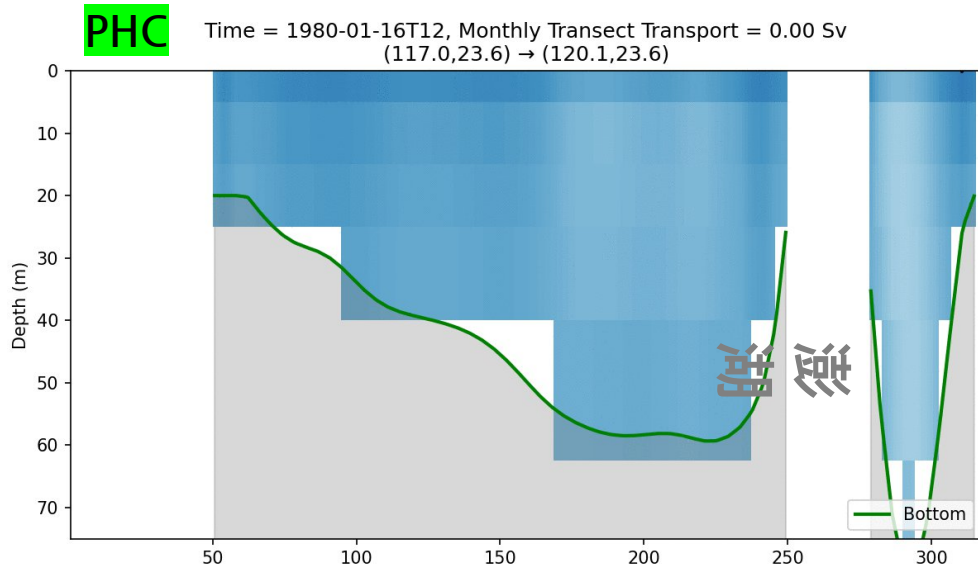


N22-0

Mean=37.1 / Trend= 0.59/yr

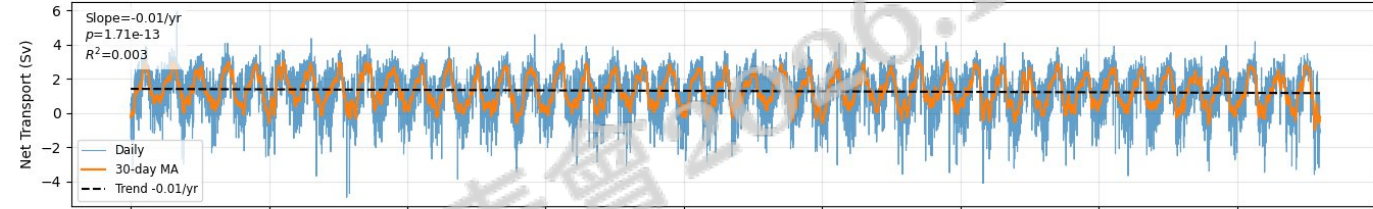


臺灣海峽斷面傳輸量



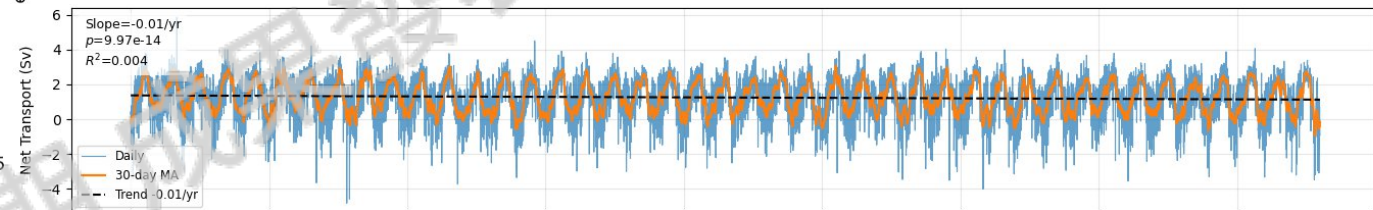
HT-HC

Mean=1.29 / Trend= -0.01/yr



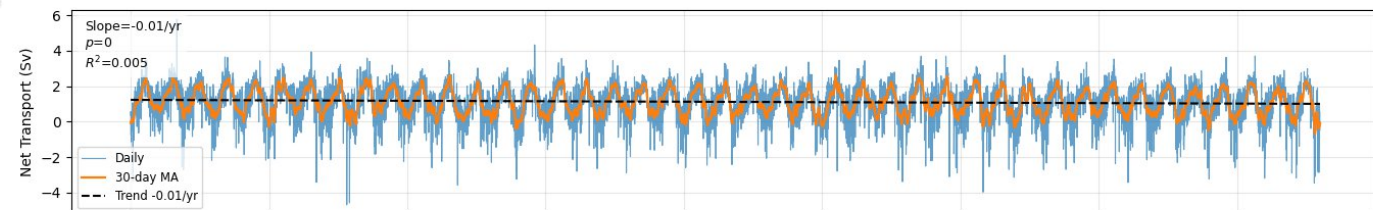
WC

Mean=1.25 / Trend= -0.01/yr



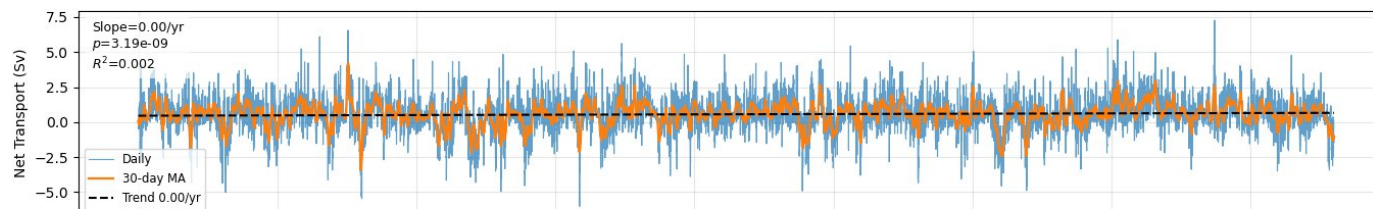
PHC

Mean=1.11 / Trend= -0.01/yr



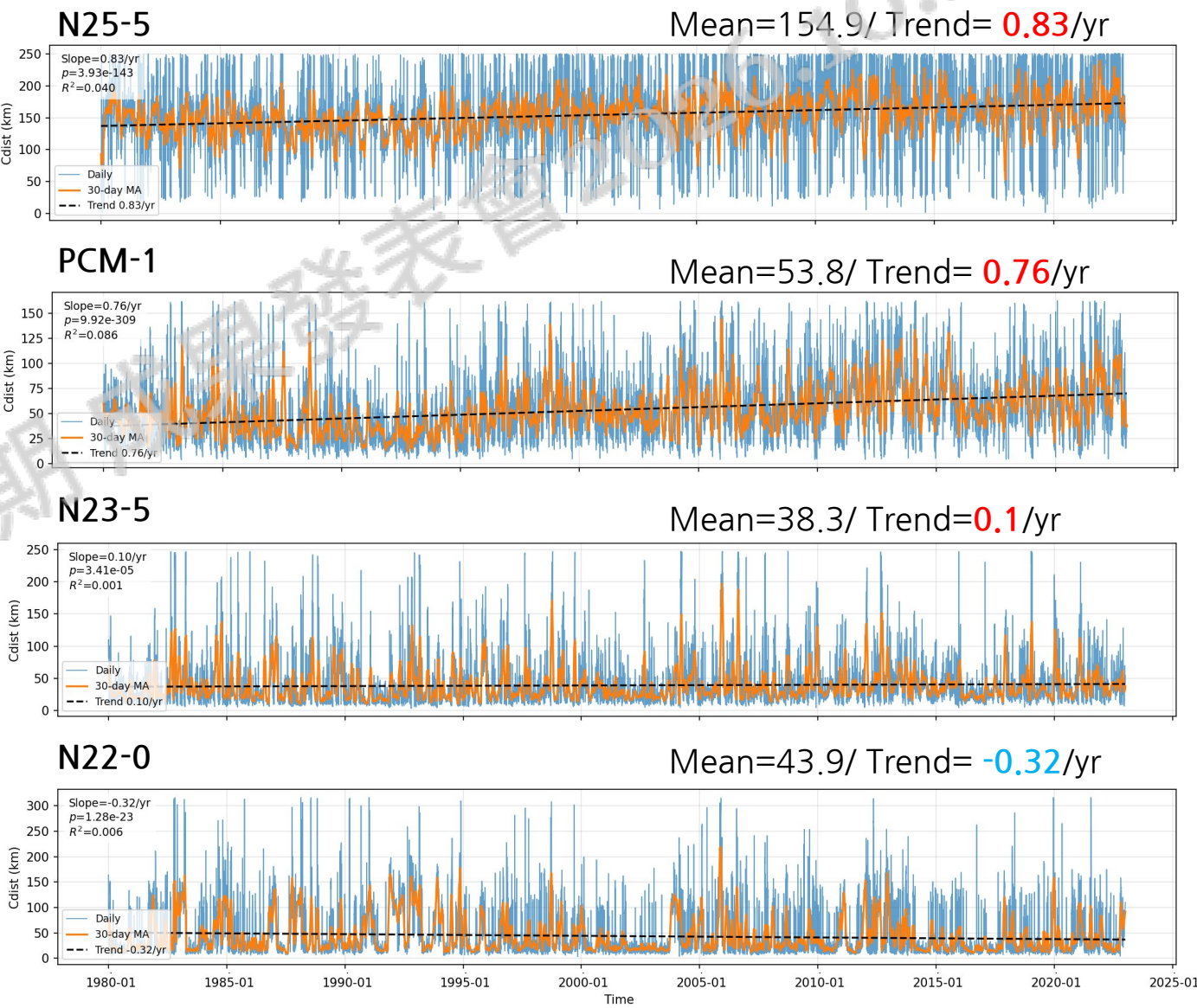
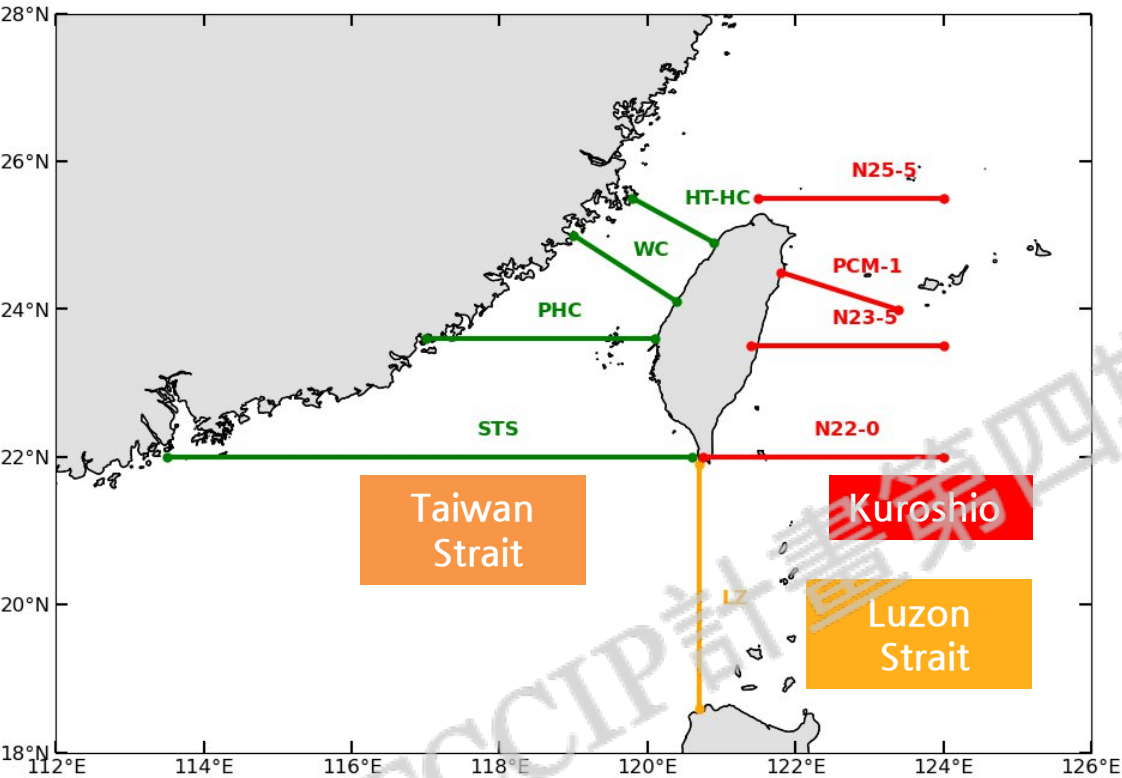
STS

Mean=0.56 / Trend= 0.00/yr

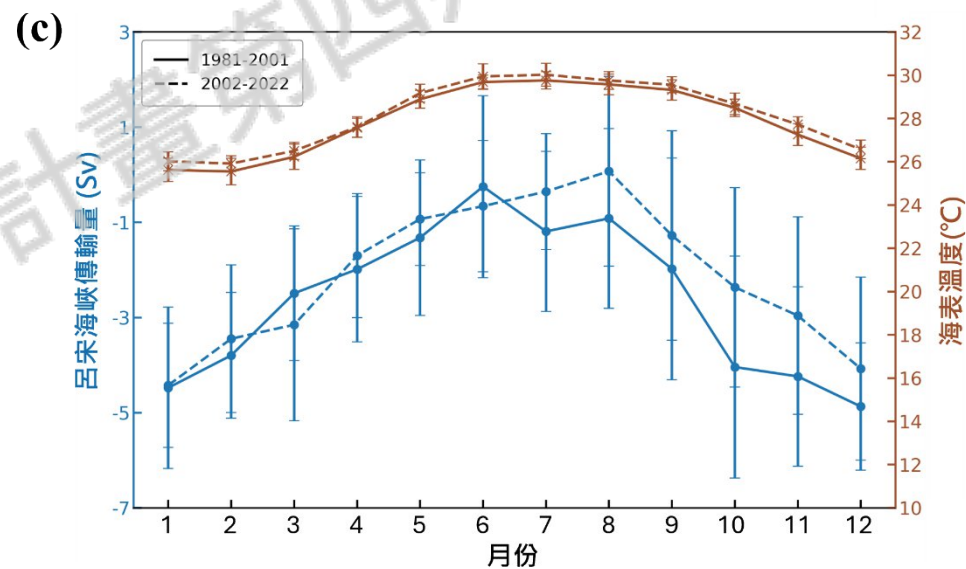
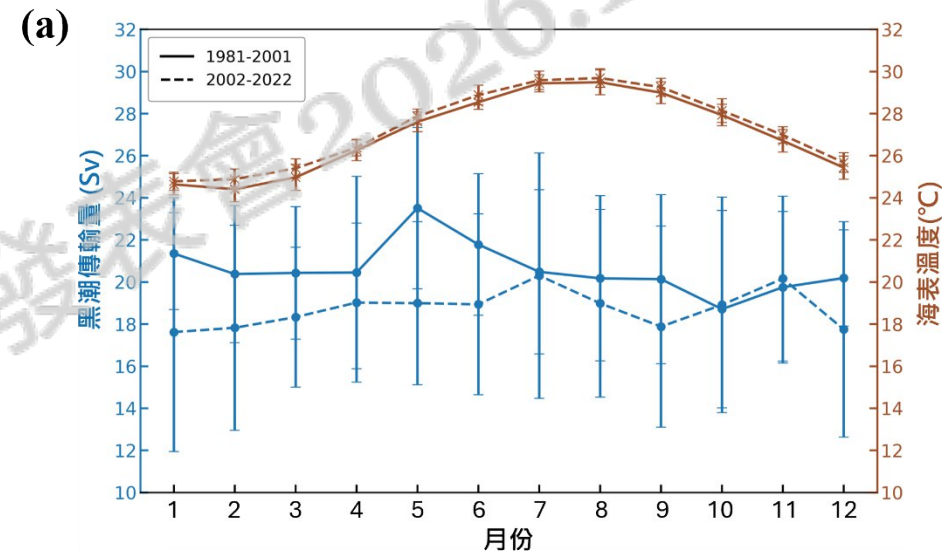
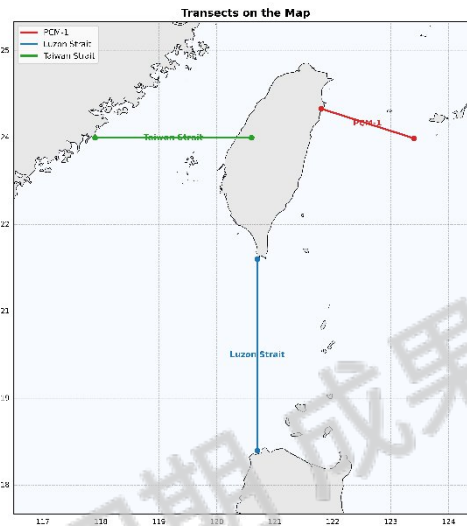
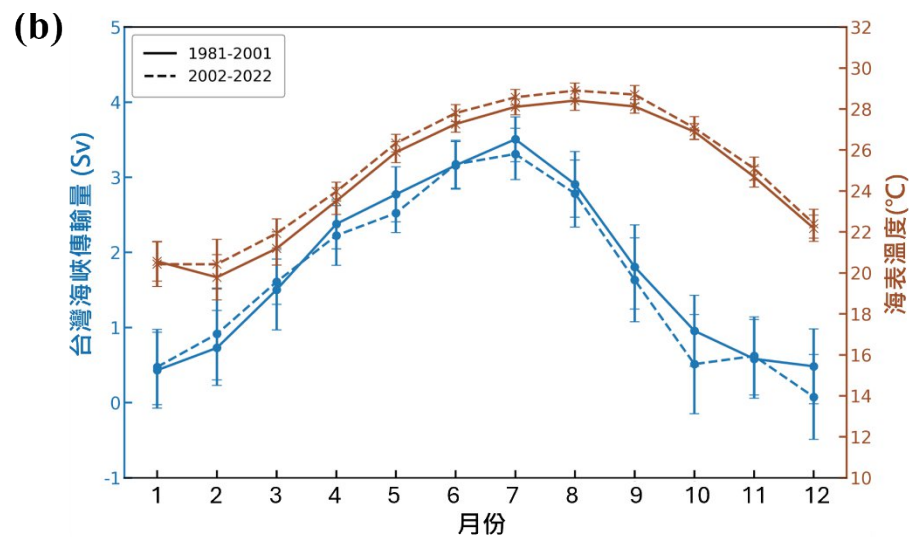


大部分北向水流經由漏斗狀的澎湖海峽流入，流量約佔總入流量之 60%
(Lin et al., 2005 ; Wang, 1999)

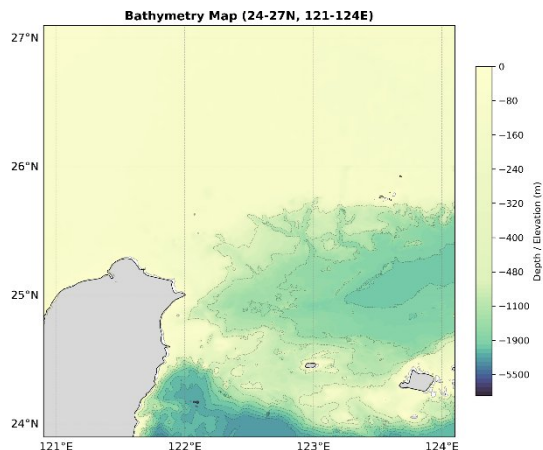
黑潮中心點之離岸距離



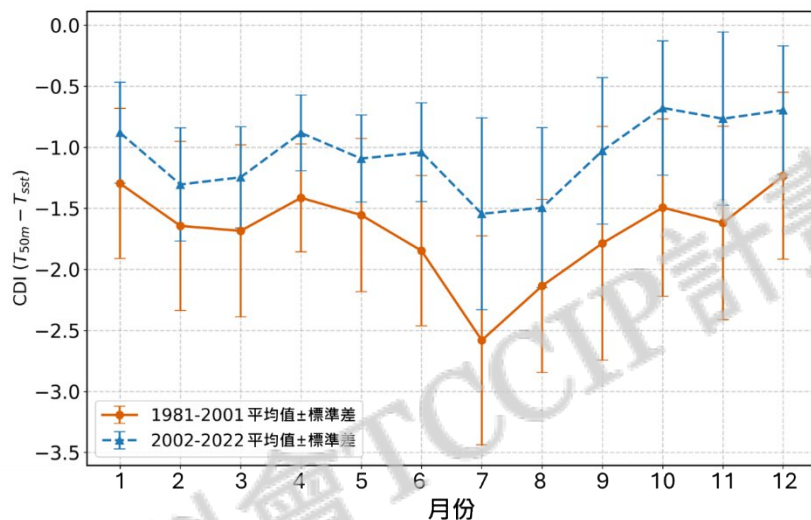
臺灣海域關鍵斷面傳輸量與海表溫之時序分析



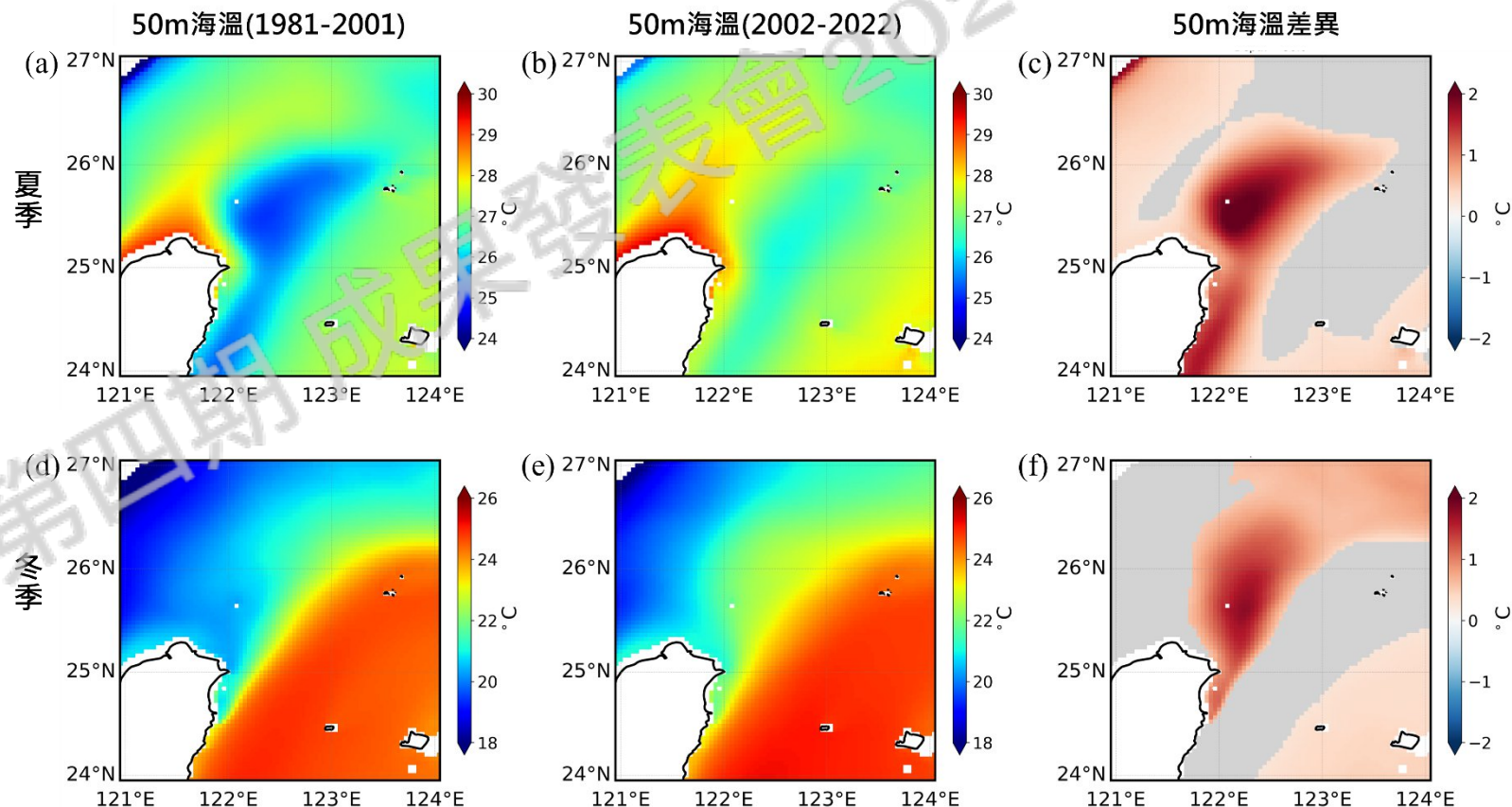
臺灣東北角冷丘年代際差異



臺灣東北角海底地形圖



臺灣東北角冷丘指數(CDI)之月變化



臺灣東北角冷丘，夏季與冬季1981-2001年與2002-2022年深度50公尺海溫與年代際海溫差異，灰色區域代表未達95%統計顯著性差異($p > 0.05$)

結論

1. 建構高解析度長期海洋重分析資料庫

運用約4公里解析度 HYCOM 與 ERA5-TReAD blending 大氣驅動資料，成功重建 1981 至 2022 年西北太平洋及臺灣周邊海域之三維海洋環境資料。

2. 模擬成果具高度可信度

經衛星測高及浮標觀測驗證，模式能準確重現黑潮路徑、海溫鹽季節變化及中尺度渦旋三維結構，有效彌補觀測資料時空不足。

3. 暖化影響臺灣周邊海洋動力系統

近 40 年來臺灣周邊海域呈現升溫趨勢，本研究發現臺灣東方黑潮輸送量近四十年呈現減弱趨勢，惟黑潮長期變化具有明顯區域差異，仍需結合觀測與模式進一步探討其氣候驅動機制。

4. 冷丘升溫與湧升作用減弱

臺灣東北角冷丘近二十年 CDI 顯示持續升溫，局部湧升機制趨於弱化，未來可能進一步影響海洋生態及漁業資源分布。

謝謝聆聽

TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

NSTC 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

NCDR 國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction