

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科
團隊合作獎

051905

探討聖嬰現象對黑潮的影響

學校名稱： 國立嘉義女子高級中學

作者： 高二 何書邑 高二 曾怡軒 高二 蘇芷圓	指導老師： 陳盈霖
---	------------------

關鍵詞： 黑潮、海流、聖嬰現象

摘要

本研究探討聖嬰現象對黑潮的影響，地域聚焦於北緯 20 度至 25 度、東經 120 度至 126 度的台灣周遭海域。將流速最大軸定義為黑潮主軸，分季節討論黑潮主軸離岸距與聖嬰指數的相關程度，考慮季風、地形、渦旋等變異因素，也計算迴歸直線方程式進一步建立關聯模型；討論黑潮主軸流速和聖嬰現象的關聯，藉相關係數與外部環境因子觀察。後發現聖嬰現象與黑潮主軸離岸距、黑潮主軸流速皆有所相關，相關程度在年際變化上不甚明顯，而是因應季節與緯度變化有不同程度的相關。

壹、前言

一. 研究動機

2022 年，時任中央氣象局長鄭明典在臉書表示，台灣黑潮路徑出現大蛇行，隨後吳朝榮教授接受中央社記者訪問，提及影響台灣一帶黑潮路徑的因素很多，例如中尺度渦旋、赤道信風等，此外，聖嬰年、反聖嬰年也會影響到黑潮擺動的情形，不過由於台灣觀測黑潮的時間不如日本來得久，許多部分仍有待研究。我們於是開始好奇，聖嬰現象會如何左右黑潮的擺動方向？聖嬰現象會讓黑潮流速增強或減弱嗎？有鑑於黑潮的偏離幅度常常反映在漁獲量，影響台灣漁業生態，我們必須更嚴謹的進行研究，包括嚴謹的數據來源、文獻參考、分析推論，並且期待建構出聖嬰指數與黑潮路徑之關聯性模型，為台灣周圍的海洋研究貫注心力。

二. 研究目的

- （一）利用海流流速定義不同時間的黑潮主軸路徑。
- （二）討論聖嬰現象（ENSO）與黑潮路徑偏移的相關性。
- （三）討論聖嬰現象（ENSO）與黑潮主軸流速的相關性。
- （四）建構聖嬰指數與黑潮路徑之關聯性模型。

三. 文獻回顧

（一）黑潮性質以及黑潮的擺動現象

黑潮是北太平洋西岸的暖流，終年流經台灣東部海域，其流向大致由南至北，不僅溫度與鹽度較台灣海峽的水流高，范光龍（2009）提及黑潮是北太平洋流速最強的海流，表面流速可達每秒 1 公尺。

Liang .et .al (2003)使用經向與緯向流流速，分析黑潮在台灣周圍海域的變動情形。黑潮流域範圍以緯向流速大於 10cm/s 區分，最大緯向流速被定義為黑潮主軸位置。黑潮經呂宋海峽時，部分黑潮入侵南海並流入台灣海峽，一路向北直至與黑潮主軸匯合。在蘭嶼兩側，黑潮再度一分為二，為雙速度軸，西邊主軸之最大速度為 70cm /s，東邊為 90cm/s。兩軸一路逐漸合併至北緯 24 度，在宜蘭海脊南方合併成一條主軸，因而向東偏轉，使黑潮遠離台灣海岸。過程中，在北緯

22 度至 24 度，黑潮與沿岸靠得較近，並無向東偏轉，因此可用緯向速度標示。當緯向速度由正轉負(向東為正)，即為沿岸逆流，可顯示黑潮東移；黑潮有微小的季節性擺盪，此擺盪在宜蘭海脊北方較明顯。

在許伯駿(2018)所編寫的海洋與大氣多尺度變動對台灣附近黑潮的影響中，黑潮最大速度軸也定義為沿著黑潮路徑具有最大表面速度的線，而黑潮最大速度軸在夏季（6 月至 8 月）和秋季（9 月至 11 月）偏離海岸，在冬季（12 月至隔年 2 月）和春季（3 月至 5 月）接近海岸。夏季平均速度較快，冬季較慢。

（二）黑潮與聖嬰現象的關係

C. Hwang 和 R. Kao（2002）發現黑潮傳輸量與 ENSO 指標具有中等相關性。而 Oey et al. 2010 在模擬實驗中，去除風場影響，黑潮的擺動現象與季節性黑潮熱通量變化相關。

（三）黑潮流速與黑潮主軸的關係

當黑潮流速上升時，黑潮主軸會傾向於離岸；黑潮流速下降時，黑潮主軸會傾向於近岸（林永富，2013），這個結論我們用於分析黑潮流速與離岸位置關係。

（四）湧升流與黑潮擺動現象的關係

當黑潮流經台灣東海岸時，會因為遇到東西走向的東海陸棚，進而造成黑潮的海水向東偏移，在黑潮西側產生伴隨著湧升流出現且逆時針旋轉的渦旋，（林永富，2011），而因湧升流而產生的反流與黑潮流向相反（蔡易辰，2022），我們利用這兩個結論來推導出湧升流對黑潮流速的影響，進而了解黑潮的擺動現象。

（五）地形因素與黑潮擺動現象的關係

地形 β -spiral 理論指出，當底層流的方向不平行於等深線時，海流從表層到底層會發生氣旋式的偏轉 Yang .et .al（2017）提及之文獻 Stommel H, Schott F,（1977），我們由此推論黑潮在台灣東部產生了氣旋式的偏轉，影響到黑潮主軸的離岸距離。

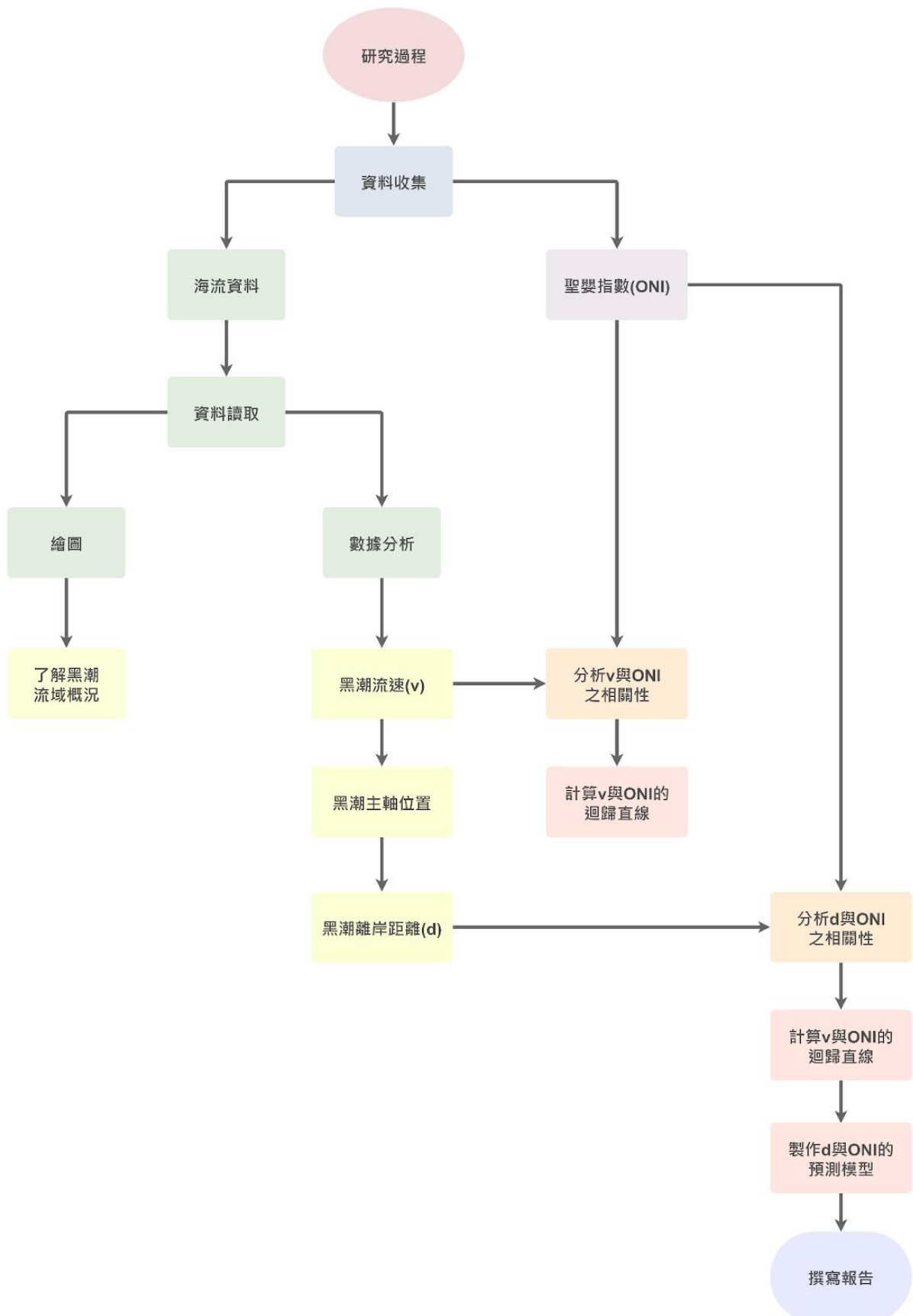
（六）渦旋與黑潮流速的關係

氣旋式渦旋接近黑潮時，黑潮流速減弱；反氣旋式渦旋接近黑潮時，黑潮流速增強（黃茂城，2015），我們運用此結論解釋當產生渦旋時黑潮流速會如何變化。

貳、研究設備及器材

- 一. ESR（Earth Space Research）提供的 OSCAR（Ocean Surface Current Analysis Real-time）海流分析資料庫
- 二. NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration）中 Climate Prediction Center 所提供的海洋聖嬰指數（ONI）資料庫
- 三. Excel（2016）
- 四. Spider（5.4.3）（Python 程式編輯器）
- 五. 筆電
- 六. 文具
- 七. 實驗紀錄簿

參、研究過程或方法



圖（1）：實驗流程圖(研究者自製)

一、蒐集資料

(一) 流速數據

本研究使用之流速數據來自 NASA EARTHDATA 中的 ESR(Earth Space Research)所提供之 OSCAR (Ocean Surface Current Analysis Real-time)海流分析資料，其海洋表面混合層速度根據地轉流、艾克曼理論、熱風動力學所導出的物理模型計算而成，使用的衛星數據包含海面高度、海面向量風、海表面溫度，數據來源依項目分為：

1. 海面高度 (SSH) : SSALTO/DUACS delayed-time absolute dynamic topography (ADT) global gridded product
2. 風 (WINDS) : ERA5 10m reanalysis vector winds
3. 海表面溫度 (SST) : Canada Meteorological Center. 2016. CMC 0.1 deg global sea surface temperature analysis

OSCAR 分析目前已廣泛應用於各類研究，例如於漁業資源管理、海洋動物遷徙等海洋研究，其對於穩態風與全流域尺度的準穩態計算已經被證明是成功的。衛星遙測分析有別於傳統監測方法需要實地放置探測儀，且通常侷限於特定海域和時間，而是能夠大範圍且作業化進行偵測，具有空間和時間上的優勢，能夠長期觀測，符合本研究的作業需求，這也是我們使用它的原因。

(二) 海洋聖嬰指數(ONI)

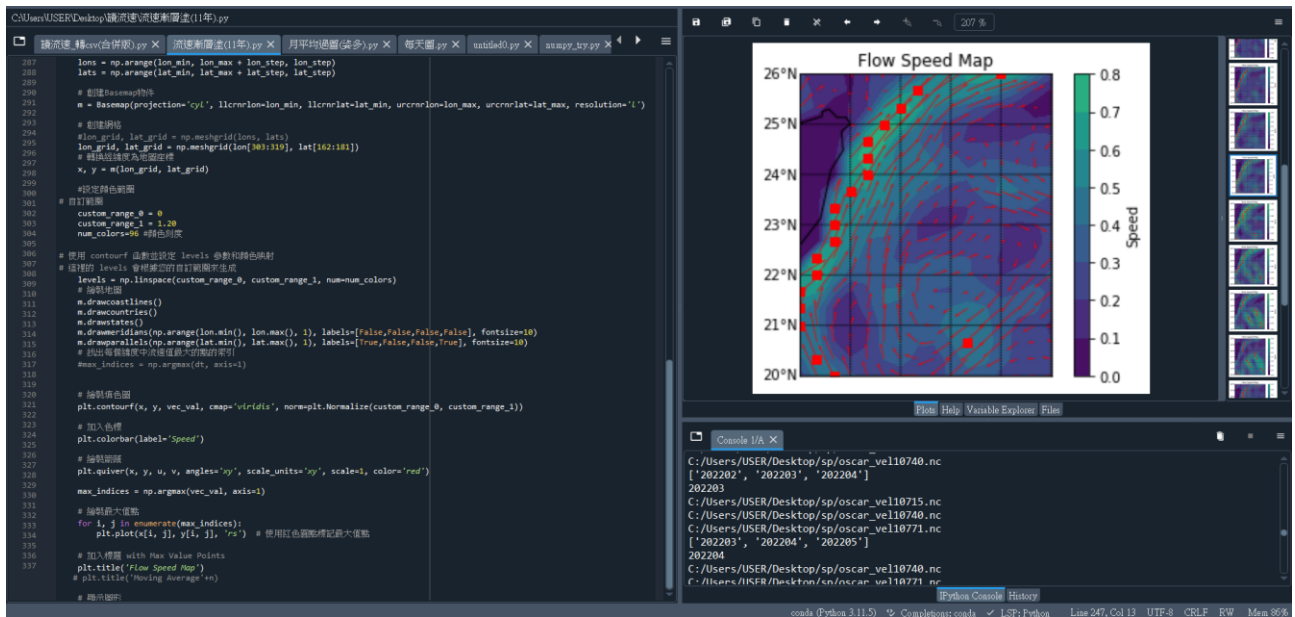
聖嬰現象的監測具有許多相關指標，本次我們選用 NOAA 中 Climate Prediction Center 所提供的海洋聖嬰指數 (ONI)，提取 2012 年~2023 年的資料。ONI (Oceanic Niño Index) 是在 Niño 3.4 區域中 3 個月移動平均的赤道中太平洋海域[5° N-5° S, 120°-170° W]海溫異常值，亦是目前監測聖嬰現象最常用的指標，較之南方振盪指數 (Southern Oscillation Index, SOI) 更能呈現聖嬰現象在北半球海域的顯著程度，後續我們將使用此指數進行相關性分析。



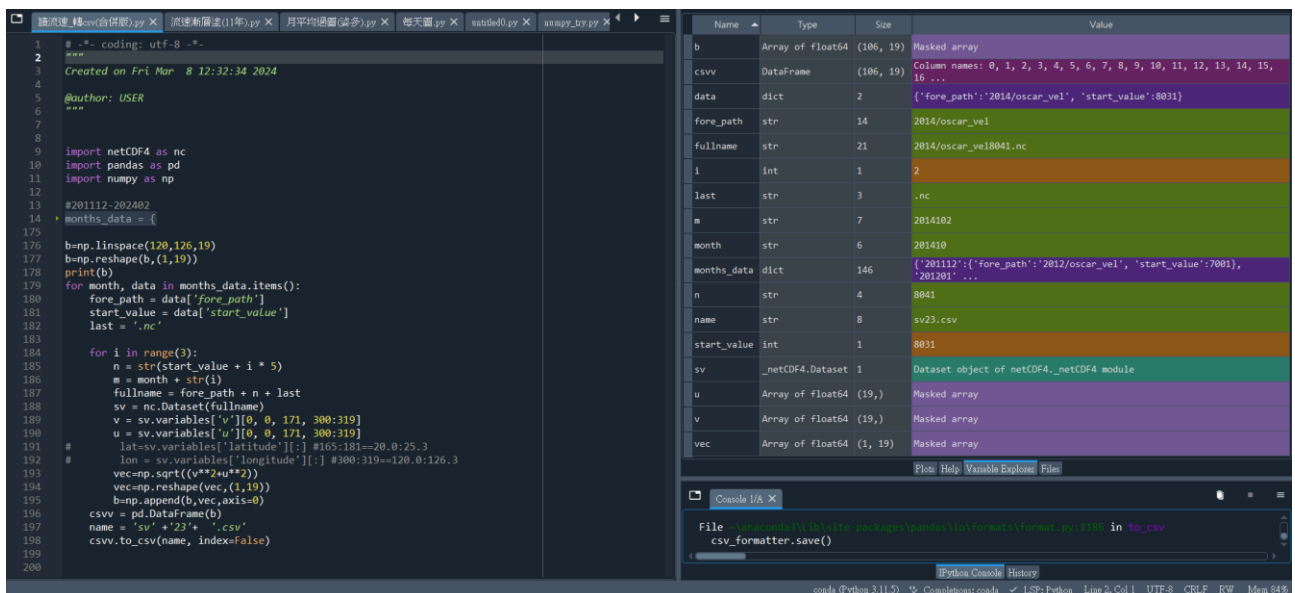
圖 (2) : ESR 之 OSCAR 海流分析資料與 Climate Prediction Center 的海洋聖嬰指數 (截自 NASA EARTHDATA 網站頁面、NOAA 網站頁面)

二、讀取數據

OSCAR 海流分析資料原檔為 NetCDF 格式 (以下簡稱為 NC 檔)，為了開啟 NC 檔，將資料匯出為 CSV 檔的形式，以便轉檔至 Excel 進行後續分析，我們撰寫 Python 程式來讀取流速數據。程式主要功能有三：一、框定區域，也就是內含經緯度調整項，能夠在全球範圍選取研究需要的資料範圍；二、繪製流速流向分布圖，用顏色區分流速快慢，箭頭顯示流向，紅點顯示同緯度黑潮速度最大位置 (如圖 3)；三、將流速數據儲存為 CSV 檔，以逗號分隔的 CSV 檔便於轉為最終分析數據的 Excel 檔 (如圖 4)。



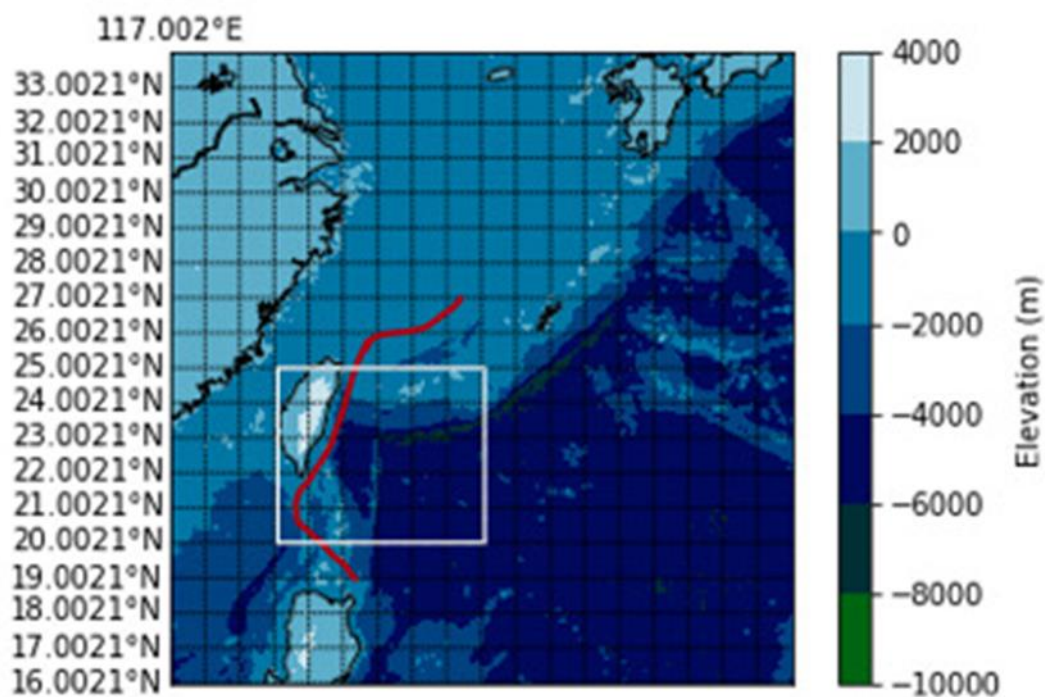
圖（3）：畫流速圖之 Python 程式 (研究者自製)



圖（4）：資料轉 CSV 檔之 Python 程式 (研究者自製)

三、選取研究區域

此研究專注於北緯 20 到 25 度、東經 120 到 126 度區域內的台灣周圍海域，特別是黑潮分布區域及其主軸移動範圍。

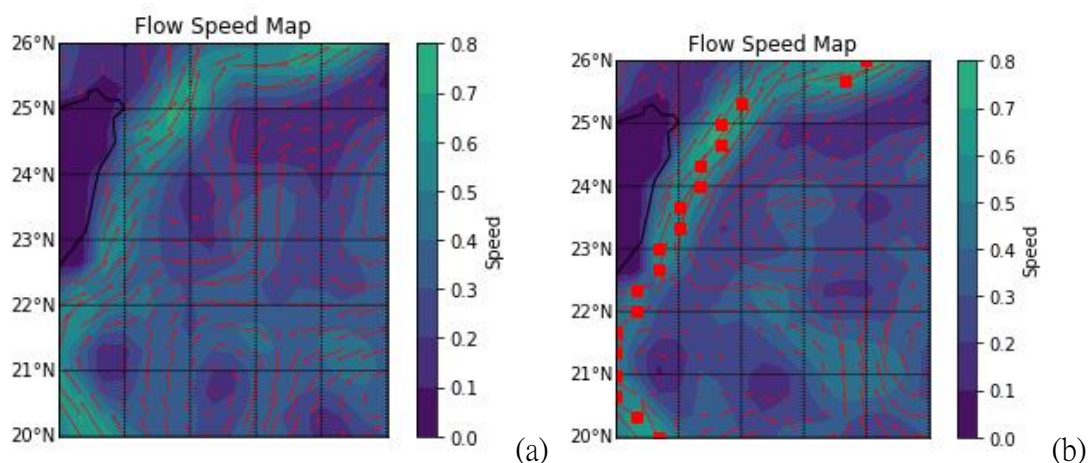


圖（5）：研究區域。白色框研究範圍，紅線為黑潮主軸。(研究者自製)

四、資料分析

（一）流速流向分布圖的繪製

黑潮主軸，也就是不同緯度的台灣東部海流流速最大值的連線，可以作為觀察黑潮主流移動幅度的指標，此小節我們繪製流速流向分布圖初步觀察黑潮擺動的特性，分為季節性擺動及年際擺動說明。



圖（6）：（a）為台灣周圍海洋流速與流向分佈圖，右縱軸顏色分層表示流速，單位是 m/s；箭頭方向是海流流向，箭頭長度越長流速越快，越短則反之。（b）中紅方塊為每緯度流速最大值，視為黑潮主軸位置。(圖為研究者自製)

1. 季節性變化

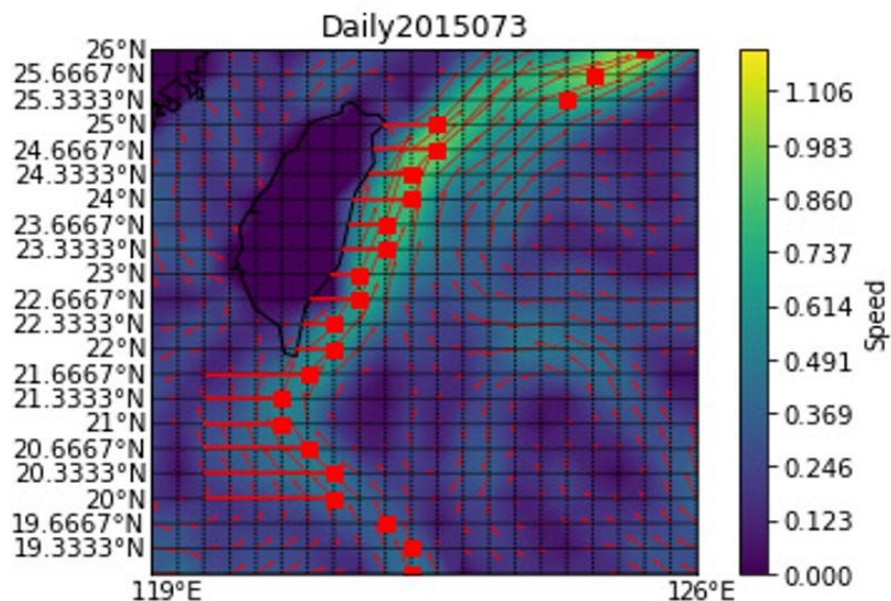
首先，為了觀察台灣東岸四季的黑潮主軸變化，我們提取 2015 年（3 月至 12 月）與 2016（1 月至 2 月）的流速資料，分為春（3 月、4 月、5 月）、夏（6 月、7 月、8 月）、秋（9 月、10 月、11 月）、冬（12 月、1 月、2 月）。為了降低颱風在內的短期氣像因素影響統計結果，我們用 Python 計算流速的季平均值，並繪製成台灣周圍海洋流速與流向分佈圖。

2. 年際變化

本研究致力於探討黑潮擺動與聖嬰現象的關聯，此節旨在以圖做初步判斷，因此，我們從聖嬰指數資料中選取聖嬰現象顯著、反聖嬰現象顯著與正常的年份，分別為 2015 年、2022 年、2017 年。上個小節探討黑潮會否因季節不同有相異的路徑，在還未得到定論前，為了降低季節因素影響，年份中也以季節分類，各自對比聖嬰現象所導致的年分間的黑潮路徑差異。

（二）黑潮主軸的離岸距離的判讀

上個段落，我們用 python 繪圖比較黑潮主軸在年際和季節之間的變化，直觀且初步的觀察到黑潮受到此二者影響後，將如何在路徑上產生改變，接下來，則是得更精準計算出黑潮主軸與台灣本島沿岸的距離，如此才得以量化為實際數據，經過統計，得出黑潮擺動的幅度大小，進行更進一步與聖嬰指數的關聯性分析。詳細做法如下：首先，將緯度分為 20°N 至 25°N，每筆間隔 1/3 度的代表台灣周圍各個緯度位置的海域，在後續的步驟中各自獨立進行計算與分析，再來，用 Excel 找出同緯度的東經 120~126 度範圍內（黑潮範圍）流速最大的點，和其經度位置，計算此經度與同緯度台灣東部海陸分界點的經度之差值，再換算此緯度範圍內，經度一度等於多少公里，用先前算的經度差值乘之，即為黑潮主軸離岸距（d）。而 20°N 至 21.7°N 的範圍因位於台灣南部海域，無法自黑潮位置正西方尋找海陸分界點，故以東經 119.7 度作為參照。



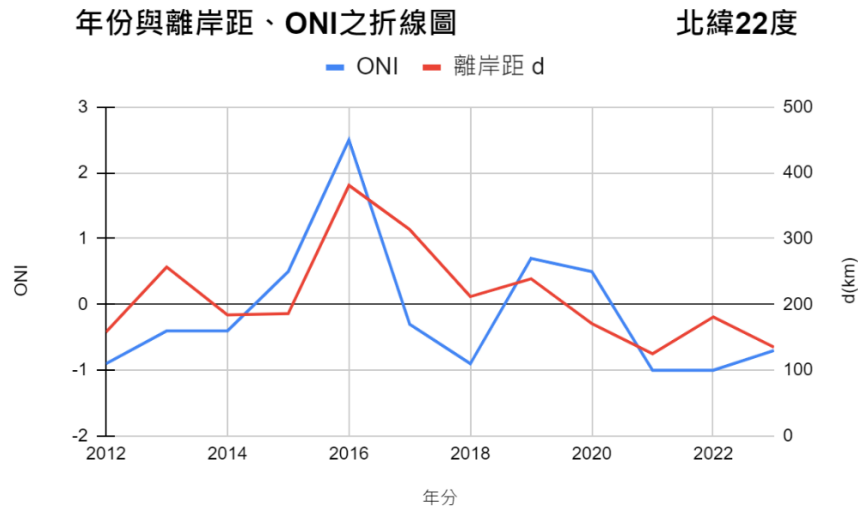
圖（7）：台灣沿岸距離 "d" 示意圖。(研究者自製)

紅線為黑潮主軸位置與台灣沿岸距離 "d"，北緯 22 度之下取黑潮主軸與東經 119.7 度經的距離為 "d"。

（三）離岸距離與聖嬰現象的關聯性分析

1. 聖嬰指數與黑潮離岸距的折線圖

本研究旨在探究黑潮位置變動與聖嬰現象之關係，上節已利用 Excel 算出黑潮主軸離岸距，為了得知其與聖嬰指數有何關聯，我們決定選取研究範圍中的北緯 22 度，將 2012 至 2023 年的聖嬰指數變化與 2012 至 2023 年黑潮離岸距離變化做成折線圖對比，觀察兩者之間是否有相關的變動趨勢。



圖（8）：聖嬰指數與黑潮離岸距的折線圖。(研究者自製)

藍線為海洋聖嬰指數，以三個月移動平均為單位，紅線為 22°N 黑潮離岸距離 (d) 移動平均，以台灣東部海岸起始點為 0、向東為正。

圖（8）兩者所呈現的趨勢大致相似，不過並不完全吻合或完全相違，無法輕易斷定其趨勢走向是否呈現正相關或負相關，原因或許是出於此圖資料範圍涵蓋整整 12 年，導致其間季節因素無法明確被提出討論（上文提及黑潮主軸可能具有季節性擺動的現象），我們將於接續的討論中改善此問題。

2. 聖嬰指數與黑潮離岸距離 (d) 的相關程度

(1) 相關係數（皮爾森積差相關係數）

有鑑於季節對研究結果可能有潛在影響，為去除不同季節衍生之黑潮離岸距差異，下文相關程度探討將分為五部分：春（3 月、4 月、5 月）、夏（6 月、7 月、8 月）、秋（9 月、10 月、11 月）、冬（12 月、1 月、2 月）、全年；d 之取值範圍介於 20°N 至 25°N 間，每筆間隔 1/3 度，下文獨立探討各緯度的情況。另外，海洋聖嬰指數的計算形式為三個月的移動平均，為使結果兼具正確性與說服性，我們將黑潮主軸離岸距也計算成三個月的移動平均，並計算兩者相關係數。

(2) 回歸直線

我們繪製黑潮主軸離岸距與聖嬰指數的散布圖，並且標示出迴歸直線及其直線方程式，希望能夠建構出用聖嬰指數推估黑潮離岸距的模

型。根據相關係數之計算結果（將呈現於研究結果），可得知黑潮與聖嬰現象的相關程度在春冬兩季較為顯著，又 20°N 至 25°N 各區間於相關係數上存在歧異，因此，此次迴歸直線計算將不列入關聯性低的夏秋兩季，並且把春冬兩季分上述各緯度區間各別產製出關聯模型，完整的迴歸直線方程式與 R 平方值統整則呈現於研究結果之表（3）。

（四）黑潮最大流速與聖嬰現象的關係

1. 流速數據處理

此處處理黑潮流速資料的方法，與上述處理黑潮離岸距相似，詳細步驟為：將緯度分為 20°N 至 25°N，每筆間隔 1/3 度，作為主要研究範圍；再來，用 Excel 找出同緯度的東經 120~126 度範圍內（黑潮範圍）最大流速數值，視作黑潮主軸流速（文獻提及最大流速位置可視為黑潮主流位置），也因為聖嬰指數是三個月的移動平均，為了讓兩者具可比性，將最大流速也計算為三個月的移動平均。

2. 黑潮主軸流速和聖嬰指數的相關程度

（1）相關係數

用 Excel 計算流速資料與海洋聖嬰指數的相關係數，數值皆是三個月的移動平均，各緯度獨立進行計算，而有鑑於上節觀察到黑潮路徑和聖嬰指數的關係存在季節性變異，我們在計算流速與聖嬰指數的相關係數時，考慮春、夏、秋、冬的季節分項，詳見研究結果之表（4）。

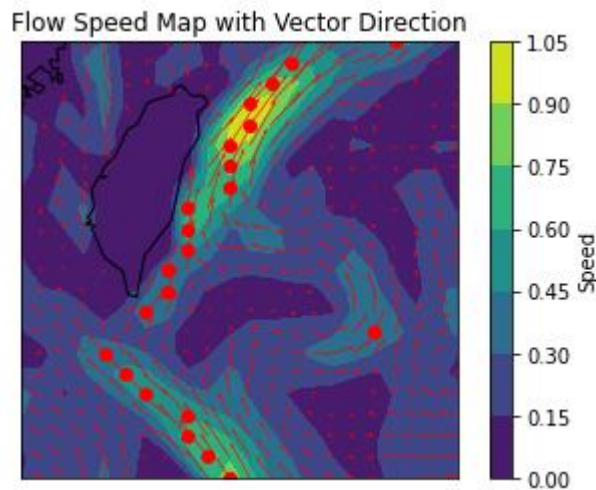
（2）折線圖比對

繪製成果分為春夏秋冬四部分，縱軸是黑潮主軸流速和聖嬰指數的相關係數，橫軸是緯度位置，藉此比對季節間是否有相似或相反的趨勢，亦顯示出緯度位置的變化會否影響兩者間的相關係數，季節和緯度的變化又是何者影響較劇。

肆、研究結果

一. 台灣周遭海流概況

我們以流速資料與研究過程中提到的黑潮主軸定義方法建構台灣周圍海流的概況，下方圖（9）是 2022 年冬季的台灣周圍海洋流速與流向分佈圖，以顏色深淺直觀呈現海流流速變化，顏色越淺，流速越快；顏色越深，流速越慢，黑潮流速最大約可達 1.05m/s，箭頭指向為海流流向，箭頭長度同樣表示海流流速，箭頭越長，流速越快；箭頭越短，流速越慢。由圖可見，台灣沿岸黑潮流速最大值出現於東北一帶，西南沿海黑潮流速則與周遭海水較為接近，然而還是以約 0.15m/s 的差距略高於周遭海水。另一個特別的現象是反氣旋式渦旋，出現於台灣東南方，且其具有一定的轉速，有關於此反氣旋式渦旋的作用機制曾在前人研究中提及（Zhe-Wen Zheng, 2022）。



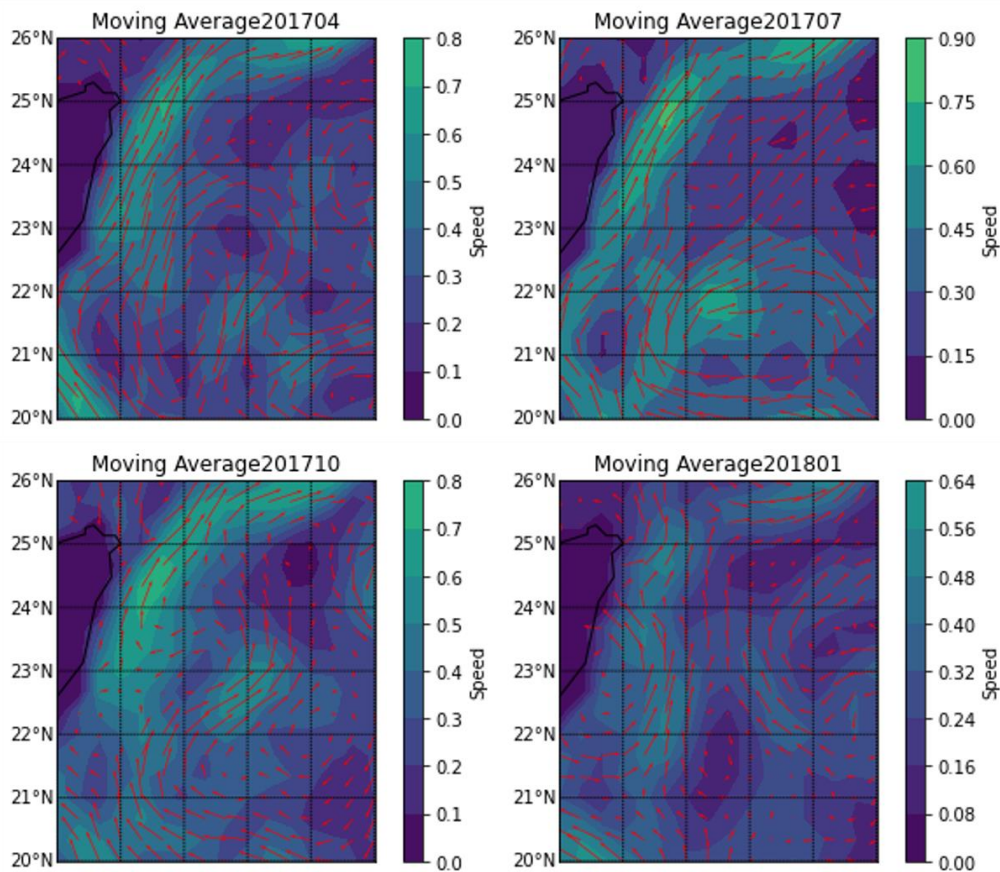
圖（9）：台灣周圍海洋流速與流向分佈圖。(研究者自製)

右縱軸顏色分層表示流速，單位是 m/s；箭頭方向是海流流向，箭頭長度越長流速越快，越短則反之。

二. 從自製圖觀察黑潮主軸移動

（一）季節性擺動

下方圖（10）呈現的是 2017 年的四季分佈圖。從流速觀點來看，夏季黑潮平均流速最大可達約 0.9m/s，其他季節黑潮流速最大介於 0.7m/s~0.8m/s，由圖中顏色分層也可初步推測出夏季黑潮平均速度高於其他季節。從黑潮在台灣沿海之連貫性觀之，可以在圖（10）冬季圖（201801）發現，黑潮潮流由南往北流時，在巴士海峽往西偏移幅度頗大，造成水流不集中，這可能是導致冬季台灣東南沿岸黑潮流速較慢的原因。再來，台灣東北部黑潮冬季容易向陸岸（向西）擺動，夏季則容易向離岸方向（向東）擺動，此現象可用 JEBAR（Joint Effect of Baroclinicity and Relief）效應解釋之，可能的原因是冬季時台灣北部海域熱量喪失程度高，又受到周圍地形坡度影響而造成。

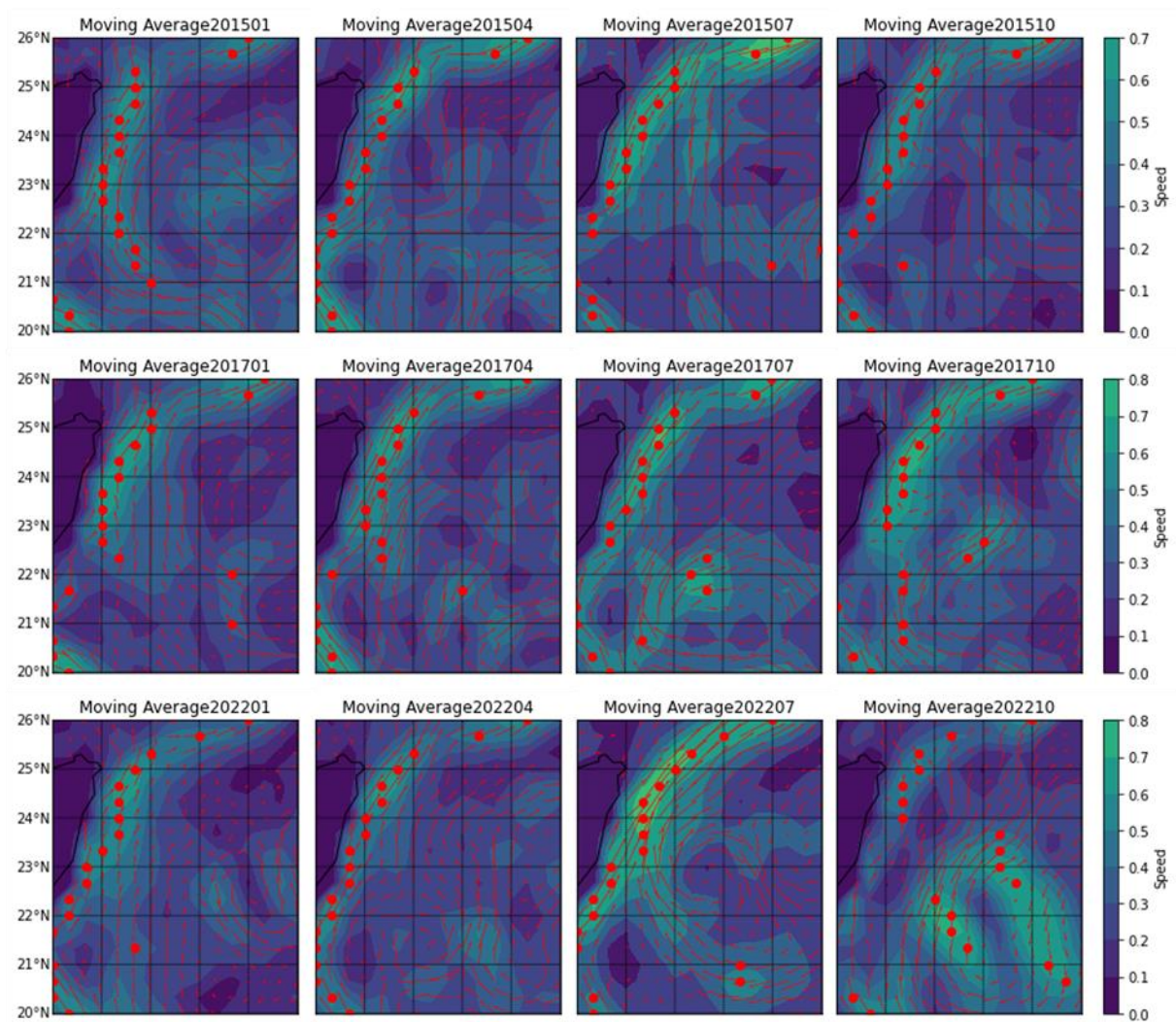


圖（10）：台灣周遭流速流向分布圖。(研究者自製)

四張圖名稱與季節對應如下，201704 為春（3 月、4 月、5 月）、201707 為夏（6 月、7 月、8 月）、201710 為秋（9 月、10 月、11 月）、201801 為冬（12 月、1 月、2 月）。

（二）年際變化

在圖（11）中，三個年分的黑潮路徑有肉眼可見的明顯差異，在 2015 年（聖嬰年）較接近陸岸（向西）；2022 年（反聖嬰年）向離岸方向（向東）偏移的幅度十分顯著，其中又以夏、秋兩季為甚；2017 年（正常年）黑潮路徑則位於上述兩年之間。由此我們作出初步猜想：聖嬰現象顯著時，黑潮往陸岸方向移動；反聖嬰現象顯著時，黑潮往離岸方向移動。實際量化數據與統計將在後文說明。



圖（11）：三年之流速流向分布圖。(研究者自製)

2015，2017，2022 四季流速圖比較（冬，春，夏，秋）。

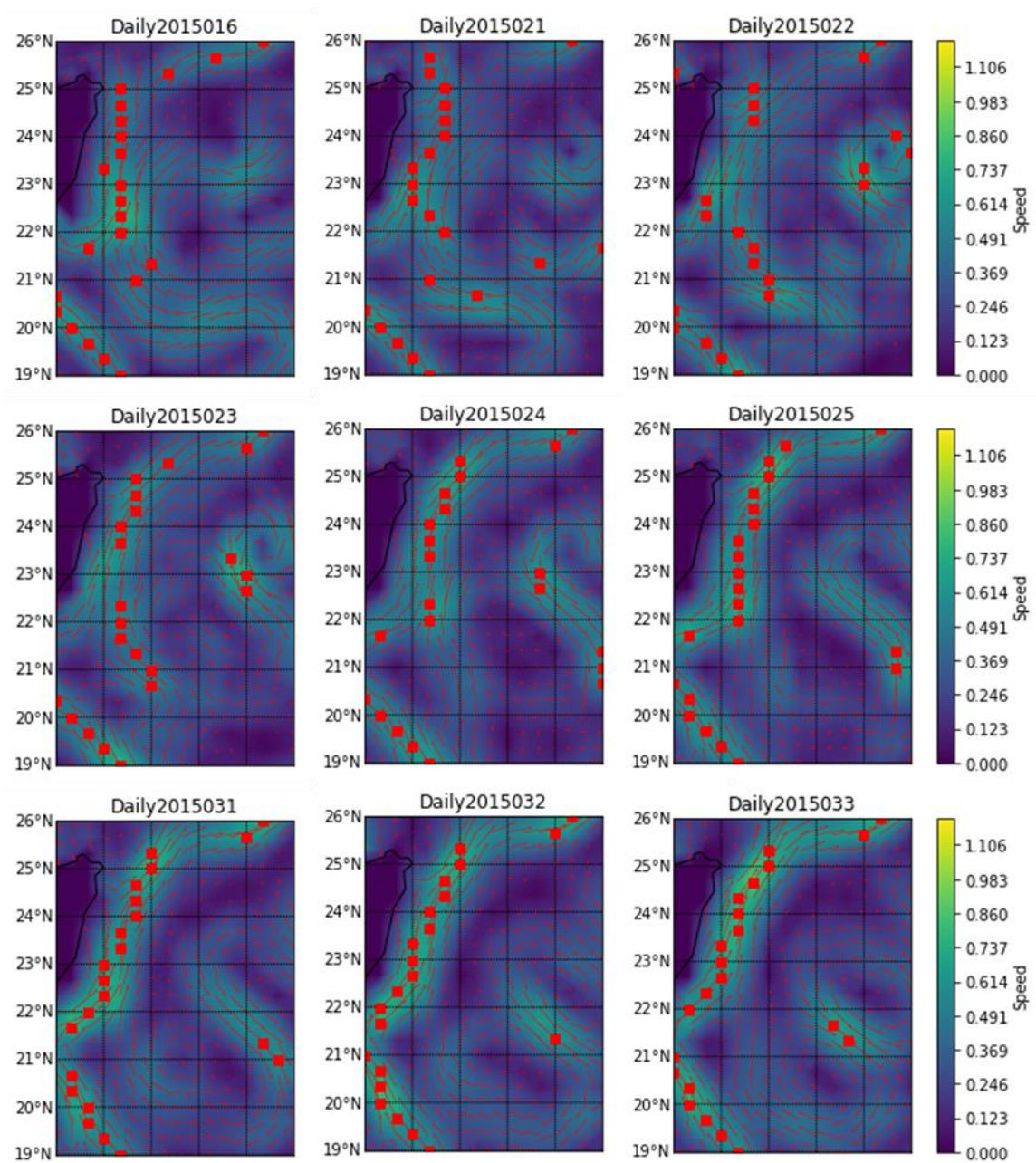
三. 黑潮路徑與聖嬰現象的年際相關程度

（一）平均計算模糊擺動跡象

以 2012 年～2023 年總共 12 個年分之全年度平均後的資料進行分析，聖嬰指數和黑潮主軸距離海岸線長度呈現極低的相關性，相關係數（Pearson 積差相關係數）幾乎小於 0.1 或大於 -0.1，與我們的猜想不同。不過依據對流速流向分布圖的逐幀觀察，我們推測可能因為平均後的流速資料平滑掉了黑潮為期約 30 天的擺動跡象，使得黑潮部分擺動特性無法以統計方法顯示出來。

表(1) - 全年度聖嬰指數&黑潮主軸離岸距離相關係數							
緯度	全年度	緯度	全年度	緯度	全年度	緯度	全年度
20.0	0.094	21.3	0.331	22.7	0.088	24.0	-0.253
20.3	0.065	21.7	0.364	23.0	0.005	24.3	-0.176
20.7	0.041	22.0	0.296	23.3	-0.249	24.7	-0.132
21.0	0.06	22.3	0.196	23.7	-0.284	25.0	-0.003

表（1）：從 2012 年至 2023 年之全年度流速資料計算出的距離與聖嬰指數的相關係數，依緯度分類。



圖（12）：一個月的流速流向分布圖。(研究者自製)

此為連續一個月的流速流向分布圖，2015016 表示 2015/01/NO.6，2015 年 1 月第六筆資料，即 1 月 31 日。2015021 為 2 月 5 日，2015022 為 2 月 10 日，以此類推。

（二）時間尺度差異

聖嬰指數是通過三個月的移動平均數據計算得出的，這意味著聖嬰現象的時間尺度較大，與黑潮的 30 天震盪周期不太相關，又或者不完全相關。因此，即使考慮了黑潮的震盪效應被平均化的可能性，聖嬰現象也可能不會直接影響黑潮主軸的年際移動，就如同表（1）所呈現的結果。

四. 季節對於黑潮路徑與聖嬰現象的相關程度之分析

表（2）－ 黑潮主軸離岸距離&聖嬰指數

緯度	冬季	春季	夏季	秋季	12年
20.0	0.55	-0.438	-0.014	0.255	0.094
20.3	0.645	-0.415	0.034	-0.025	0.065
20.7	0.657	-0.402	0.13	0.184	0.041
21.0	0.804	-0.054	-0.004	-0.017	0.06
21.3	0.457	0.588	0.268	0.567	0.331
21.7	0.683	0.442	0.313	0.405	0.364
22.0	0.696	0.279	0.25	0.138	0.296
22.3	0.702	0.500	0.426	-0.1	0.196
22.7	0.356	0.035	0.153	0.01	0.088
23.0	-0.242	0.196	-0.104	-0.229	0.005
23.3	-0.196	0.010	-0.388	-0.444	-0.249
23.7	-0.316	0.034	-0.561	-0.488	-0.284
24.0	-0.131	0.341	-0.299	-0.438	-0.253
24.3	-0.142	0.498	-0.332	-0.445	-0.176
24.7	-0.165	0.561	-0.483	0.02	-0.132
25.0	-0.029	0.227	-0.363	-0.14	-0.003

表（2）：2012 年至 2023 年四季與不同緯度上，黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之相關係數。

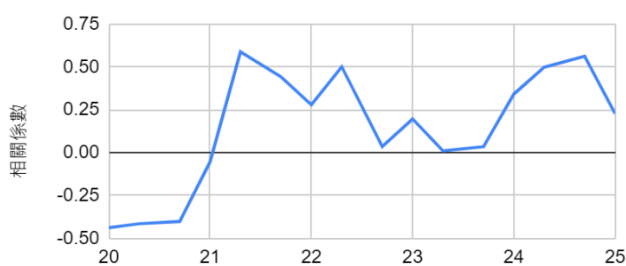
在我們的研究中，黑潮的離岸距離與聖嬰指數的相關係數若為正值，則表示在聖嬰現象發生時，黑潮的離岸距離愈遠，而在反聖嬰現象發生時，黑潮的離岸距離愈近；相關係數若為負值，則表示在聖嬰現象發生時，黑潮的離岸距離愈近，而在反聖嬰現象發生時，黑潮的離岸距離愈遠。

冬季 相關係數與緯度之折線圖



(a) 緯度

春季 相關係數與緯度之折線圖



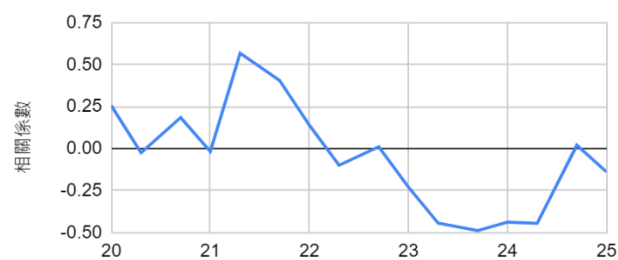
(b) 緯度

夏季 相關係數與緯度之折線圖



(c) 緯度

秋季 相關係數與緯度之折線圖



(d) 緯度

全年段 相關係數與緯度之折線圖

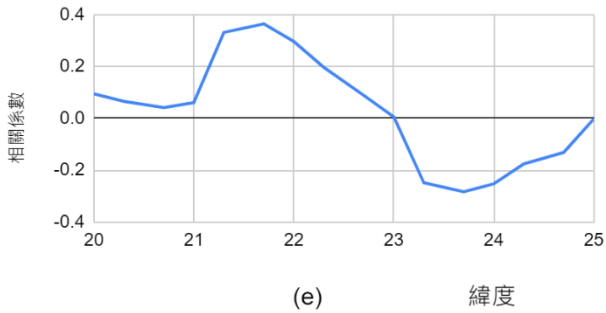


圖 (13)：相關係數與緯度變化的折線圖。

(研究者自製)

圖 (a)、圖 (b)、圖 (c)、圖 (d) 分別為冬季、春季、夏季、秋季黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之相關係數數值與不同緯度的折線圖 (橫軸為緯度，縱軸為相關係數)。圖 (e) 則為 2012 至 2023 全年度與不同緯度的相關係數數值折線圖 (橫軸為緯度，縱軸為相關係數)。

由上圖 (a) 可觀察到，冬季的相關係數在北緯約 23 度以下呈現相對較穩定的中、高度正相關，而 23 度以上呈中、低度的負相關；由上圖 (b) 可觀察到，春季的相關係數在北緯 21 度以下呈中度的負相關、21 度以上呈較不平均的正相關，其中，北緯 21 度至 22.7 度與北緯 23.7 度至 25 度皆呈中度以上的正相關；由上圖 (c) 可觀察到，夏季的相關係數在北緯約 23 度以下呈現正相關，而 23 度以上呈中度的負相關；由上圖 (d) 可觀察到，秋季的相關係數在北緯約 22.3 度以下呈現較不平均的正相關，其中，北緯 21.3 度達到秋季正相關係數的最大值，而北緯約 22.3 度以上呈負相關，其中，北緯 23.3 度至 24.3 度呈中度以上的負相關；由上圖 (e) 可觀察到，全年段平均在北緯 23 度時呈零相關，北緯 23 度以下呈正相關，其中，在北緯 21 度至 22 度之間達到中度正相關，而北緯 23 度以上呈負相關，其中，在北緯 23 度至 24 度之間達到中度負相關。

整體來看，如圖 (14)，四季在靠近北緯 23 度的相關性皆較低，23 度以下大抵呈現正相關，23 度以上除春季以外大抵呈現負相關，只有春季與其餘相反，21 度以上皆呈正相關。

總覽 相關係數與緯度之折線圖

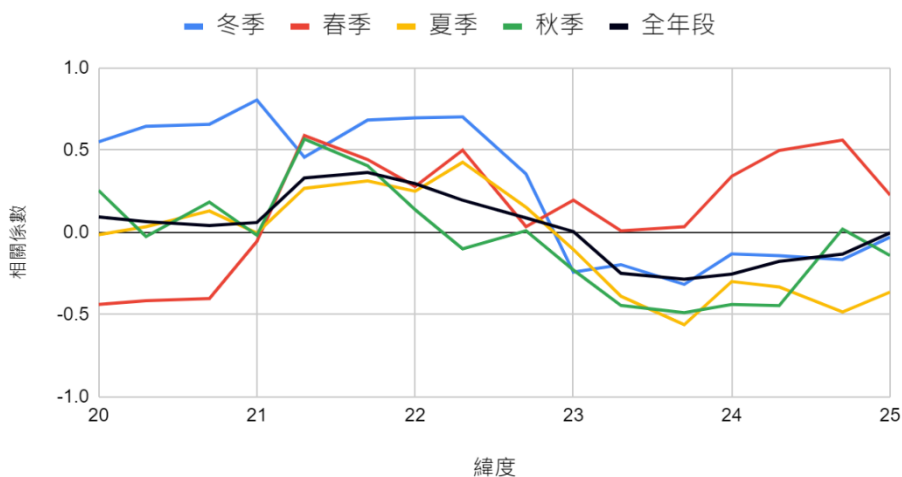


圖 (14)：綜合四季及全年的相關係數與緯度變化的折線圖。(研究者自製)

我們認為可能是台灣的季風、風場、地形等因素影響所造成的結果，而東北季風大約在 10 月至 4 月之間盛行，涵蓋了我們所取的秋季、冬季、春季。

在秋季時（圖 13-d），東北季風開始盛行，透過西北方向的艾克曼環流提供向西的分量，使得黑潮往陸岸靠近，也因東北季風風向與黑潮流向相反，會減弱黑潮主軸的流速，根據文獻（林永富，2013）指出，當黑潮流速上升時，黑潮主軸會傾向於離岸；黑潮流速下降時，黑潮主軸會傾向於近岸，綜上所述，秋季時的黑潮流速因受到東北季風影響而減弱，造成黑潮主軸近岸，而又當聖嬰現象發生時，因東太平洋東北信風減弱而造成西太平洋溫暖海水向東調整，黑潮主軸應離岸才會呈現正相關，所以我們根據相關係數折線圖推測東北季風對台灣東岸黑潮的影響範圍大約於本研究範圍的北緯 23 度至北緯 25 度，才會造成北緯約 23 度以下呈正相關，以上呈負相關。

冬季時（圖 13-a），因東北季風持續增強，造成黑潮流速降低，黑潮主軸因而近岸，我們認為冬季與秋季於北緯約 23 度以上呈負相關原因相同，皆是因季風影響而造成流速改變。

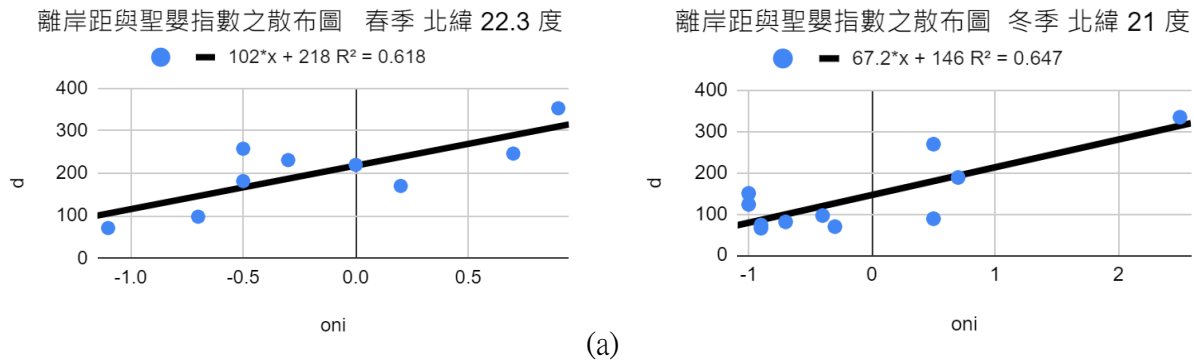
春季時（圖 13-b），因東北季風減弱，對黑潮流速影響降低，造成聖嬰現象對黑潮離岸的影響程度高於東北季風的影響，黑潮主軸離岸，因此在春季時北緯 23 度以上的相關係數呈現正相關，而我們推測春季在北緯 21 度以下呈負相關的原因也是在於東北季風的影響，根據文獻（台灣周圍的洋流介紹）指出，因春季時東北季風減弱，中國沿岸流向北退去，黑潮因而產生支流而進入台灣海峽，台灣東邊黑潮傳輸量被分散，流速減弱，我們的判斷就傾向於黑潮主軸近岸，因此產生負相關的結果。

夏季時（圖 13-c），雖盛行西南季風，但由於黑潮主軸位於台灣的東半部，為西南季風的背風側，所以西南氣流跨越中央山脈吹向黑潮的氣流減少，且東部地形較複雜，風向不固定，因此我們推論對黑潮流速影響不大，而夏季時的西太平洋容易出現熱帶性低氣壓，可能會因其位於台灣東部海域逆時針旋轉的風場而使得黑潮流速減弱，傾向近岸，因此呈負相關。另外，我們根據文獻（林永富，2011）發現影響我們研究範圍中較高緯度相關係數的因素可能還有台灣東北角的湧升流，當黑潮流經台灣東海岸時，因遇到東西走向的東海陸棚，進而造成黑潮的海水向東偏移，在黑潮西側產生逆時針旋轉的渦流，伴隨著湧升流出現，而因為湧升流而產生的反流與黑潮流向相反（蔡易辰，2022），我們認為黑潮在台灣緯度較高之處的主軸流速會隨之減弱，向台灣東岸靠近，因此在四季的較高緯度相關係數折線圖中多呈現負相關。

根據圖（13-a）、圖（13-b）、圖（13-c）、圖（13-d），在相關係數的折線圖中，可觀察到四季於北緯 22.7 度至北緯 23.3 度的相關係數普遍偏低，我們推測造成此現象的原因為台灣東部海底地形較複雜、陡峭相關，根據（Yang et al, 2017）提及之文獻（Stommel H, Schott F, 1977）的地形 β -spiral 理論指出，當底層流的方向不平行於等深線時，海流從表層到底層會發生氣旋式的偏轉，我們推論是因為台灣東部海底地形在北緯 22.3 度至 23.7 度的地形與周圍地形落差較大，造成黑潮在此範圍產生了氣旋式的偏轉，導致黑潮主軸的離岸距離不規則，因此與聖嬰現象的相關性較低。

五. 聖嬰指數和黑潮離岸距的關聯模型

圖（15）為聖嬰指數和黑潮離岸距離散布圖，繪製過程中依緯度與季節各自成圖，此為其中兩幅，用以示意，又夏秋兩季相關係數不甚顯著，不列入關聯模型計算。而下表為聖嬰指數和黑潮離岸距的迴歸直線方程式，以及衡量模型表現的 R 平方值，為兩者關係建立模型，可作估計用。從表（3）中看出冬春季方程式具有一定的 R 平方值，最大達 0.6，整體大致達到 0.4，表示模型具有一定程度的估算能力。



圖（15）：春季（a）與冬季（b）的聖嬰指數和黑潮離岸距散布圖。(研究者自製)

表（3）－黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式				
緯度	冬季 (y=)	R ²	春季 (y=)	R ²
20.0	$30.9 \cdot x + 209$	0.303	$-57.5 \cdot x + 214$	0.551
20.3	$35.2 \cdot x + 148$	0.416	$-30.9 \cdot x + 184$	0.248
20.7	$45.1 \cdot x + 133$	0.432	$-42.5 \cdot x + 153$	0.371
21.0	$67.2 \cdot x + 146$	0.647	$-67.7 \cdot x + 192$	0.341
21.3	$43.6 \cdot x + 206$	0.209	$-63.1 \cdot x + 251$	0.321
21.7	$79.1 \cdot x + 253$	0.467	$-121 \cdot x + 266$	0.531
22.0	$51.1 \cdot x + 218$	0.485	$56.7 \cdot x + 138$	0.261
22.3	$32.5 \cdot x + 213$	0.492	$102 \cdot x + 218$	0.618
22.7	$27.1 \cdot x + 185$	0.127	$-74.77 \cdot x + 157$	0.479
23.0	$-14.7 \cdot x + 125$	0.058	$-29 \cdot x + 93.8$	0.229
23.3	$-10 \cdot x + 117$	0.038	$-27.8 \cdot x + 91.6$	0.340
23.7	$-21.4 \cdot x + 175$	0.322	$-28.9 \cdot x + 156$	0.571
24.0	$-9.27 \cdot x + 94.1$	0.049	$-18 \cdot x + 76.4$	0.251
24.3	$-8.48 \cdot x + 83.2$	0.033	$8.59 \cdot x + 52.1$	0.328
24.7	$4.97 \cdot x + 78.3$	0.062	$9.63 \cdot x + 69.9$	0.354
25.0	$3.86 \cdot x + 97.2$	0.108	$-9.43 \cdot x + 97.2$	0.137

表（3）：黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式。2012 年至 2023 年冬春季與不同緯度上，黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式，以及 R 平方值。

六. 黑潮流速與聖嬰現象的相關程度

（一）流速與聖嬰指數的相關係數

表（4）呈現了最大流速（黑潮主軸流速）和聖嬰指數的相關係數的分布，以季節與緯度區分之。首先，從相關度高低角度來看，資料範圍內所計算出的相關係數，介於低至中度相關，分季節時猶以夏季最為突出，多數相關係數皆達中度負相關，而秋季則是呈低度負相關，表示在夏秋兩季，當聖嬰現象越強，黑潮流速就越

慢，推測是因聖嬰現象發生時，東風減弱，北赤道洋流也因此減弱，又北赤道洋流在菲律賓東邊向北轉形成黑潮，黑潮流速連帶減弱。至於冬春兩季，普遍呈低度正相關，不符合上文推測的原因可能是其他環境因素干擾，例如渦旋，文獻（黃茂城，2015）提及，氣旋式渦旋接近黑潮時，黑潮流速減弱；反氣旋式渦旋接近黑潮時，黑潮流速增強，而台灣東部的渦旋約位於北緯 22 度至 24 度，在這段範圍內，黑潮冬春季離岸距較大，容易碰撞到渦旋，受其影響產生流速變化，使聖嬰現象對冬春季黑潮流速的影響被淡化。

表（4）－ 最大流速&聖嬰指數				
緯度	冬季	春季	夏季	秋季
20.0	0.407	0.563	-0.198	0.055
20.3	0.535	0.294	-0.339	0.056
20.7	0.654	0.113	-0.317	-0.253
21.0	0.265	0.35	-0.360	-0.195
21.3	0.002	0.322	-0.324	-0.251
21.7	-0.130	0.242	-0.404	-0.359
22.0	0.391	0.159	-0.365	-0.425
22.3	0.478	0.046	-0.379	-0.437
22.7	0.243	0.432	-0.654	-0.392
23.0	0.264	0.443	-0.681	0.011
23.3	0.338	0.394	-0.464	-0.235
23.7	0.287	0.388	-0.465	-0.129
24.0	0.109	0.192	-0.566	0.091
24.3	-0.110	-0.045	-0.588	0.112
24.7	-0.167	0.006	-0.491	0.039
25.0	0.065	0.060	-0.427	0.203

表（4）：流速與聖嬰指數的相關係數分布表。2012 年至 2023 年四季與不同緯度上，黑潮主軸流速與聖嬰指數之相關係數。

（二）相關係數與緯度的折線圖

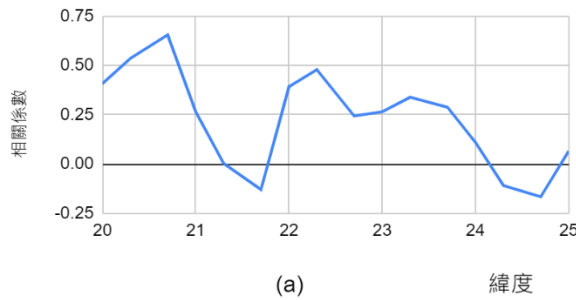
1. 緯度的影響

由下面四張折線圖看來，緯度變化並沒有對相關性造成明顯影響，至少在北緯 20 度至 25 度範圍內，四季之藍線有各自的高低起伏，不像黑潮路徑與聖嬰指數的相關係數連線普遍交會於北緯 23 度，也沒有類似的走勢，故判定無關。

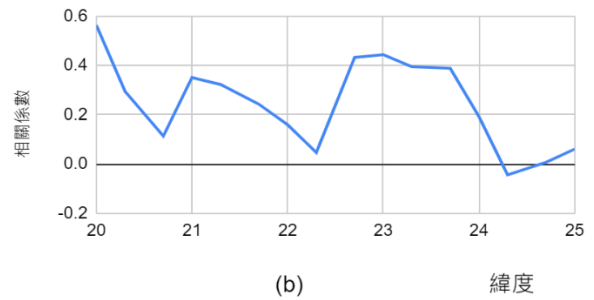
2. 季節的影響

同樣從下方折線圖（16-a）、圖（16-b）觀察之，冬季及春季大略呈現正相關；圖（16-c）、圖（16-d）則顯示下、秋兩季略皆呈現負相關，上文已說明之。

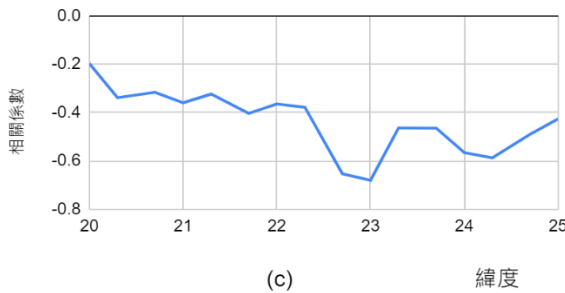
冬季 相關係數與緯度之折線圖



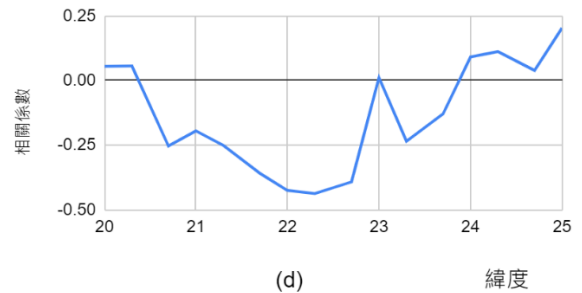
春季 相關係數與緯度之折線圖



夏季 相關係數與緯度之折線圖



秋季 相關係數與緯度之折線圖



圖（16）：相關係數與緯度變化的折線圖。（研究者自製）

圖（a）、圖（b）、圖（c）、圖（d）分別為冬季、春季、夏季、秋季黑潮主軸流速與聖嬰指數之相關係數數值與不同緯度的折線圖（橫軸為緯度，縱軸為相關係數）。

伍、討論

一. 影響黑潮主軸位置的因素

影響黑潮主軸位置的因素有許多，不僅僅是聖嬰現象與反聖嬰現象，事實上尚會受到天氣、風場、氣壓等因素影響。像是林永富（2013）所撰寫的黑潮入侵東海之研究中提到，黑潮可能會受到台灣區域季風影響而產生路徑變異，可利用 NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis 資料觀察風場的改變，另外，渦旋、海氣交互作用與地形等等也會影響黑潮的流向與傳輸量，Zhang et al.（2001）和 Yang et al.（2004）指出當反氣旋式渦旋（氣旋式）靠近黑潮時，黑潮流經東台灣通道的傳輸量會增加（減少），且容易向東（向西）蜿蜒。在本次的研究中，也發現黑潮路徑與聖嬰現象並非於每個季節皆存在顯著關聯，夏秋兩季便是例外，我們推測這個現象便是由於彼時黑潮受其他氣候因素影響較劇烈，才無法在此次統計呈現直接的相關性。因此，希望在未來我們所研究出的模型不僅能透過聖嬰指數預測黑潮的離岸距離，也能考量到風場、渦旋等外在因素的影響，讓模型導出的結果更近似於實際值。

二. 未來展望

找到黑潮離岸距離與聖嬰指數的關聯後，可運用經由大數據所預測出的聖嬰指數，輸入我們所研究出的黑潮離岸距離與聖嬰指數的關係式，進而預測出黑潮所在位置。由

於黑潮的營養物質豐富，足以吸引較多魚類及其他海洋生物，待我們所做的模型考量到更多影響黑潮流向的因素，預測更加準確、更加成熟後，可將黑潮位置預測資料提供給各地漁民使用，有望提高漁民們整體在台灣東岸的漁獲量。

陸、結論

本研究旨在探討聖嬰現象對黑潮的影響，包含影響的劇烈程度、如何影響、其他可能的干擾因素。結論有五點：

- 一. 我們繪製台灣周遭海流流速流向分布圖，觀察到黑潮流速確實明顯高於周圍海域，於是便參照此特性，尋找台灣沿岸每緯度中流速最大的位置，連為軸線，定義此為黑潮主軸，此方法也曾被前人運用於研究中。
- 二. 聖嬰現象與黑潮路徑存在關聯，由全年段資料來看不顯著，需細分為四季討論，因季風、地形、渦旋等因素影響，以北緯 23 度為分界，20 度至 23 度大抵呈現正相關；23 度至 25 度除春季以外大抵呈現負相關，只有春季與其餘季節相反，21 度以上皆呈正相關。
- 三. 聖嬰現象與黑潮路徑因台灣東海岸地形複雜，故於北緯 22.7 度至 23.3 度的相關係數普遍偏低。
- 四. 黑潮主軸流速與聖嬰指數跟緯度位置無關，而是和季節連動，夏秋兩季呈負相關，與聖嬰現象發生時東風減弱有關；冬春兩季呈正相關，推測是受台灣東部渦旋影響較大，弱化聖嬰現象的影響。
- 五. 我們所建構的聖嬰指數與黑潮路徑之關聯性模型為 2012 年至 2023 年冬春季於不同緯度上，黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式，可用於估計或預測，而夏秋兩季相關係數不甚顯著，不列入關聯模型計算。

聖嬰現象對黑潮的影響，攸關於台灣漁業發展與海洋生態變遷，我們提出冬春兩季的黑潮離岸距及聖嬰指數的迴歸直線方程式，也分項說明了聖嬰現象如何影響黑潮，希望此篇研究能促進漁業與台灣周圍海洋研究的進程。

柒、參考文獻資料

1. 林永富 (2013)。黑潮入侵東海之研究 Interannual variability of the Kuroshio intrusion onto the shelf of the East China Sea.〔未出版之碩士論文〕國立台灣師範大學海洋環境科技研究所。<https://etds.lib.ntnu.edu.tw/thesis/detail/4e5614a7b80842d49aff0df1f1748acb/>
2. 林永富、吳朝榮教授責任編輯。2011。臺灣東北的湧升流(Upwelling)。科學 Online.

<https://www.printfriendly.com/p/g/8qgh5a>

3. 洪致文、施明甫（2023）。以測站長期觀測數據分析之臺灣各季節降水垂直分布氣候特徵。**大氣科學**，51(1)，1-29。 <https://doi.org/10.53106/025400022023015101001>
4. 范光龍(98年09月24日)。**台灣大百科全書**。
nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3355&fbclid=IwAR0u452PPhIgb0_qs9T_LKtbyYvHX3m5PZNdxCE9qaBUQ0NtaXASJy1uxU
5. 許伯駿 (2018).海洋與大氣多尺度變動對台灣附近黑潮的影響 Effects of Oceanic and Atmospheric Multi-scale Variations on the Kuroshio Adjacent to Taiwan. [未出版博士論文] 國立台灣海洋大學海洋環境資訊系。台灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/em698p>
6. 國立海洋科技博物館-台灣周圍的洋流介紹
<https://mscloud.nmmst.gov.tw/chhtml/opencontenttab.aspx?tdid=156>
7. 曾振德, & 陳世欽. (2011, June 1). 衛星影像應用於解析台灣東部黑潮暖流之時空分布特性。**農業部水產試驗所水產期刊**，類別：科技研究，期別：034，頁碼：6-9.台灣東部黑潮表層流軸與衛星海面水溫影像之季節變動分析 (tfrin.gov.tw)
8. 黃茂城(2015)。副熱帶反流區的渦旋對東海黑潮傳輸量之影響。[未出版碩士論文] 國立臺灣海洋大學海洋環境科技研究所。
<https://api.lib.ntnu.edu.tw:8443/server/api/core/bitstreams/9ac9124a-e6af-4640-8066-373fbd6fadfd/content>
9. 劉欣侑 (2007)。台灣東部黑潮及鄰近海域葉綠素濃度與海洋環境因子之關係 Relationships between chlorophyll concentration and marine environmental factors in the Kuroshio and its adjacent waters off eastern Taiwan. [未出版碩士論文] 國立中山大學。台灣博碩士論文知識加值系統。<https://hdl.handle.net/11296/5khvwq>
10. 蔡易辰 (2022,December).黑潮與臺灣東部沿岸地形間的交互作用引發之邊際流振盪 Marginal current oscillations induced by the interaction between the Kuroshio and the coastal topography off the eastern coast of Taiwan. [未出版之碩士論文] 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系。台灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/5y8aaJ>
11. Cheinway Hwang and Ricky Kao.(2002).TOPEX/POSEIDON-derived space – time variations of the KuroshioCurrent: applications of a gravimetric geoid and wavelet analysis. *Geophysical Journal International*, Volume 151, Issue 3, Pages 835 – 847, <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2002.01811.x>

12. Jia-Yi Lin, Zhe-Wen Zheng, Quanan Zheng, Ding-Rong Wu, Ganesh Gopalakrishnan, Chung-Ru Ho, Jiayi Pan, Yu-Chun Lin, Ling-Ling Xie. (2022). Satellite observed new mechanism of Kuroshio intrusion into the northern South China Sea, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 115, 2022, 103119, ISSN 1569-8432, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103119>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843222003077>)
13. Kuo Di-Son. (2013, December 13). 生命之泉 — 海洋湧昇流 (Oceanic Upwelling) (下) 台灣附近海域。 *Blogger*. https://dison-kuo.blogspot.com/2013/12/oceanic-upwelling_13.html
14. Liang, W. -D. ; Tang, T. Y. ; Yang, Y. J. ; Ko, M. T. ; Chuang, W. -S. (2003). Upper-ocean currents around Taiwan. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 50, issue 6-7, pp. 1085-1105, March 2003. 2003DSRII..50.1085L, <https://www.elsevier.com/>
15. Oey, LY., Hsin, YC. & Wu, CR. Why does the Kuroshio northeast of Taiwan shift shelfward in winter?. *Ocean Dynamics* 60, 413 – 426 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10236-009-0259-5>
16. Stommel H, Schott F, (1977). The beta spiral and the determination of the absolute velocity field from hydrographic station data. *Deep Sea Res*, 24(3): 325 – 329. DOI:10.1016/0146-6291(77)93000-4
17. Yang De-Zhou, Yin Bao-Shu, Hou Yi-Jun, Sun Song, Yu Zhi-Ming, Song Jin-Ming, Xu Ling-Jing, Yu Fei, Song Xiu-Xian, Yu Ren-Cheng, Yuan Hua-Mao, Li Xin-Zheng, Yuan Yong-Quan. (2017). 黑潮入侵東海陸架途徑及其影響研究進展 (Advance in research on kuroshio intrusion and its ecological influence on the continental shelf of east china sea.) *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 48(6): 1196-1207. <http://qdhys.cnjournals.com/html/hyyhz/2017/6/20170609.htm>
18. Yang, Y., Liu, C.T., Lee, T.N., and Johns, W.E. (2004) “Geostrophic uncertainty and anomalous current structure in association with mesoscale eddies delineated by altimeter observations east of Taiwan,” In: *Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography*, 205-211.
19. Zhang, D., Lee, T. N., Johns, W. E., Liu, C. T., & Zantopp, R. (2001). “The Kuroshio east of Taiwan: Modes of variability and relationship to interior ocean mesoscale eddies.” *Journal of Physical Oceanography*, 31(4), 1054-1074.

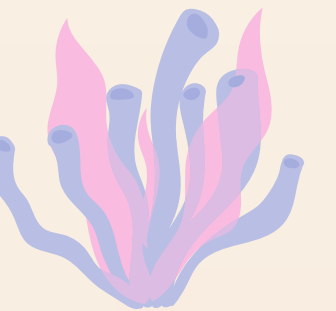
【評語】 051905

聖嬰現象和黑潮的關聯性，需要更長時間尺度(例如 30 年)的資料分析才較可能確定兩者間的關係。而本研究彙整 2012 到 2023 的資料，僅分析討論聖嬰現象對黑潮的影響，可能會造成研究結果的侷限性。在不同緯度之冬季與春季時，黑潮主軸之離岸距離與聖嬰指數適用於回歸直線方程式，但是此方程式在夏季與秋季時，兩者相關係數並不顯著，可能需要考慮其他因素之影響。聖嬰現象和黑潮關聯性的物理連結，仍需更多之分析和解釋。

作品簡報



探討聖嬰現象對黑潮的影響



摘要

本研究探討聖嬰現象對黑潮的影響，地域聚焦於北緯20度至25度、東經120度至126度的台灣周遭海域。將流速最大軸定義為黑潮主軸，分季節討論黑潮主軸離岸距與聖嬰指數的相關程度，考慮季風、地形、渦旋等變異因素，也計算迴歸直線方程式進一步建立關聯模型；討論黑潮主軸流速和聖嬰現象的關聯，藉相關係數與外部環境因子觀察。後發現聖嬰現象與黑潮主軸離岸距、黑潮主軸流速皆有所相關，相關程度在年際變化上不甚明顯，而是因應季節與緯度變化有不同程度的相關。

壹、前言

一、研究動機

2022年，中央氣象局長鄭明典表示，台灣黑潮路徑出現大蛇行，隨後吳朝榮教授接受中央社記者訪問，提及影響台灣一帶黑潮路徑的因素很多，例如中尺度渦旋、赤道信風等，此外，聖嬰年、反聖嬰年也會影響到黑潮擺動的情形，我們於是開始好奇，聖嬰現象會如何左右黑潮的擺動方向？聖嬰現象會讓黑潮流速增強或減弱嗎？我們期待建構出聖嬰指數與黑潮路徑之關聯性模型，為台灣周圍的海洋研究貫注心力。

二、研究目的

- （一）利用海流流速定義不同時間的黑潮主軸路徑。
- （二）討論聖嬰現象（ENSO）與黑潮路徑偏移的相關性。
- （三）討論聖嬰現象（ENSO）與黑潮主軸流速的相關性。
- （四）建構聖嬰指數與黑潮路徑之關聯性模型。

三、文獻回顧

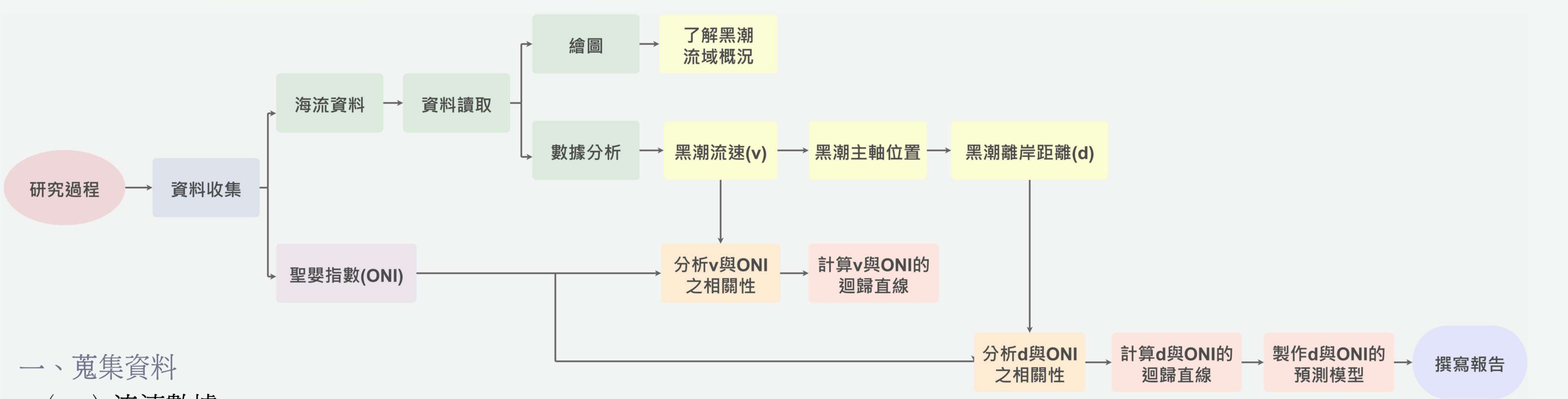
- （一）黑潮性質以及黑潮的擺動現象
 1. 黑潮是北太平洋西岸的暖流，終年流經台灣東部海域，其流向大致由南至北，不僅溫度與鹽度較台灣海峽的水流高，范光龍（2009）提及黑潮是北太平洋流速最強的海流，表面流速可達每秒1公尺。
 2. Liang .et .al（2003）使用經向與緯向流速，分析黑潮在台灣周圍海域的變動情形。黑潮流域範圍以緯向流速大於 10 cm/s 區分，最大緯向流速被定義為黑潮主軸位置。
 3. 在許伯駿(2018)所編寫的海洋與大氣多尺度變動對台灣附近黑潮的影響中，黑潮最大速度軸也定義為沿著黑潮路徑具有最大表面速度的線，而黑潮最大速度軸在夏季（6月至8月）和秋季（9月至11月）偏離海岸，在冬季（12月至隔年2月）和春季（3月至5月）接近海岸。夏季平均速度較快，冬季較慢。
- （二）黑潮流速與黑潮主軸的關係

當黑潮流速上升時， 黑潮主軸會傾向於離岸；黑潮流速下降時， 黑潮主軸會傾向於近岸（林永富，2013），這個結論我們用於分析黑潮流速與離岸位置關係。

貳、研究設備和器材

- 1.ESR（Earth Space Research）提供的OSCAR（Ocean Surface Current Analysis Real-time）海流分析資料庫
- 2.NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration）中Climate Prediction Center所提供的海洋聖嬰指數（ONI）資料庫
- 3.Excel（2016）
- 4.Spider（5.4.3）（Python程式編輯器）

參、研究過程或方法



一、蒐集資料

- （一）流速數據

使用 ESR(Earth Space Research)提供的OSCAR (Ocean Surface Current Analysis Real-time)海流分析資料。
- （二）海洋聖嬰指數(ONI)

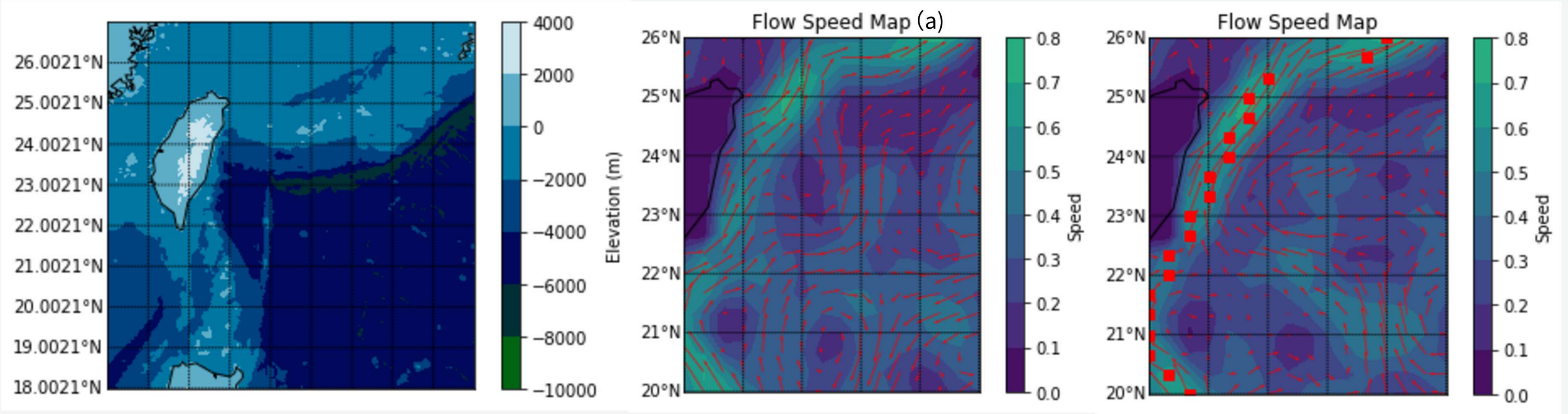
我們選用NOAA中Climate Prediction Center所提供的海洋聖嬰指數（ONI），提取2012年~2023年的資料。

二、選取研究區域

如圖（1），此研究專注於北緯20到25度、東經120到126度內的台灣周圍海域，特別是黑潮分布區域及其主軸移動範圍。

三、資料分析

- （一）流速流向分布圖的繪製，如圖（2）
- （二）黑潮主軸的離岸距離的判讀
- （三）離岸距離與聖嬰現象的關聯性分析
 - 1.聖嬰指數與黑潮離岸距的折線圖
 - 2.聖嬰指數與黑潮離岸距離（d）的相關程度
- （四）黑潮最大流速與聖嬰現象的關係



圖（1）：研究區域

圖（2）台灣周圍海洋流速與流向分佈圖

肆、研究結果

一、台灣周遭海流概況

我們以流速資料與研究過程中提到的黑潮主軸定義方法建構台灣周圍海流的概況，由圖可見，台灣沿岸黑潮流速最大值出現於東北一帶，西南沿海黑潮流速則與周遭海水較為接近，然而還是以約0.15m/s的差距略高於周遭海水。另一個特別的現象是反氣旋式渦旋，出現於台灣東南方，且其具有一定的轉速，有關於此反氣旋式渦旋的作用機制曾在前人研究中提及（Zhe-Wen Zheng，2022）。

二、從自製圖觀察黑潮主軸移動

（一）季節性擺動

如圖（4），黑潮潮流由南往北流時，在巴士海峽往西偏移幅度頗大，造成水流不集中，這可能是導致冬季台灣東南沿岸黑潮流速較慢的原因。再來，台灣東北部黑潮冬季容易向陸岸（向西）擺動，夏季則容易向離岸方向（向東）擺動，可能的原因是冬季時台灣北部海域熱量喪失程度高，又受到周圍地形坡度影響而造成。

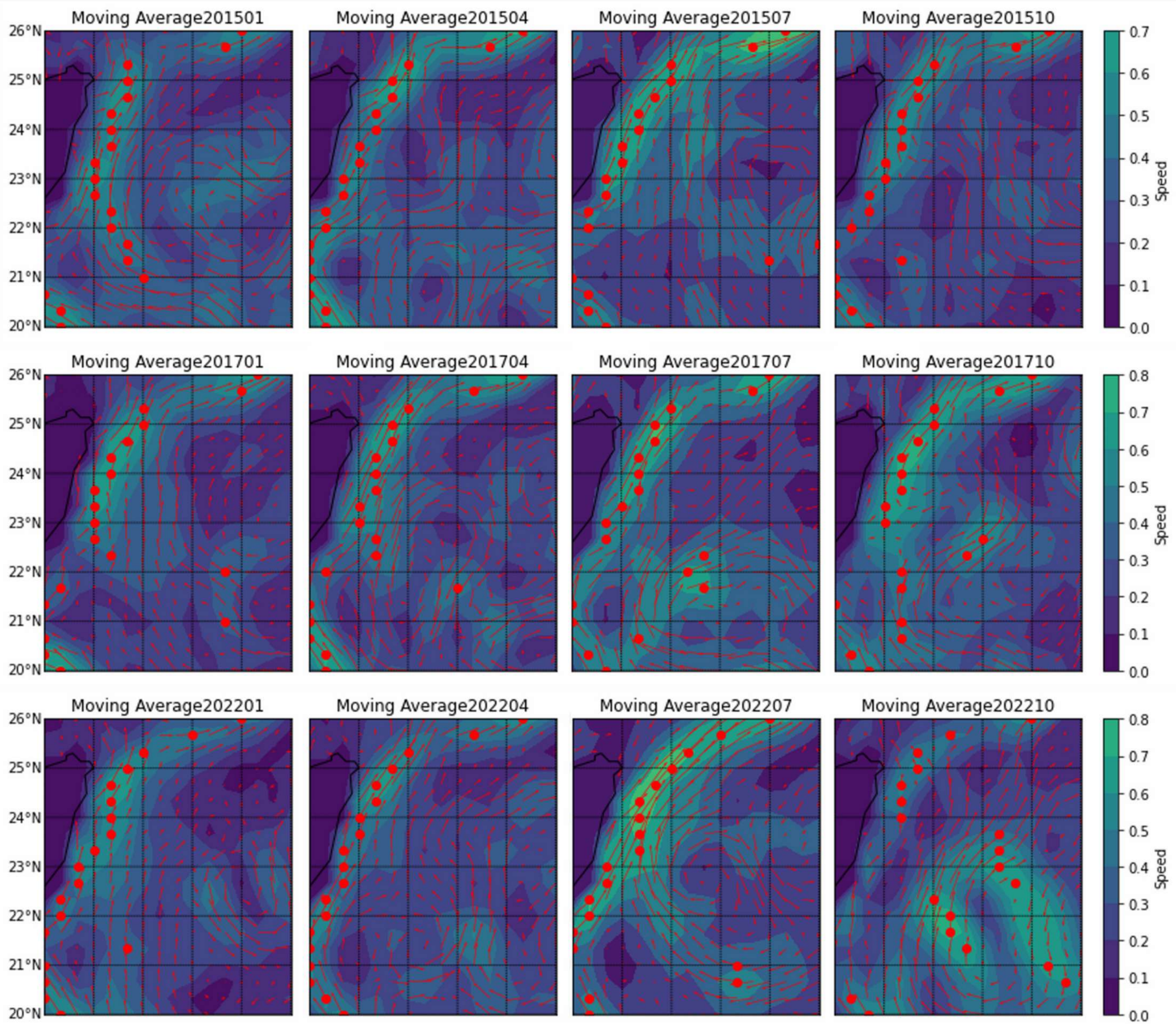
（二）年際變化

如圖（3），初步推估聖嬰現象顯著時，黑潮往陸岸方向移動；反聖嬰現象顯著時，黑潮往離岸方向移動。

三、黑潮路徑與聖嬰現象的年際相關程度

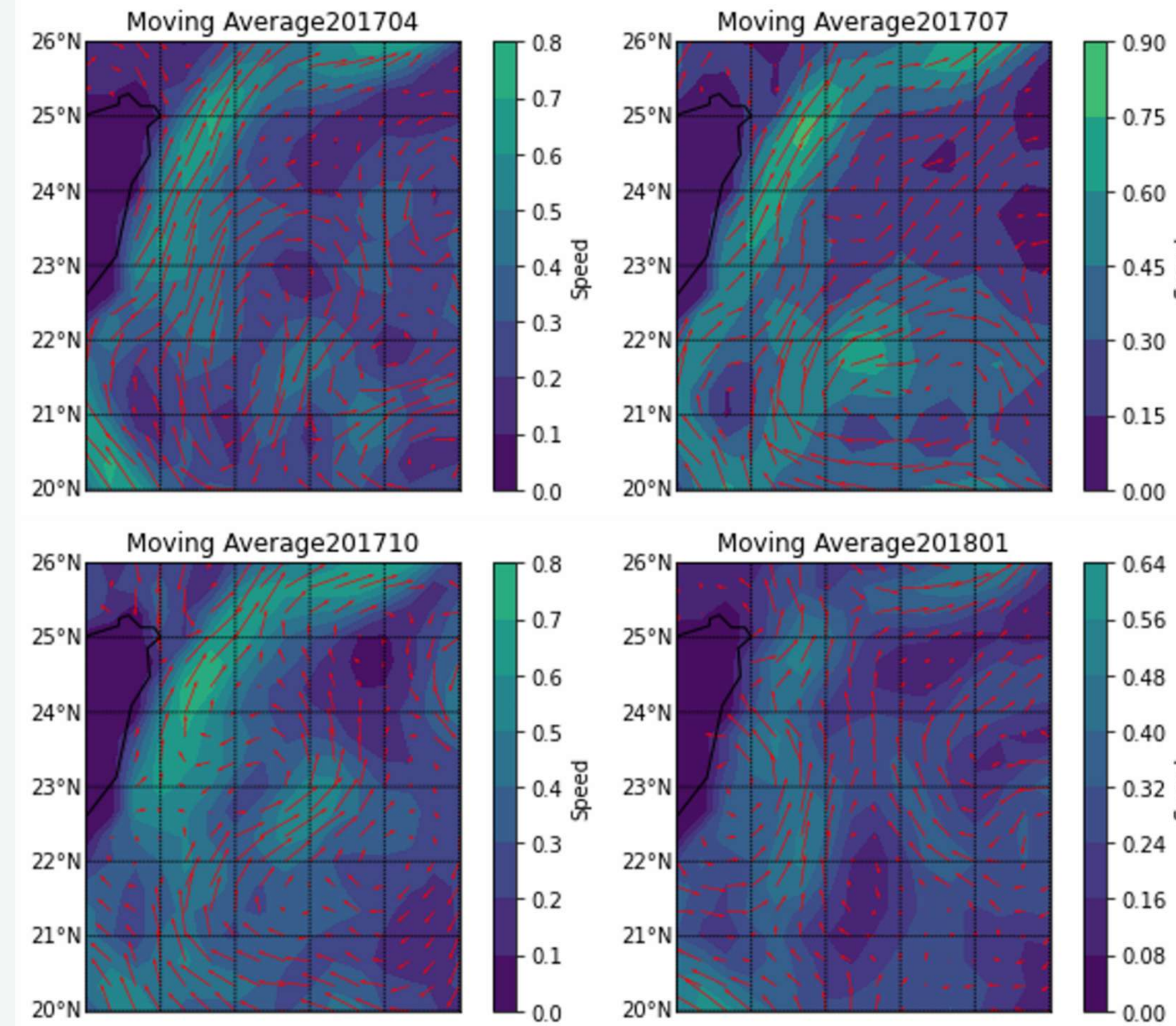
（一）平均計算模糊擺動跡象

（二）時間尺度差異



圖（3）：三年之流速流向分布圖

表(1) - 全年度聖嬰指數&黑潮主軸離岸距離相關係數							
緯度	全年度	緯度	全年度	緯度	全年度	緯度	全年度
20.0	0.094	21.3	0.331	22.7	0.088	24.0	-0.253
20.3	0.065	21.7	0.364	23.0	0.005	24.3	-0.176
20.7	0.041	22.0	0.296	23.3	-0.249	24.7	-0.132
21.0	0.06	22.3	0.196	23.7	-0.284	25.0	-0.003



圖（4）：台灣周遭流速流向分布圖

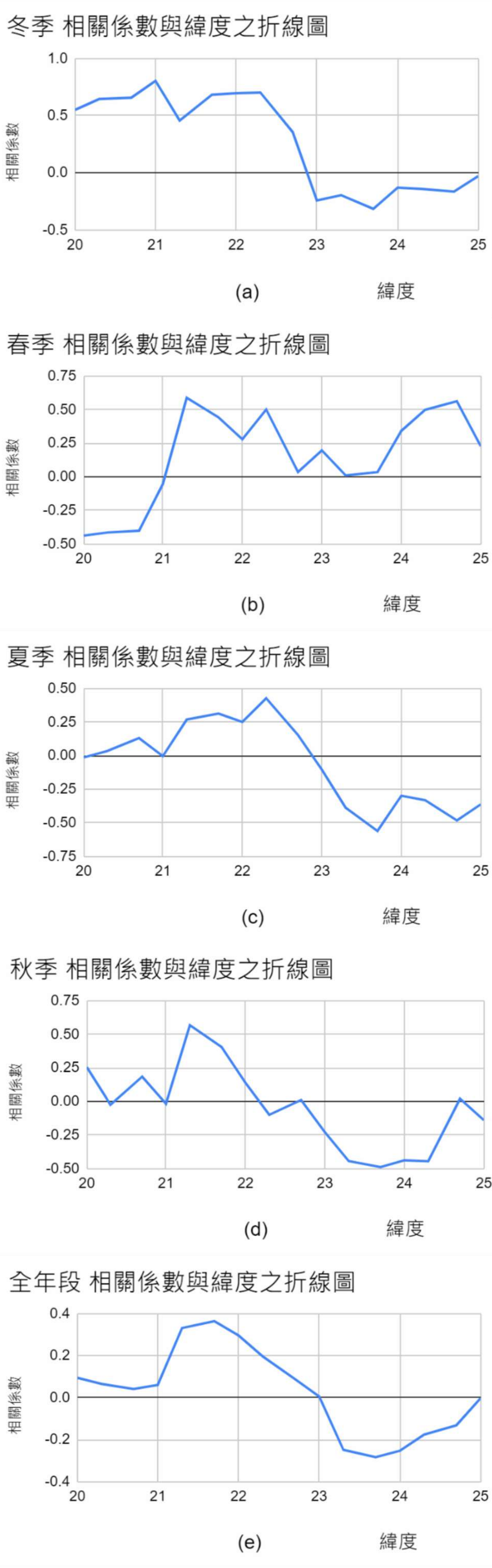
四、季節對於黑潮路徑與聖嬰現象的相關程度分析

- 冬季（圖a）：因東北季風持續增強，造成黑潮流速降低，黑潮主軸因而近岸。
- 春季（圖b）：東北季風減弱對黑潮流速影響降低，造成聖嬰現象對黑潮離岸的影響程度高於東北季風的影響，黑潮主軸離岸，因此在春季時北緯23度以上的相關係數呈現正相關。而在北緯21度以下呈負相關是因春季時東北季風減弱，中國沿岸流向北退去，黑潮因而產生支流而進入台灣海峽，台灣東邊黑潮傳輸量被分散，流速減弱，黑潮主軸傾於近岸，呈負相關。
- 夏季（圖c）：黑潮主軸位於西南季風的背風側，受其影響不大。熱帶性低氣壓會因逆時針旋轉的風場使得黑潮流速減弱，傾向近岸，因此呈負相關。另外，當黑潮流經台灣東海岸時，因遇到東西走向的東海陸棚，進而造成黑潮的海水向東偏移，在黑潮西側產生逆時針旋轉的的渦旋，伴隨著湧升流出現，而因為湧升流而產生的反流與黑潮流向相反（蔡易辰，2022），我們認為黑潮在台灣緯度較高之處的主軸流速會隨之減弱，向台灣東岸靠近，因此在四季的較高緯度相關係數折線圖中多呈現負相關。
- 秋季（圖d）：東北季風透過艾克曼環流使得黑潮往陸岸靠近，風向與黑潮流向相反會減弱流速，而又當聖嬰現象發生時東北信風減弱造成暖水向東調整，黑潮主軸應離岸才會呈現正相關，所以東北季風對台灣東岸黑潮的主影響範圍大約於北緯23度至25度，才會造成北緯約23度以下呈正相關，以上呈負相關。
- 北緯23度一帶相關性低之原因：位於琉球海溝，最大深度為7507米，與周圍地形落差大，形成強勁的湧升流，因此聖嬰現象的影響不顯著。

五、聖嬰指數和黑潮離岸距的關聯模型

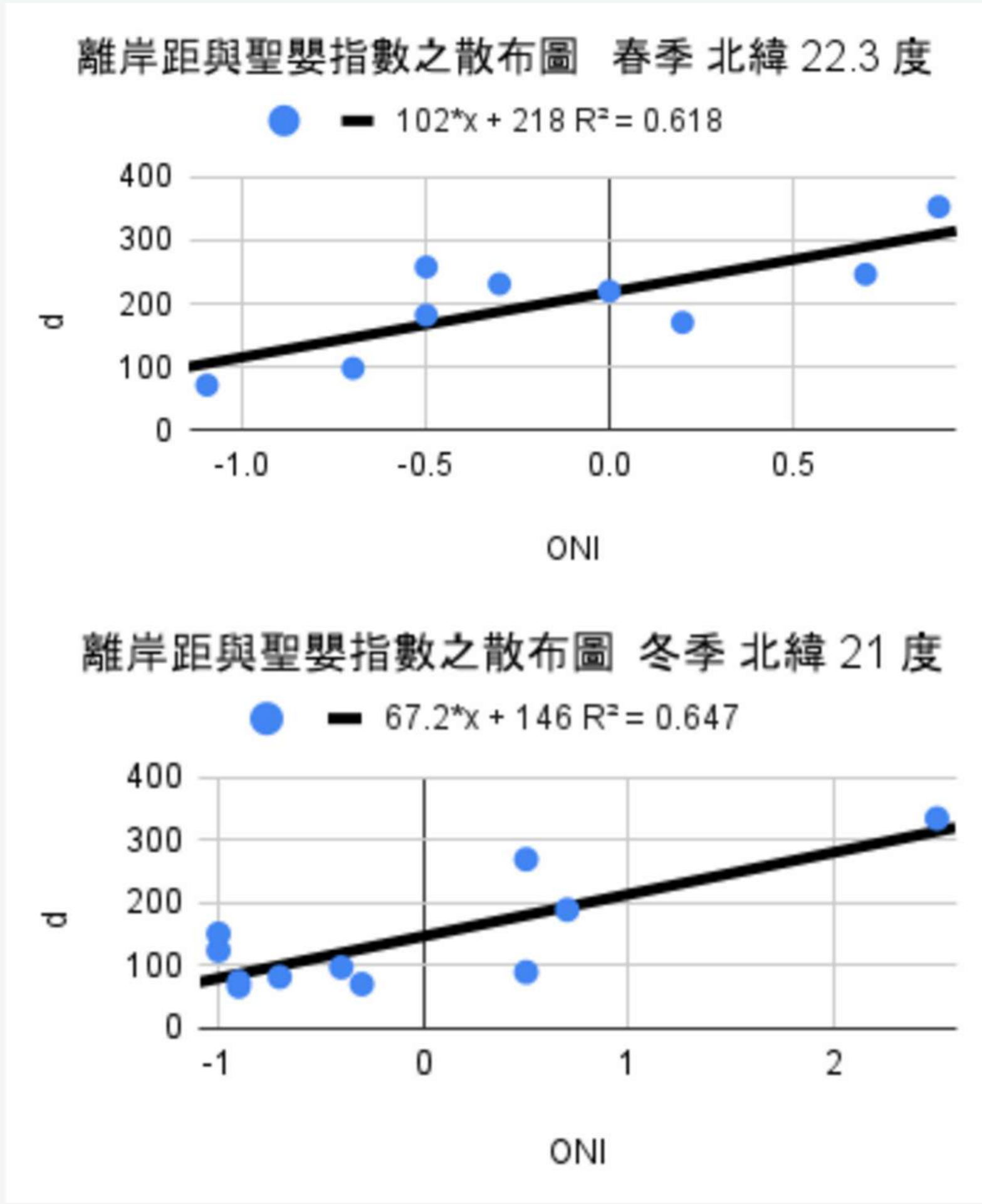
（一）黑潮離岸距與聖嬰指數的散布圖

（二）黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式，如表（3）



圖（5）：離岸距離d與聖嬰指數之相關係數與緯度的折線圖

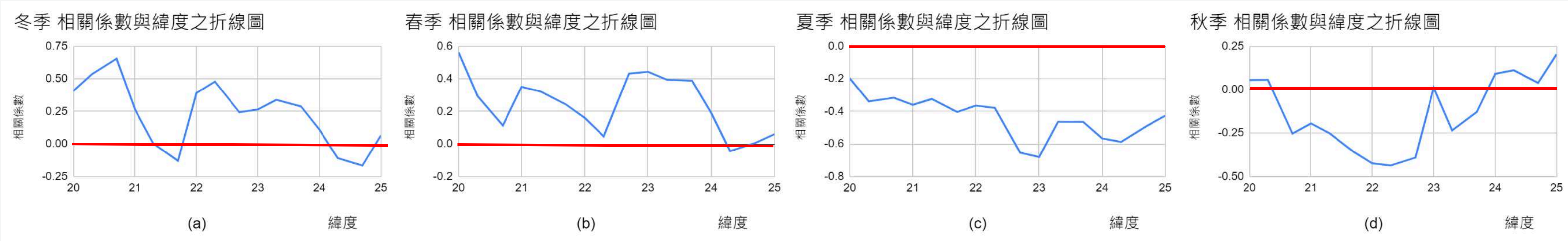
表（2）－ 黑潮主軸離岸距離&聖嬰指數					
緯度	冬季	春季	夏季	秋季	12年
20.0	0.55	-0.438	-0.014	0.255	0.094
20.3	0.645	-0.415	0.034	-0.025	0.065
20.7	0.657	-0.402	0.13	0.184	0.041
21.0	0.804	-0.054	-0.004	-0.017	0.06
21.3	0.457	0.588	0.268	0.567	0.331
21.7	0.683	0.442	0.313	0.405	0.364
22.0	0.696	0.279	0.25	0.138	0.296
22.3	0.702	0.500	0.426	-0.1	0.196
22.7	0.356	0.035	0.153	0.01	0.088
23.0	-0.242	0.196	-0.104	-0.229	0.005
23.3	-0.196	0.010	-0.388	-0.444	-0.249
23.7	-0.316	0.034	-0.561	-0.488	-0.284
24.0	-0.131	0.341	-0.299	-0.438	-0.253
24.3	-0.142	0.498	-0.332	-0.445	-0.176
24.7	-0.165	0.561	-0.483	0.02	-0.132
25.0	-0.029	0.227	-0.363	-0.14	-0.003



圖（6）：離岸距離d與聖嬰指數之散布圖

六、黑潮流速與聖嬰現象的相關程度

表（4）與圖（7）呈現了最大流速（黑潮主軸流速）和聖嬰指數的相關係數的分布，在夏秋兩季呈負相關是因聖嬰現象發生時，東風減弱，北赤道洋流也因此減弱，黑潮流速連帶減弱。至於冬春兩季，普遍呈低度正相關，不符合上文推測的原因可能是其他環境因素干擾，例如渦旋，文獻（黃茂城，2015）提及，氣旋式渦旋接近黑潮時，黑潮流速減弱；反氣旋式渦旋接近黑潮時，黑潮流速增強，而台灣東部的渦旋約位於北緯22度至24度，在這段範圍內，黑潮冬春季離岸距較大，容易碰撞到渦旋，受其影響產生流速變化，使聖嬰現象對冬春季黑潮流速的影響被淡化。



圖（7）：流速v與聖嬰指數之相關係數與緯度的折線圖

表（3）－ 黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式				
緯度	冬季 (y=)	R ²	春季 (y=)	R ²
20.0	30.9*x + 209	0.303	-57.5*x + 214	0.551
20.3	35.2*x + 148	0.416	-30.9*x + 184	0.248
20.7	45.1*x + 133	0.432	-42.5*x + 153	0.371
21.0	67.2*x +146	0.647	-67.7*x +192	0.341
21.3	43.6*x + 206	0.209	-63.1*x +251	0.321
21.7	79.1*x + 253	0.467	-121*x + 266	0.531
22.0	51.1*x + 218	0.485	56.7*x +138	0.261
22.3	32.5*x + 213	0.492	102*x + 218	0.618
22.7	27.1*x + 185	0.127	-74.77*x +157	0.479
23.0	-14.7*x + 125	0.058	-29*x + 93.8	0.229
23.3	-10*x + 117	0.038	-27.8*x +91.6	0.340
23.7	-21.4*x +175	0.322	-28.9*x +156	0.571
24.0	-9.27*x + 94.1	0.049	-18*x + 76.4	0.251
24.3	-8.48*x + 83.2	0.033	8.59*x+ 52.1	0.328
24.7	4.97*x + 78.3	0.062	9.63*x + 69.9	0.354
25.0	3.86*x + 97.2	0.108	- 9.43*x + 97.2	0.137

表（4）－ 最大流速&聖嬰指數				
緯度	冬季	春季	夏季	秋季
20.0	0.407	0.563	-0.198	0.055
20.3	0.535	0.294	-0.339	0.056
20.7	0.654	0.113	-0.317	-0.253
21.0	0.265	0.35	-0.360	-0.195
21.3	0.002	0.322	-0.324	-0.251
21.7	-0.130	0.242	-0.404	-0.359
22.0	0.391	0.159	-0.365	-0.425
22.3	0.478	0.046	-0.379	-0.437
22.7	0.243	0.432	-0.654	-0.392
23.0	0.264	0.443	-0.681	0.011
23.3	0.338	0.394	-0.464	-0.235
23.7	0.287	0.388	-0.465	-0.129
24.0	0.109	0.192	-0.566	0.091
24.3	-0.110	-0.045	-0.588	0.112
24.7	-0.167	0.006	-0.491	0.039
25.0	0.065	0.060	-0.427	0.203

伍、討論

一、影響黑潮主軸位置的因素

影響黑潮主軸位置的因素有許多，不僅僅是聖嬰現象與反聖嬰現象，事實上尚會受到天氣、風場、氣壓等因素影響。像是林永富（2013）所撰寫的黑潮入侵東海之研究中提到，黑潮可能會受到台灣區域季風影響而產生路徑變異，另外，渦漩、海氣交互作用與地形等等也會影響黑潮的流向與傳輸量，Zhang et al.（2001）和Yang et al.（2004）指出當反氣旋式渦漩（氣旋式）靠近黑潮時，黑潮流經東台灣通道的傳輸量會增加（減少），且容易向東（向西）蜿蜒。在本次的研究中，也發現黑潮路徑與聖嬰現象並非於每個季節皆存在顯著關聯，夏秋兩季便是例外，我們推測這個現象便是由於彼時黑潮受其他氣候因素影響較劇烈，才無法在此次統計呈現直接的相關性。

二、未來展望

找到黑潮離岸距離與聖嬰指數的關聯後，可運用經由大數據所預測出的聖嬰指數，輸入我們所研究出的黑潮離岸距離與聖嬰指數的關係式，進而預測出黑潮所在位置。由於黑潮的營養物質豐富，足以吸引較多魚類及其他海洋生物，待我們所做的模型考量到更多影響黑潮流向的因素，預測更加準確、更加成熟後，可將黑潮位置預測資料提供給各地漁民使用，有望提高漁民們整體在台灣東岸的漁獲量。

陸、結論

- 1.我們繪製台灣周遭海流流速流向分布圖，觀察到黑潮流速確實明顯高於周圍海域，於是便參照此特性，尋找台灣沿岸每緯度中流速最大的位置，連為軸線，定義此為黑潮主軸，此方法也曾被前人運用於研究中。
 - 2.聖嬰現象與黑潮路徑存在關聯，由全年段資料來看不顯著，需細分為四季討論，因季風、地形、渦旋等因素影響，以北緯23度為分界，20度至23度大抵呈現正相關；23度至25度除春季以外大抵呈現負相關，只有春季與其餘季節相反，21度以上皆呈正相關。
 - 3.聖嬰現象與黑潮路徑因台灣東海岸約北緯22.7度至23.3度的海底地形落差大，相關係數普遍偏低。
 - 4.黑潮主軸流速與聖嬰指數跟緯度位置無關，而是和季節連動，夏秋兩季呈負相關，與聖嬰現象發生時東風減弱有關；冬春兩季呈正相關，推測是受台灣東部渦旋影響較大，弱化聖嬰現象的影響。
 - 5.我們所建構的聖嬰指數與黑潮路徑之關聯性模型為2012年至2023年冬春季於不同緯度上，黑潮主軸離岸距離與聖嬰指數之迴歸直線方程式，可用於估計或預測，而夏秋兩季相關係數不甚顯著，不列入關聯模型計算。
- 聖嬰現象對黑潮的影響，攸關於台灣漁業發展與海洋生態變遷，我們提出冬春兩季的黑潮離岸距及聖嬰指數的迴歸直線方程式，也分項說明了聖嬰現象如何影響黑潮，希望此篇研究能促進漁業與台灣周圍海洋研究的進程。

柒、參考資料

1. 林永富 (2013)。黑潮入侵東海之研究Interannual variability of the Kuroshio intrusion onto the shelf of the East China Sea. [未出版之碩士論文] 國立台灣師範大學海洋環境科技研究所。
<https://etds.lib.ntnu.edu.tw/thesis/detail/4e5614a7b80842d49aff0df1f1748acb/>
2. 許伯駿 (2018).海洋與大氣多尺度變動對台灣附近黑潮的影響Effects of Oceanic and Atmospheric Multi-scale Variations on the Kuroshio Adjacent to Taiwan. [未出版博士論文] 國立台灣海洋大學海洋環境資訊系。台灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/em698p>
3. 曾振德 & 陳世欽. (2011, June 1). 衛星影像應用於解析台灣東部黑潮暖流之時空分布特性. 農業部水產試驗所水產期刊，類別：科技研究，期別：034，頁碼：6-9.台灣東部黑潮表層流軸與衛星海面水溫影像之季節變動分析 (tfrin.gov.tw)
4. Yang De-Zhou, Yin Bao-Shu, Hou Yi-Jun, Sun Song, Yu Zhi-Ming, Song Jin-Ming, Xu Ling-Jing, Yu Fei, Song Xiu-Xian, Yu Ren-Cheng, Yuan Hua-Mao, Li Xin-Zheng, Yuan Yong-Quan. (2017).黑潮入侵東海陸架途徑及其影響研究進展 (Advance in research on kuroshio intrusion and its ecological influence on the continental shelf of east china sea.) Oceanologia et Limnologia Sinica, 48(6): 1196-1207.<http://qdhys.cnjournals.com/html/hyyhz/2017/6/20170609.htm>