

衛星海洋水色影像應用於西北太平洋海域 正鰹漁海況分析之研究

曾振德¹、陳世欽¹、孫志陸²、廖美慧³

¹水產試驗所企劃資訊組、²國立台灣大學海洋研究所、³中央氣象局

前言

近年來已有充分科學證據顯示，長期氣候變遷及全球溫暖化已導致人類賴以生存之地球的自然環境，發生顯著的時空變化。為此，美國於 1991 年開始陸續推動新一代 EOS (earth observation system) 系列地球觀測衛星計畫，藉以監測全球與區域性陸地及海洋環境之長期變化。目前已順利發射進入軌道運作中之 Terra 及 Aqua 衛星，均有酬載 MODIS (moderate resolution imaging spectroradiometer) 感測器，可同步進行海面水溫 (sea surface temperature, SST) 及海洋水色 (ocean color) 之觀測作業。由於 Terra 及 Aqua 衛星每日至少通過台灣海域上空二次，因此 MODIS 感測器一天至少有四次機會進行近即時海面水文監測任務。利用 MODIS 具有之 36 個波段觀測數據，可推演出多項海洋研究及應用之衍生，包含海面水溫、海洋水色 (基礎生產力) 及懸浮物質濃度等 16 種，可提供海洋漁業等相關學術研究分析及加值利用。

近年來，本所亦積極投入應用衛星遙測 (remote sensing, RS)、地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 及全球定位系統 (global positioning system, GPS) 等

3S 最新技術，進行台灣沿近海水文環境調查與整合分析。首先利用多重衛星遙測技術，蒐集及建置台灣周邊海域重要漁業資源之海洋環境影響因子 (包含海面水溫、海洋水色及海面高度等) 之基礎資料庫，再利用地理資訊系統具備之空間資訊整合及地理統計分析功能，解明台灣沿近海重要高度洄游性漁業資源之時空分布特性及漁海況關聯性。如此可有效掌握魚群分布動態，增進漁撈作業效率及降低油耗成本。過去美國鮪旗漁業應用衛星遙測海面水溫影像，平均縮短了 50% 的漁場搜尋及探魚時間，並增加 25% 的漁獲量 (Laurs, 1993; 邵, 2001)。日本漁業情報服務中心發布之漁海況速預報 (包含衛星水溫數據資料及加值產品)，則具有極高之精確度及可用性，使漁獲量平均增加 27%，亦節省了 22% 燃油成本 (為石, 1999)。而由於衛星影像提供許多重要漁場資訊，大幅縮短海上尋魚時間，可降低油耗及減少二氧化碳排放量，對於減緩全球暖化現象亦有所助益。

正鰹 (skipjack tuna) 為西太平洋海域重要的經濟性漁獲魚種，且為高度洄游魚類 (highly migratory species, HMS)，容易受到海況時空變動之影響，其主要棲息於水溫躍層 (thermocline layer) 以淺之表層海域，因此極適合利用多重衛星遙測資料，探討衛星觀測

獲得之海洋環境因子與正鰹魚群移動及漁獲分布之相關性。本研究即嘗試利用 MODIS 及 SeaWiFS 衛星遙測海洋水色 (葉綠素濃度) 及海面水溫資料, 探討西北太平洋海域 TZCF (transition zone chlorophyll front) 之時空變動, 並利用 ArcGIS 地理資訊系統, 進行 TZCF 及正鰹漁獲統計資料之漁海況整合分析。

材料與方法

一、研究海域範圍

本研究範圍以靠近日本之西北太平洋海域為主。該海域之水文動態 (hydrographic dynamics), 主要受到黑潮 (Kuroshio current) 向東延伸之續流暖水及北方南下的親潮 (Oyashio current) 冷水所影響; 同時也受到位於高緯度具較高葉綠素濃度 (chlorophyll-a concentration, Chl-a) 之亞極區環流 (subarctic gyre) 和位於中緯度具較低葉綠素濃度之亞熱帶環流 (subtropical gyre) 交匯作用, 容易形成一個明顯的過渡區, 即著名的 TZCF 分布海域 (Polovina et al., 2001)。

二、衛星遙測資料

本研究蒐集及處理 1998–2004 年西北太平洋海域 MODIS 及 SeaWiFS 衛星海面水溫及海洋水色資料, 並利用 ArcGIS 地理資訊系統轉換成網格式圖層 (raster layers), 以利整合其他衛星遙測影像, 並配合正鰹漁獲統計資料, 進行整合及套疊分析。

同時利用 MODIS 衛星水溫水色影像, 以 Behrenfeld 與 Falkowski 於 1997 年發展之 VGPM (vertically generalized production model) 模式, 估算海水之每日真光層內積分

之基礎生產力 (daily euphotic zone-integrated primary production, IPP_{eu})。其中, VGPM 模式計算公式如下所示:

$$IPP_{eu} = 0.66125 \times P_{opt}^B \times [E_0 / (E_0 + 4.1)] \times C_{sat} \times Z_{eu} \times D_{IRR}$$

IPP_{eu} : 每日真光層內初級生產力積分值 (單位: $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

C_{sat} : MODIS 觀測獲得之海面葉綠素濃度 (單位: mg m^{-3})

D_{IRR} : 日照時數 (daily photoperiod, 單位: hours)

E_0 : 海面之全天總日照量 (sea surface daily photosynthetically active radiation (PAR), 單位: $\text{Einstein m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Z_{eu} : 真光層深度 (depth of the euphotic zone, 單位: meters)

P_{opt}^B : 真光層最大光合作用率 (optimal specific primary productivity, 單位: $\text{mg C mg}^{-1} \text{hr}^{-1}$)

此外, 亦處理 TOPEX/Poseidon 衛星海面高度 (sea surface height, SSH) 資料, 利用其推算獲得之地轉流 (geostrophic current), 以南北向及東西向之流速資料, 推算本研究海域之渦流動能 (eddy kinetic energy, EKE) (Wyrki et al., 1976), 再結合正鰹漁獲統計資料, 進行漁海況整合分析。

三、漁獲統計資料

本研究蒐集及處理 1998–2004 年西北太平洋海域鰹竿釣 (pole-and-line) 漁業之正鰹漁獲統計資料, 包含作業海區 (5 度經度 \times 5 度緯度)、作業天數及漁獲重量 (公噸) 等。並進一步換算獲得每一作業海區之月別正鰹單位努力漁獲量 (CPUE, 單位: 公噸/天), 並以 CPUE 為權重因子 (weighted factor), 計算出正鰹之月別漁獲重心分布。

結果與討論

一、利用 MODIS 及 SeaWiFS 衛星水色影像建立 TZCF 變動指標

本研究利用蒐集獲得之 1998–2002 年之 SeaWiFS 衛星水色影像及 2003–2004 年之 MODIS 衛星水色影像，建立北太平洋亞熱帶環流及亞極區環流交匯形成之 TZCF 變動指標，即利用衛星水色影像 (Chl-*a* 濃度) 萃取 0.2mg m^{-3} 等值線，作為 TZCF 之分布海域位置，分析 TZCF 於西北太平洋海域之季節性及月別時空變動情形。結果顯示，此西北太平洋海域之 TZCF 會向西延伸，沿著日本南方海域擴展至台灣東部黑潮海域。由 1998 至 2004 年之 TZCF 年平均分布位置 (圖 1)，顯示其分布海域大致與黑潮暖流之左邊界相對應，未來可進一步嘗試將 TZCF (0.2mg m^{-3} 等值線) 與其他衛星影像 (如海面水溫及海面高度等) 整合分析，作為黑潮暖流左邊界分布之重要指標。此外，綜合分析 1998–2004 年之衛星水色影像 0.2mg m^{-3} 等值線分布圖，顯示 TZCF 於日本南方大約東經 140 度以西海域，其年平均分布位置，介於北緯 32 至 35 度之間海域。但是 2003 及 2004 年之 TZCF 分布則有偏北推移現象，特

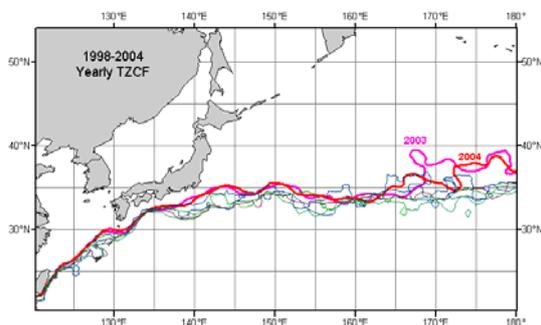


圖 1 1998-2004 年 MODIS 及 SeaWiFS 衛星水色資料推導之年平均 TZCF (Chl-*a* 濃度 0.2mg m^{-3} 等值線) 分布，其中 2003 及 2004 年 TZCF 有明顯偏北分布現象

別是東經 165 度以東海域，TZCF 甚至往北推移接近北緯 40 度。研判 2003 及 2004 年之 TZCF 往北推移現象可能與 ENSO 事件有關，值得進一步深入探討。

二、TZCF 季節性時空變動分析

利用 1998–2002 年 SeaWiFS 衛星水色資料，初步探討 TZCF 分布位置與正鯉漁獲之季節性時空變動關係 (圖 2)。結果顯示，西北太平洋海域 TZCF 呈現明顯的南北來回推移現象，此種緯度向 (latitudinal migration) 移動形態具有顯著的季節變化。當夏季時期 (每年 6–8 月)，中緯度海域之亞熱帶環流勢力增強，逐漸往高緯度海域擴展，導致 TZCF 往北推移並靠近亞極區環流分布海域，TZCF 最北端分布海域接近北緯 40 度。相反的，在冬季時期 (每年 12 月至隔年 2 月)，亞極區環流勢力增強，慢慢往南擴展，致使 TZCF 往較低緯度海域移動，最南端推移至約北緯 30 度。因此，西北太平洋海域 TZCF 南北緯度向推移現象，明顯的會隨季節變換重複不斷循環發生，其緯度向推移最大可跨越 10 度 (接近 2,000 km) (Bograd et al., 2004; Polovina and Howell, 2005)。根據研究報告指出，TZCF 已成為北太平洋許多重要高度洄游魚類棲息及索餌海域，亦即 TZCF 之時空變動也將影響這些魚群的移動及分布。因此，本研究利用 TZCF 作為一個生態指標，探討西北太平洋海域正鯉之單位努力漁獲量分布狀況及其與 TZCF 時空變動之相關性。

三、TZCF 及正鯉 CPUE 月別時空變動整合分析

利用 ArcGIS 地理資訊系統將月別 TZCF 及正鯉 CPUE 分布進行圖層套疊，以進行漁

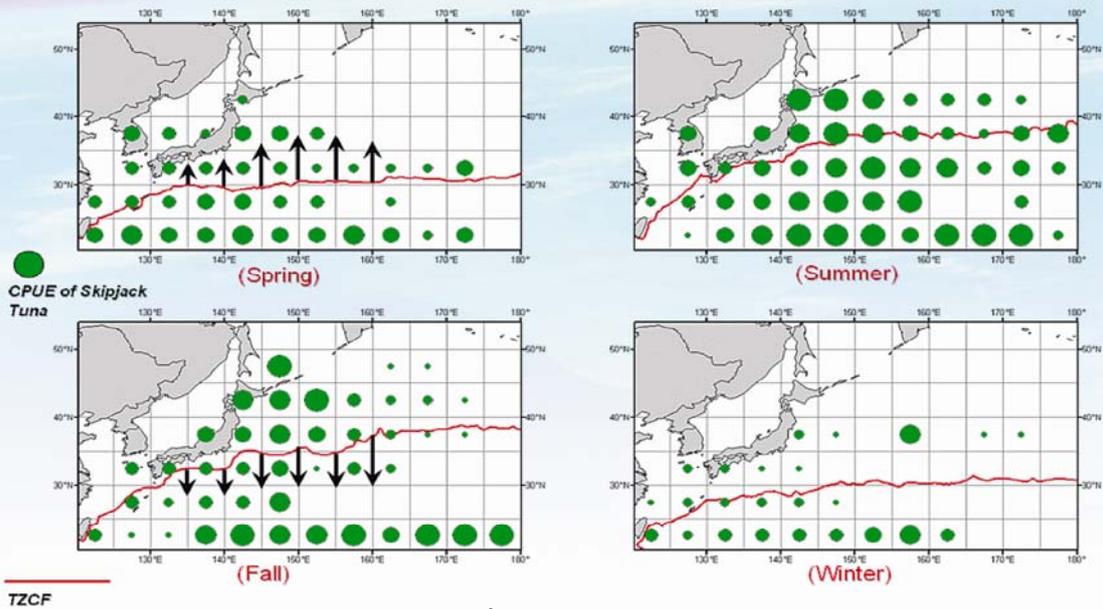


圖 2 TZCF(Chl-a 濃度 0.2 mg m^{-3} 等值線)及正鯷單位努力漁獲量之季節性分布

海況整合分析。結果顯示，TZCF 於夏季時期會往北推移，大約於 8 月時到達最高緯度，接近北緯 40 度。相反的，冬季時期則會往南擴展，於 1 月時，可推移至最南端的北緯 30 度海域。接著套疊正鯷漁獲分布圖，發現相對應於 TZCF 之月別分布形態，正鯷 CPUE 分布亦有相同之變動趨勢。其中，正鯷 CPUE 之漁獲重心分布也於 8 月 (夏季時期) 時，往北推移至最北邊的北緯 35 度海域，而於 1 月 (冬季時期) 時南移至最南邊的北緯 25 度海域。同時，伴隨 TZCF 往北推移，較高的正鯷 CPUE 發生於夏季時期，偏低的正鯷 CPUE 則發生於冬季時期，此時 TZCF 位於最低緯度。再者，進一步分析 TZCF 與正鯷 CPUE 漁獲重心分布之月平均緯度值變化，發現兩者存在有同步之變化趨勢，經由線性迴歸分析 (linear regression analysis) 結果，TZCF 與正鯷 CPUE 分布確實存在顯著正相關 (圖 3)。

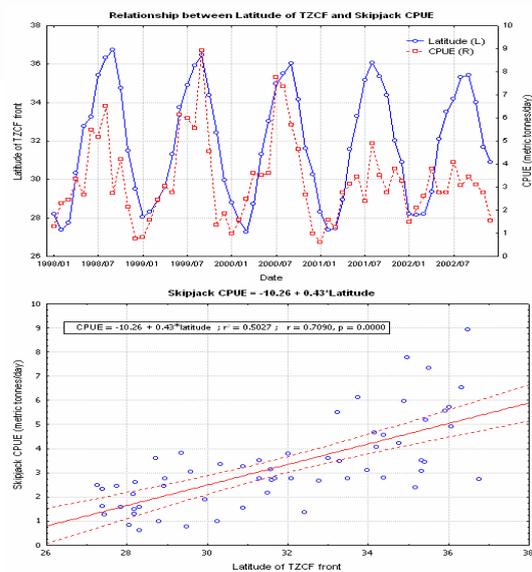


圖 3 TZCF 及正鯷 CPUE 漁獲重心之平均分布緯度時序列圖(上)與其線性迴歸分析(下)

此外，由 1998—2004 年 1 月 (冬季時期) TZCF 分布結果 (圖 4)，發現 2003 及 2004 年 1 月，西北太平洋海域之 TZCF 分布位置明顯有偏北現象。一般情況下，TZCF 於冬季時期 (1 月) 應往南推移至北緯 30 度附近

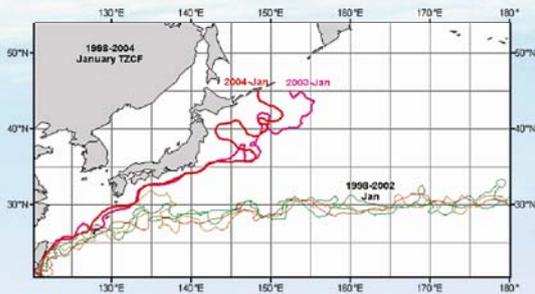


圖 4 1998-2004 年 1 月 TZCF 分布

海域，但是 2003 及 2004 年 1 月之 TZCF 位置則仍在日本北海道海域附近（大約北緯 40 度附近海域）。這種 2003 及 2004 年 1 月之 TZCF 往北推移現象與年平均分析結果一致，可能與 2003—2004 年 ENSO 事件有關，未來將蒐集更多資料進一步深入探討。

四、MODIS 衛星水溫水色推估基礎生產力與正鯷漁獲分布之關係

利用 MODIS 衛星海面水溫及海洋水色資料，配合其他海洋環境因子，以 Behrenfeld 與 Falkowski 於 1997 年發展之 VGPM 模式，估算海水之每日真光層內積分之基礎生產力 (IPP_{eu}) (圖 5)。結果顯示，冬季時期之西北太平洋海域，其基礎生產力明顯偏低，對應之正鯷 CPUE 有同樣情形。相反的，夏季時期此海域之基礎生產力明顯升高，特別是整個亞極區環流之基礎生產力明顯比冬季時期高很多，其對應之正鯷 CPUE 也有增加趨勢。

五、利用衛星海面高度資料推算 TZCF 海域之渦流動能(EKE)及其與正鯷漁獲分布之關係

本研究亦利用 TOPEX/Poseidon 衛星海面高度資料，推算西北太平洋海域 TZCF 分布區域之渦流動能 (圖 6)。結果顯示，整個 TZCF 分布區域，大致對應於黑潮暖流主流區及其通過日本南方海域向東延伸之黑潮續

流區，且不論是冬季或夏季時期，其 EKE 值均有較高現象，顯示出受黑潮暖流影響之 TZCF 分布海域，由於表層海水之流速快，經估算地轉流並推算獲得之渦流動能也會有較高情形。整體而言，利用衛星海面高度資料推算之 EKE 高值區，通常會與高度洄游魚種之魚群移動與分布有密切關係 (Palacios et al., 2006; Zainuddin et al., 2006)，唯仍須其他海洋環境因子配合分析，才能利用渦流動能變化分析漁獲分布之時空動態。

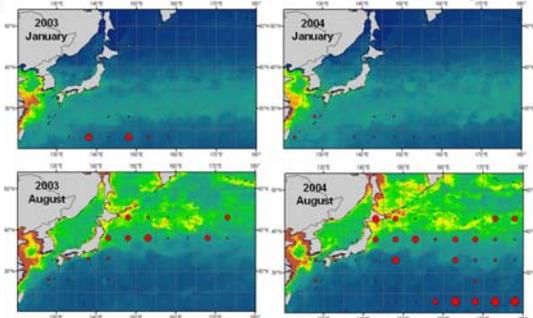


圖 5 利用 MODIS 衛星水溫水色資料推估 2003-2004 年冬季(1 月)及夏季(8 月)時期，西北太平洋海域之基礎生產力分布

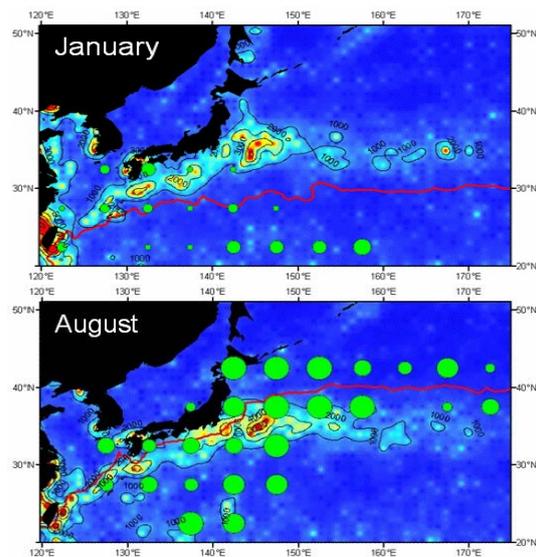


圖 6 利用衛星海面高度資料推算冬季(1 月)及夏季(8 月)時期，西北太平洋海域之渦流動能分布