

中西太平洋鱈鮪圍網漁場之 基礎生產力

曾振德¹、劉姍妤¹、孫志陸²、葉素然²、陳世欽¹

¹水產試驗所企劃資訊組、²國立台灣大學海洋研究所

前言

中西太平洋暖池區是全世界海域最溫暖也是最貧瘠的海域，其具有之高海面水溫及低水色濃度特性的時空變化，不僅已被證實與聖嬰-反聖嬰現象有關，且會影響許多高度洄游魚類之棲息分布，特別是具高經濟價值的鱈鮪魚類 (Lehodey et al., 1997 & 1998)。事實上，暖池區一直是傳統重要作業漁場之一，根據中西太平洋漁業委員會的研究報告，2007 年中西太平洋海域之鮪漁業年產量為 240 萬公噸，產值約達 30 億美元，其中 70% 的漁產量是利用大型圍網捕獲。中西太平洋暖池區也是台灣遠洋大型鱈鮪圍網漁業的主要作業漁場，2007 年漁獲量達 23 萬公噸，產值約 74 億新台幣，係台灣非常重要的遠洋漁業之一，因此，對於中西太平洋暖池區漁場環境變動特性，有必要作更深入的瞭解與探討。

近年來，衛星遙測技術已成為取得全球海域海面水溫、海洋水色及許多重要海況參數的重要利器，長期累積具高品質的海況數值資料，可提供海洋漁業相關研究。其中，利用 OrbView-2 衛星酬載的 SeaWiFS 海洋水色感測器，可觀測海水中 chlorophyll-*a* (Chl-*a*)

濃度，推算植物性浮游生物量，配合 NOAA 衛星 AVHRR 海面水溫及真光層深度等資料，即可利用不同推演模式 (VGPM 模式等)，估算出海水的基礎生產力 (Behrenfeld and Falkowski, 1997)。Behrenfeld et al. (2006) 利用 1997–2006 年全球海域之衛星海面水溫及海洋水色資料的長期變動趨勢，探討水溫變化與浮游生物量及其衍生之基礎生產力的相關性，發現近年來海面水溫有暖化趨勢 (包含中西太平洋海域)，其浮游生物量及基礎生產力也都伴隨有下降現象。另外，Ware 及 Thomson (2005) 利用 SeaWiFS 衛星海洋水色資料，也發現美國沿岸海域的漁產量與 Chl-*a* 濃度呈現高度正相關，而這些海域經常具有較高的基礎生產力，聚集高密度的浮游動物，形成魚類棲息洄游的重要海域，驗證了海洋生態學中「由下而上」控制的營養階層關連性。再者，經驗正交函數分析已經常被用於探討研究海域範圍內的主要水文特徵型態 (Brickley and Thomas, 2004) 及海洋漁業相關研究領域 (Lagerloef and Bernstein, 1988; Gallaudet and Simpson, 1994)，配合小波函數解析時序列資料，可獲得不同時間尺度 (週期變化) 頻譜變化及其空間分布特性 (ITT, 2007)。由於過去對於中西太平洋海域

的水文長期變動分析，主要利用衛星海面水溫影像為主，同時利用衛星海面水溫及海洋水色資料進行整合分析仍不多。因此本研究係利用 1997–2006 年的衛星海面水溫及海洋水色影像資料，以等值線分布及經驗正交函數與小波分析等方法，探討中西太平洋海域我國遠洋大型鯉鮪圍網作業漁場之水文時空變動特性。

材料與方法

一、利用多重衛星資料估算基礎生產力

由於衛星遙測技術仍無法直接觀測獲得海水的基礎生產力分布狀況，目前主要係以衛星海面水溫及海洋水色資料，配合其他海洋環境參數，來估算基礎生產力 (IPP)。其中，最常被使用的估算方法為 Behrenfeld 及 Falkowski (1997) 所發展的 VGPM 模式，公式如下：

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

上式中 IPP_{eu} 即為基礎生產力，單位為每日每平方米海水可生產的碳含量 ($\text{mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)。另外， PB_{opt} 是最適基礎生產力，可由衛星水溫值換算獲得，單位為 $\text{mg C mg Chl}^{-1} \text{ hour}^{-1}$ 、 E_0 為光合作用有效輻射 (PAR: $\text{Einstein m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)、 C_{sat} 是 SeaWiFS 衛星海洋水色 Chl-*a* 濃度 (mg m^{-3})、 Z_{eu} 是真光層深度、 D_{IRR} 是日照時數。

二、衛星影像經驗正交函數及小波分析

本研究利用經驗正交函數處理分析 1997 年 11 月至 2006 年 10 月之月平均 SeaWiFS 衛星海洋水色及基礎生產力時序列

資料，藉以探討中西太平洋海域主要的表層水文時空分布型態。首先對各月平均衛星影像減去其平均值，再計算各影像的自我變異數及各影像間的共變異數，利用變異數矩陣，求解出特徵值及特徵向量，獲得研究海域主要的主成分影像，並進一步利用小波分析方法，解析各主成分影像的時間振幅函數，探討中西太平洋海域主要水文分布特徵之週期變動特性。

結果與討論

一、中西太平洋海域基礎生產力之時空分布

圖 1 為 1997 年 11 月至 2006 年 10 月利用衛星水溫水色影像資料，以 VGPM 模式推算之中西太平洋海域月平均基礎生產力分布圖。圖中顯示春季時期 (2–6 月) 的基礎生產力明顯高於夏季時期，其高數值區發生於巴布亞新幾內亞與印尼周邊海域，以及東太平洋冷水舌西向延伸區。其中，由冷水舌海域的月別基礎生產力變化，可以發現冷水舌向西擴展的勢力於 3 月時最為顯著，具有高基礎生產力的冷水舌可向西延伸至東經 160 度海域。反之，夏季時冷水舌勢力向東退縮至東經 170 度附近海域，此時冷水舌海域的平均基礎生產力也偏低。整體而言，中西太平洋海域的月平均基礎生產力介於 $266.3 - 331.0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，且暖池區海域之基礎生產力遠低於冷水舌海域。根據 Pennington et al. (2006) 的研究報告指出，東太平洋冷水舌海域具有較高基礎生產力得原因，主要是海水湧昇至表層海域的過程中，將較底層具高

營養鹽物質帶至表層海域，最後形成高基礎生產力海域。而過去一向被認為如海洋沙漠（水溫高且基礎生產力低）的中西太平洋暖池海域，卻仍是許多大型洄游魚類棲息分布海域（Lehodey et al., 1997），研判與冷水舌由東太平洋海域將高基礎生產力的海水，源源不斷輸送至暖池附近海域有密切相關。另外，本研究也探討中西太平洋海域暖池區基礎生產力的年間變動特性，顯示暖池區之年平均基礎生產力遠低於冷水舌分布區，且冷水舌海域的基礎生產力有明顯的年間變動特性，1998年時達到最高值，高值區分布於東經165–170度及南北緯2度之間，其平均值可達 $480 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，研判與1998年下半年開始發生之反聖嬰現象有關，亦即赤道東太平洋海域發生反聖嬰事件時，冷水舌因湧昇作用勢力增強，並向西延伸至暖池區，造成基礎生產力大幅上升現象。而隨後的1999–2000年期間，具高基礎生產力的冷水舌則持續擴展至東經160度附近海域。但2001年開始，冷水舌勢力慢慢減弱，2002年幾乎退縮至東經180度以東海域，而當年也發生了聖嬰事件，才導致冷水舌分布海域範圍大幅縮小，此時暖池區溫暖海水則明顯向東擴展。所以，中西太平洋海域的基礎生產力變化，與ENSO事件是否發生有密切相關，當發生聖嬰年時（如2002及2006年），冷水舌勢力會減弱，突入暖池區的現象消失，導致中西太平洋海域基礎生產力下降。相反的，當發生反聖嬰年時（如1998下半年至2000年），冷水舌勢力增強，並向西擴展至暖池區，導致中西太平洋海域之年平均基礎生產力明顯升高。

二、中西太平洋海域基礎生產力之主要分布特徵型態及其週期變化

瞭解中西太平洋海域基礎生產力的主要分布特徵型態，有助於掌握這個大型海洋生態系統的時空變化。因此，本研究利用經驗正交函數分析方法，處理1997年11月至2006年10月（共108個月）中西太平洋海域之月平均基礎生產力時序列影像資料。結果顯示，第一主成分影像（圖2）可解釋總變異百分比為87.7%，其主要分布型態，呈現出冷水舌由東太平洋海域向西擴展至暖池區海域，具有高基礎生產力的冷水舌西向延伸區，分布於東經160–180度及南北緯5度之間的赤道海域。

另外，為了瞭解第一主成分影像主要分布特徵型態的週期變化，本研究利用頻譜分析方法處理第一主成分的時間振幅係數（圖3）。顯示其主要變動週期為2–4個月及12個月（年週期）。本研究進一步利用小波分析方法，以Morlet-6母小波為基底，處理分析第一主成分影像的時間振幅係數，也發現2–4個月之短週期變動，且主要發生於1998年及2002年，配合南方震盪指數（SOI）分析，主要對應於聖嬰事件發生時期。由小波分析結果也顯示自2002年開始，年週期變動逐漸明顯（圖4）。事實上，由於本研究僅使用了9年的月平均基礎生產力時序列影像，故僅能利用小波分析探討較短週期的時空變動特性，對於一般常見的ENSO事件數年之週期變化，則無法有效解析，未來將繼續蒐集累積更長期資料，以探討中西太平洋海域暖池區長期變動特性。

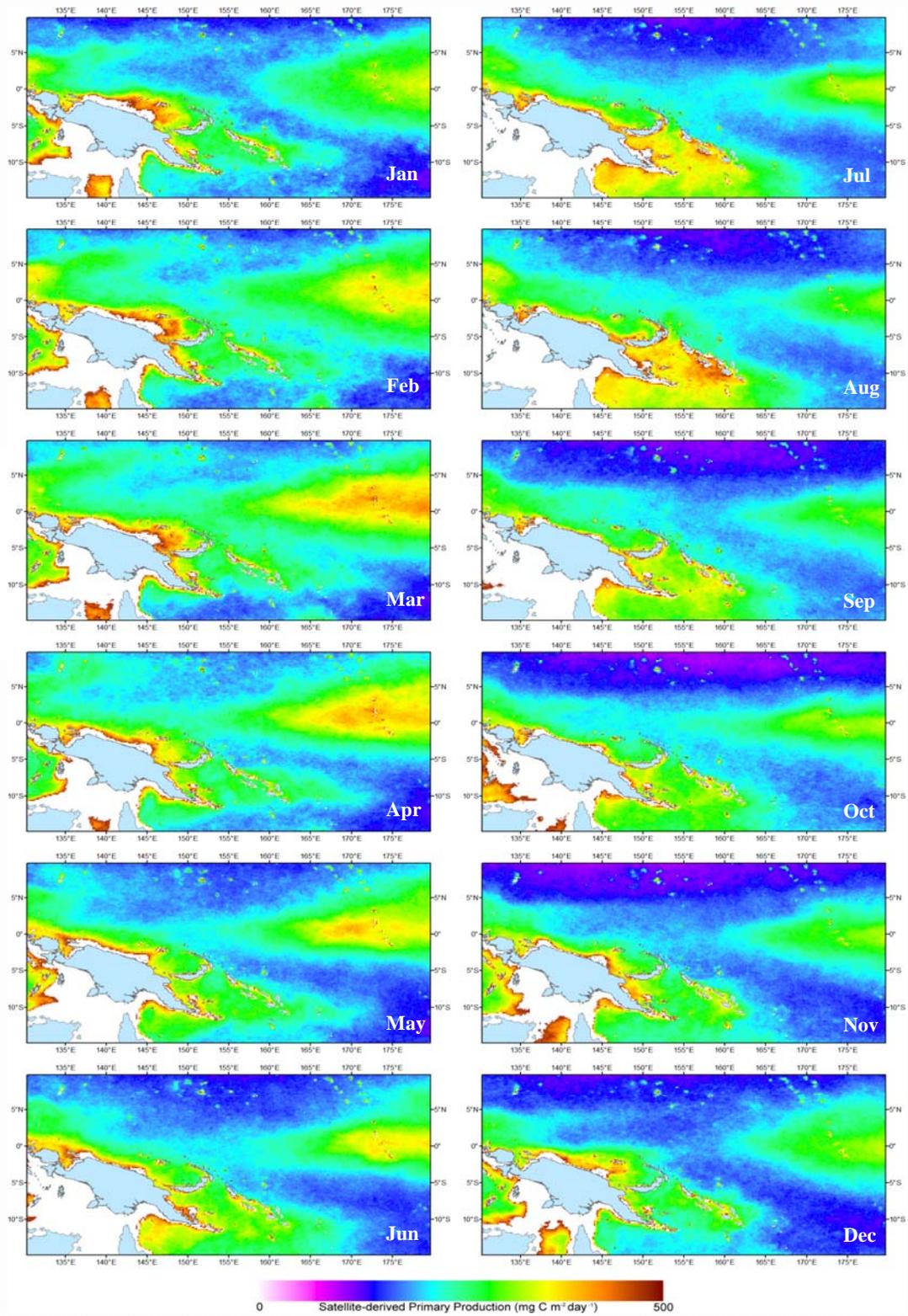


圖 1 1997/11 月至 2006/10 月中西太平洋海域月平均基礎生產力分布

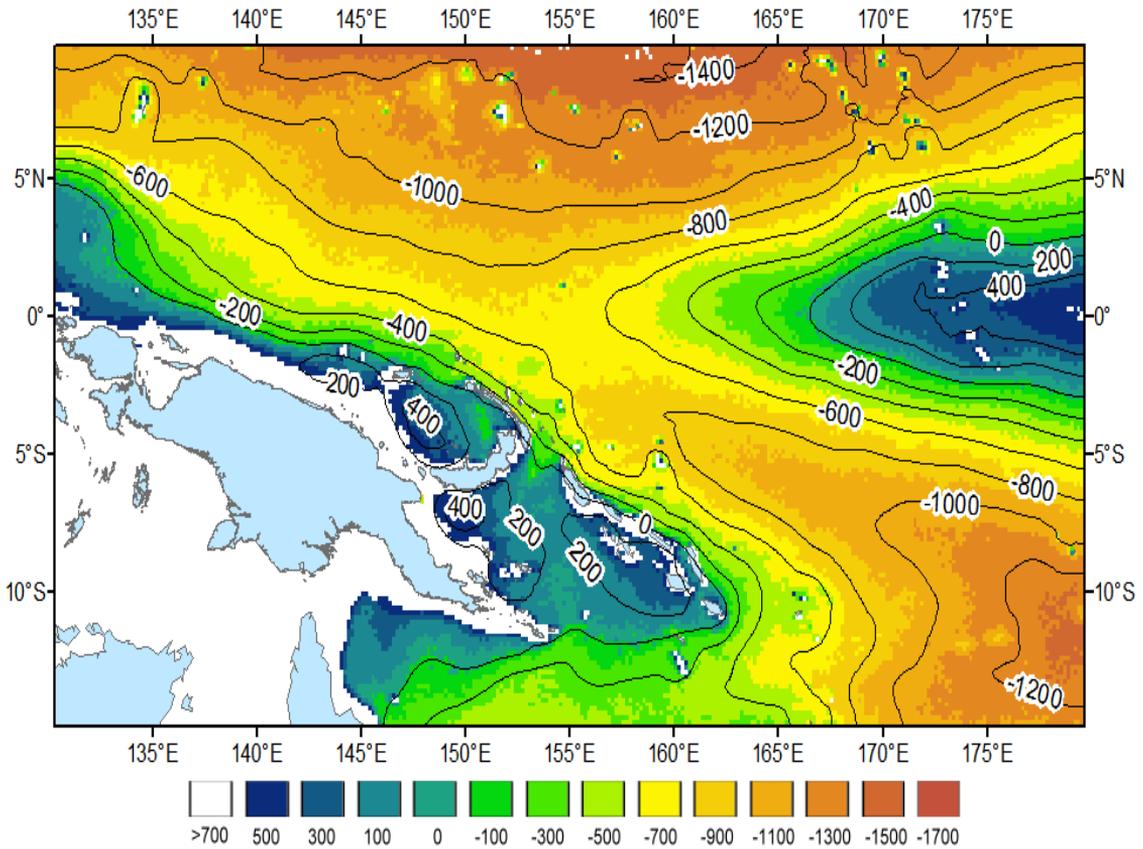


圖 2 中西太平洋海域月別基礎生產力經驗正交函數分析獲得之第一主成分影像

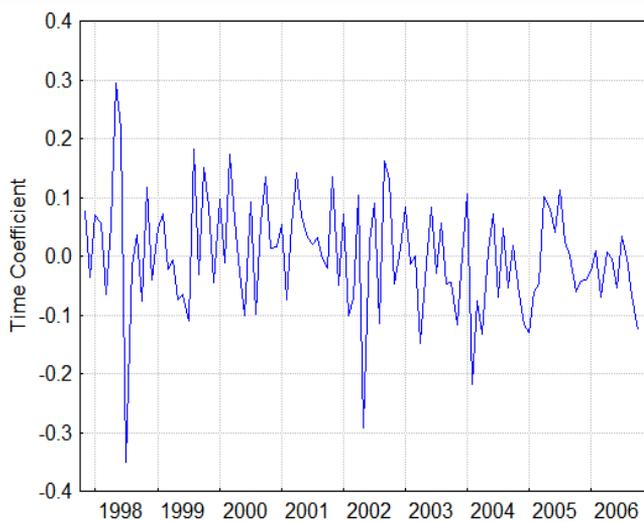


圖 3 第一主成分影像之時間振幅係數

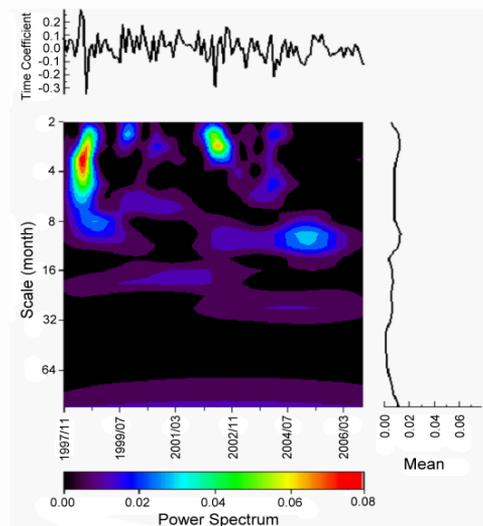


圖 4 第一主成分影像時間振幅係數之小波分析(時間變動週期)結果