衛星影像應用於解析台灣東部黑潮暖流之時空分布特性

曾振德、陳世欽
水產試驗所企劃資訊組

黑潮暖流之重要性

黑潮暖流具有流速快、流量大且高溫、高鹽等特性，可將低緯海域的大量熱能傳輸至高緯海域，達到地球熱平衡效應 (Tang et al., 2000)。黑潮暖流也被稱為重要經濟性魚類的高速公路，許多高度洄游魚類，經常跟隨著黑潮暖流，進行南北向棲息洄游的生物行為。因此，黑潮暖流扮演了關鍵且重要的角色，早已成為眾多海洋學者甚至大氣研究人員的主要研究對象，企圖更充分掌握黑潮暖流的時空分布特性及其對海洋生物棲息分布之影響 (Polovina and Howell, 2005)。

台灣東部海域受黑潮暖流影響，是許多具經濟價值之高度洄游性魚類魚群移動及索餌棲息的主要海域，其明顯之季節性及地域性變化與海洋環境因子有密切關係。近年來，瞭解各種海洋環境因子與高度洄游性魚類時空分布之相關性，已成為海洋漁業資源調查評估的重要課題之一。同時由於衛星遙測技術日益成熟，可提供近即時且廣景覽要之多重衛星遙測海況參數影像，配合地理資訊系統優異之空間圖層套疊及地理統計分析功能，已被廣泛應用於許多大洋洄游性魚類分布熱點海域及其魚群移動之相關研究 (Zainuddin et al., 2006)。

衛星影像應用於黑潮暖流之相關研究

有關黑潮暖流的調查與研究，傳統上是就長期累積的水文觀測資料，進行統計分析，但水文資料蒐集不易且涵蓋海域範圍經常受到研究船觀測之時空限制。因此，近年來已陸續有海洋學者利用衛星遙測資料，進行大尺度海域之時空變動分析，同時應用於探討許多大洋性洄游魚類棲息分布之相關研究。過去海洋學者對於黑潮暖流的主流軸分析與變動型態相關研究，在黑潮靠近日本南方海域部分，日本學者 Takahashi 及 Kawamura (2005) 曾經利用 SeaWiFS 海洋水色濃度 (Chl-*a*) 0.17 mg m^{-3} 等值線，作為沿岸水與黑潮水之分界線。事實上經過很多研究調查後，日本南方海域的黑潮暖流的主流軸變動，已被歸納為非大蛇行靠岸流軸、非大蛇行離岸流軸及大蛇行流軸等三種型態，而日本氣象廳也早已將黑潮流軸變動之速預報列為例行業務之一。至於靠近台灣周邊海域的黑潮暖流相關研究，早期大陸學者孫湘平曾完成黑潮流軸四季變化圖，發現台灣東部黑潮有夏季離岸，冬季近岸的現象。其最大流速都可以達到 3 節，也就是 150 cm/sec。此外，國內也有學者利用 10 年累積的船測

Sb-ADCP 流速流向資料，分析台灣東部黑潮主流軸分布型態，以流速 100 cm/sec 為邊界，平均流幅寬度約 170 km，最窄處於宜蘭海脊約 120 km。

再者，Penaflor 等 (2007) 利用 MODIS 衛星海面水溫及海洋水色影像資料，探討菲律賓西北方海域，季節性海水葉綠素濃度增加現象，結果顯示水色濃度增加與該海域黑潮水入侵後受海底地形影響，呈現的湧昇現象有顯著關係。Polovina 和 Howell (2005) 利用衛星遙測獲取北太平洋海域之重要海況參數，以經驗正交函數解析衛星海面高度時序列資料的第一主成分，探討其時空分布特徵型態，作為生態系統指標。同時利用海洋水色資料之時序列變化，探究北太平洋東部沿岸海域之基礎生產力變化，建立以海洋水色 Chl-*a* 濃度為主之生態系統指標。此外，Palacios 等 (2006) 也利用多重衛星遙測資料，針對北太平洋數個不同海域進行時空動態解析，建立生態系統指標。Zainuddin 等 (2006) 則利用多重衛星遙測影像及其衍生之產品，包含利用海面高度資料推估獲得之渦漩動能及利用海面水溫水色資料估算獲得之基礎生產力等，解析北太平洋海域長鰭鮪 (*Thunnus alalunga*) 之熱點分布海域，結果顯示長旗鮪最常被漁獲海域之平均水溫值為 20℃，其對應之海洋水色 Chl-*a* 濃度為 0.3 mg m^{-3}，利用單位努力漁獲量與海面水溫水色頻度分布圖關係，建立兩者間之相關式，最後推估出長旗鮪漁獲環境機率分布圖，以環境機率分布最高值海域，作為長旗鮪主要熱點分布位置，顯示利用多重衛星影像，確實可建立高度洄游魚類棲息分布之良好指標。

多重衛星影像蒐集及其處理分析

本研究利用 1997－2007 年衛星遙測海面水溫、海洋水色及海面高度資料等，配合 Argos 衛星漂流浮標觀測資料，進行台灣東部黑潮暖流海域表面流速的時空分布特性分析，其中，蒐集台灣周邊海域之多重衛星遙測影像資料，包含 NOAA/AVHRR 衛星海面水溫影像、OrbView-2/SeaWiFS 衛星海洋水色影像、EOS/MODIS 衛星海面水溫及水色影像及 TOPEX/Poseidon 衛星海面高度影像等，並利用 ArcGIS 地理資訊系統之空間分析及 Modelbuilder 模組，將衛星遙測原始 HDF 格式資料轉換成數值圖層 (ArcGIS raster layers) 及影像檔。

此外，近年來已有許多海洋學者利用 Argos 衛星漂流浮標資料，進行表層流速流向變化，探討水文動態變化 (Mariano et al., 2000; Poulain and Zambianchi, 2007)。蒐集黑潮暖流海域內之現場水文調查資料，主要以 Argos 衛星漂流浮標的表面流速及流向等資料分析，驗證多重衛星遙測影像解析之黑潮暖流時空特徵型態及主流軸分布。

黑潮暖流海域之衛星海面水溫及海洋水色時空分布

黑潮暖流具有高溫鹽特性且其海水所含的浮游生物量偏低，故黑潮於衛星遙測海面水溫及海洋水色影像上，會呈現出與周遭海水較大對比，具有較高海面水溫及較低海洋水色濃度的獨特指標。因此，基於沿岸水具有低水溫高水色濃度及黑潮水具有高水溫低

水色濃度的反差特性，本研究利用同步接收獲得之 MODIS 衛星水溫水色影像資料，繪製出沿岸水及黑潮水之四個季節變化圖 (圖 1)。基本上，利用水溫水色散布圖決定黑潮暖流指標，可以發現整個海域的水溫變化較小，較難找出可以區分出黑潮水與沿岸水間適當的指標值。相反地，衛星水色值變化較大較明顯，很容易即可選定出具備區分黑潮低水色濃度區及沿岸水高水色濃度區之適當閥值，因此本研究選定衛星水色指標來找出黑潮左邊界分布位置。

圖 1 的橫軸是 MODIS 衛星海面水溫值，縱軸是相對應同步接收之 MODIS 海洋水色濃度值，利用此衛星水溫及水色散布圖，可在四個不同季節，訂出分離黑潮水及沿岸水之水色濃度指標。其中春、秋兩季選定的水色濃度值為 0.2 mg m^{-3}，夏季為 0.15 mg m^{-3}，冬季為 0.4 mg m^{-3}。因此，本研究發現當黑潮水及沿岸水，於冬季季節水溫偏低時，其對應的水色濃度則較高，水色濃度指標達 0.4 mg m^{-3}。夏季時期，黑潮水及沿岸水的海面水溫普遍升高，其對應的水色濃度則出現降低現象，所以夏季的水色濃度指標達最低值，僅 0.15 mg m^{-3}。另外，本研究亦發現，由於水色濃度季節變化大，其夏、冬兩季水色濃度差可達 0.25 mg m^{-3}，所以很難於整個年度中，僅利用單一水色指標作為黑潮水與沿岸水的邊界指標。

本研究利用選定的各季節水色濃度指標，分析 1997－2007 年間，各季節之黑潮左邊界分布位置 (圖 2)。圖中最粗的實線，代表該季節黑潮左邊界的平均分布位置。由四季的黑潮左邊界平均分布位置，可以發現台灣東部海域黑潮暖流有夏季離岸、冬季靠岸現象 (圖 3)。其中，夏季離岸約 15－45 浬，遠離台灣東北海域朝日本沖繩海槽。冬季時，於蘇澳以南海域幾乎均貼近東海岸，並於蘇澳附近海域離岸，然後經東北海域後，越過東海陸棚區跨越過 200 m 等深線。再者，由季節性水色濃度指標分析得到的黑潮左邊界位置，也顯示出黑潮於冬季時期，會

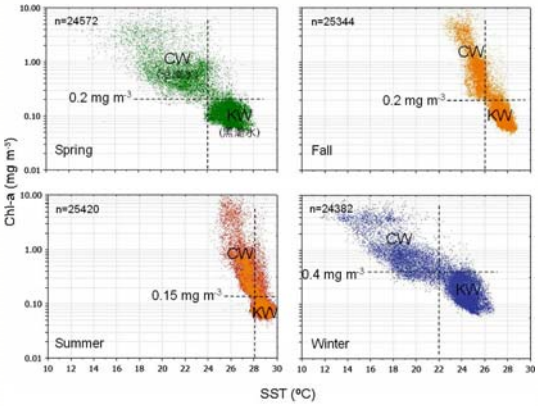

圖 1　黑潮暖流之 MODIS 衛星海面水溫及海洋水色季節散布圖及選定作為區分黑潮水(低水色濃度)及沿岸水(高水色濃度)的季節性指標

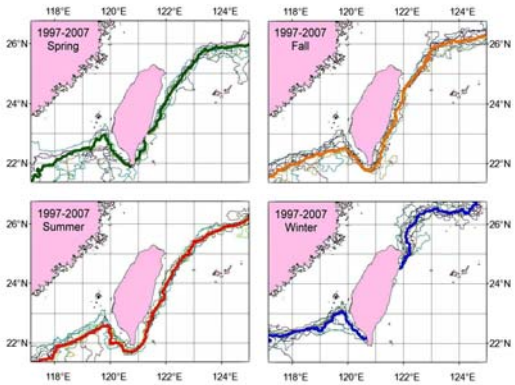

圖 2　1997-2007 年利用衛星海洋水色濃度指標，萃取出黑潮左邊界的季節分布。黑潮左邊界即為黑潮暖水(低水色濃度)與沿岸冷水(高水色濃度)交界處

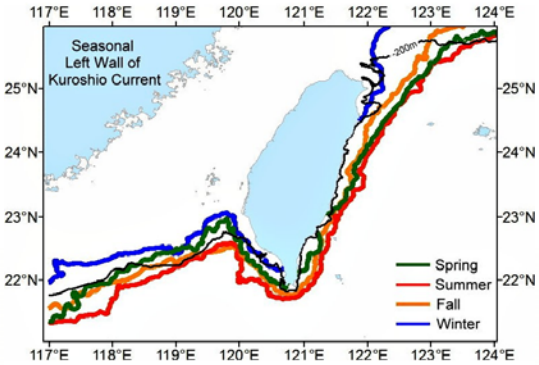

圖 3　台灣東部海域黑潮左邊界之四季分布圖

有突入台灣東北海域陸棚區現象。過去台灣已執行的 KEEP 長期研究計畫及其他相關試驗，均已證實黑潮次表層水於冬季時期有侵入台灣東北海域陸棚區現象 (Tang et al., 2000; Liang et al., 2003)。

另外，將利用衛星水色濃度指標推估之黑潮左邊界四季分布位置，套疊於 Argos 衛星漂流浮標估算獲得之表層流速流向圖 (圖 4)，發現衛星水色濃度推估之黑潮左邊界恰好落於高流速海域之左邊界，亦即黑潮的左邊界。不過，夏季時期並未很符合，夏季靠岸的高流速分布，應與東岸夏季季風型之湧昇現象分布有關。另外，將四季的黑潮左邊界水色濃度指標套疊於 200 m 水深之 ADCP 流速流向作一比較 (圖 5)，也發現利用衛星水色濃度指標推估之黑潮左邊界分布海域，剛好也是 200 m 水深中，流速最大分布海域之左邊界，也就是是黑潮暖流之左邊界。所以，利用衛星水色濃度指標確實可作為推估台灣東部黑潮暖流的分布位置。

此外，利用衛星水溫水色影像資料，配合 Argos 衛星漂流浮標及 Sb-ADCP 流速流向資料分析，結果顯示台灣東部黑潮暖流有明顯的「夏季離岸」、「冬季近岸」現象。冬季時期黑潮暖流並有越過 200 m 等深線入侵東海陸棚區的現象。再者，利用不同季節選定之衛星海洋水色濃度指標，萃取獲得之黑潮左邊界分布位置與 Argos 衛星漂流浮標及 Sb-ADCP 流速流向分析結果幾乎相同，未來可直接利用衛星水色影像快速判定黑潮分布位置。

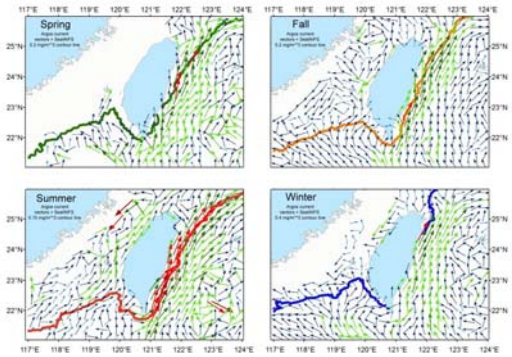

圖 4　台灣周邊海域 Argos 衛星浮標季節分布圖及衛星海洋水色濃度指標(黑潮左邊界分布位置)之比較

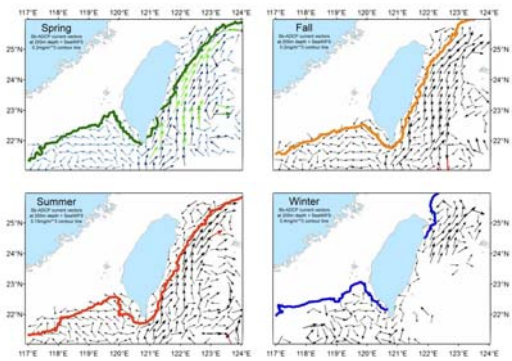

圖 5　台灣周邊海域 200 m 水層之 Sb-ADCP 季節分布圖與衛星海洋水色濃度指標(黑潮左邊界分布位置)之比較