



臺灣西南海域鰻苗 來游量與海況變動探討之研究

侯清賢^{1*}、陳玟妤²、吳龍靜³、藍揚麒³、黃星翰³

¹ 國立高雄海洋科技大學漁業生產與管理系

² 行政院農業委員會漁業署遠洋漁業組

³ 行政院農業委員會水產試驗所沿近海資源研究中心

摘要

東亞國家對於鰻魚資源極為重視，瞭解鰻魚生活史、資源量、洄游路徑與分布已成為日本、韓國與臺灣相關研究探究之重要課題。1994–2012 年間，臺灣西南海域的日本鰻仔魚分布量減少趨勢明顯，為日本鰻洄游之八大海域中減少速度最快的海域，約每年整體減少 8.2%。為完整探討鰻魚生活史、洄游分布與海洋環境變化之間的相互影響關係，本研究選定臺灣西南海域為研究區域，透過現場調查方式蒐集 2014 年夏季、2015 與 2016 年冬季鰻類漁獲組成與現場水文資料。再者，藉由 NOAA 衛星月別海水表面溫度資料與氣候指標（含太平洋十年振盪指數與海洋聖嬰指標）觀測海洋環流模式的長期變化，以及臺灣西南海域黑潮入侵與暖渦形成情形，共同探討海況變動與鰻魚來游量間的相互影響關係。

關鍵字：日本鰻、地理資訊系統、南海東北部暖渦、海面溫度異常值、海洋聖嬰指標、黑潮、臺灣西南海域

前言

一、全球鰻苗資源變化趨勢

日本鰻 (*Anguilla japonica*) 為東亞國家海洋採捕漁業與水產養殖業中最重要鰻種之一，目前仍需仰賴自然採捕鰻苗進行人工養殖。1970 年代起日本鰻產量首次開始出現下降之勢，爾後 40 年間鰻魚漁獲量呈

現急遽減產與年間波動起伏現象，東亞國家（如日本、臺灣等）深陷鰻苗採捕量低落的困境 ($p < 0.01$) (圖 1) (日本水產統計情報，2017；漁業統計年報，2017)。相較於 1960 年，2010 年後日本鰻採捕量約已下降 90% 左右 (ICES, 2013; Chang et al., 2018)，鰻魚產量減少已成為世界共同面臨的問題 (Dekker, 2004)。基此，各國科學家與有識人士開始積極關注鰻魚產量下跌的主要因素，包括環境保護、資源保育與未來產能變化趨勢等重要議題，世界自然保護聯

* 通訊作者/81157 高雄市楠梓區海專路 142 號
厚生樓 325-4 室; TEL: 07-3617141#23514;
E-mail: ccho@nkust.edu.tw



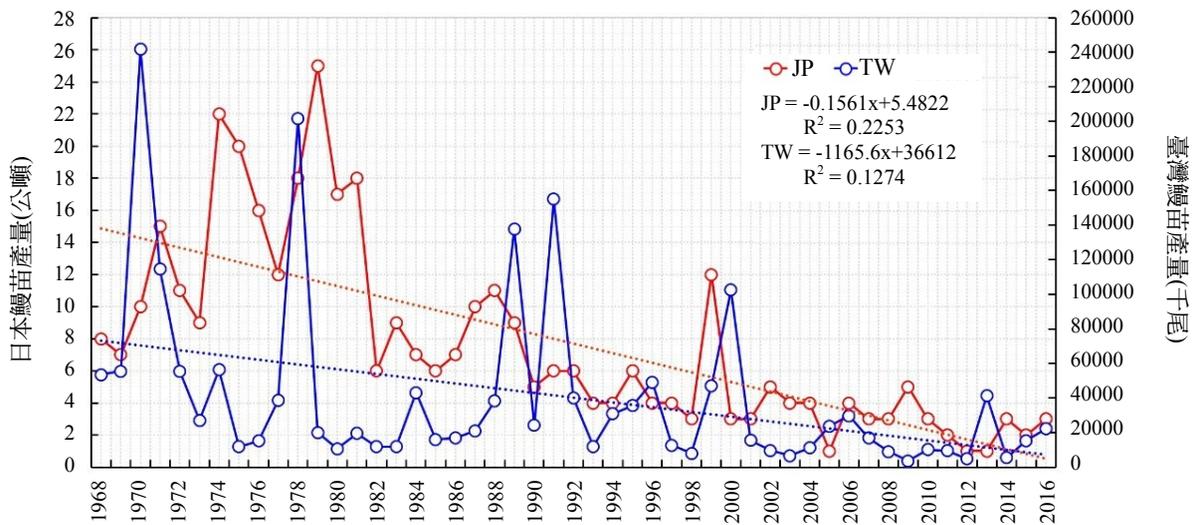


圖 1 1968-2016 年間日本與臺灣鰻苗產量變化($p < 0.01$)

盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 亦於 2014 年將日本鰻列為紅皮書瀕危物種。除國際組織外，近年來東亞各國亦已開始設法減輕人為因素對棲地的衝擊影響，並進行鰻魚採捕量的管制或禁漁區期的管理措施，期望藉此降低人為因素對鰻魚資源量的影響。日本、臺灣、中國與韓國的鰻魚產業團體更於 2014 年共同組成永續鰻魚養殖聯盟 (Alliance for Sustainable Eel Aquaculture, ASEA)，期望透過國際共同管理方式維護日本鰻資源，以維持鰻魚產量供給市場需求 (行政院農委會漁業署，2014；日本水產廳，2018)。然而，即使部分國家與地區開始設法降低人為因素的干擾，日本鰻產量仍持續降低。

人為活動造成的過度捕撈與棲地破壞被認為是鰻魚資源量下降的主要因素，而海洋環流模式與海洋條件的變化則可能加劇鰻魚資源量波動與減產 (Friedland et al., 2007; Zenimoto et al., 2011; Chang et al.,

2015, 2018; Hsu et al., 2017)。許多研究透過數值模擬研究證實，日本鰻的洄游遷移路徑與北赤道洋流區 (North Equatorial Current, NEC)、黑潮 (Kuroshio, KC)、菲律賓-臺灣震盪 (Philippine-Taiwan Oscillations, PTO)、海洋聖嬰指標 (Oceanic Niño Index, ONI) 的強度與發生位置息息相關，複雜的海洋環流模式為影響鰻苗來游質與量變動的主要因素之一 (Tsukamoto, 2011; Hsu et al., 2017; Chang et al., 2018)。日本鰻廣泛分布於印度-太平洋與北大西洋之廣大海域 (Aida et al., 2003)，每年 4–11 月於馬里亞納島 (Mariana) 以西之 NEC 產卵，卵孵化發育為柳葉幼生 (leptocephalus) 後即隨 NEC 與 KC 進行近 2,000 km 之長距離漂流，約每年 11 月至隔年 3 月游至東北亞國家陸棚區時，變態為流線型的玻璃鰻 (glass eel)，順著黑潮海流北上約 30–50 天，游至菲律賓、臺灣、中國與日本東岸之沿岸水域 (Tsukamoto, 2009; Han et al., 2016)。





西北太平洋為全球海水表面溫度 (Sea Surface Temperature, SST) 升溫最快的海域之一 (IPCC, 2014; Ho et al., 2015; Peyser et al., 2016)，此處主要的海洋洋流包括 NEC、KC、副熱帶反流 (Subtropical Countercurrent, STCC)。在過去幾十年間，這些洋流呈現與過去不同的變化，例如 KC 相較於前上個世紀，暖化速度已增快 2 倍左右，延伸至東海的主流流軸逐漸向陸地移動 (Ho et al., 2015; Wu et al., 2016)；過去 60 年間，NEC 分叉緯度已開始向南移動；呂宋海峽延伸至南海的 KC 支流於過去 20 年內逐漸減弱等現象 (Chen and Wu, 2012; Wu et al., 2016)。這些研究結果均證實過去數十年間，西北太平洋的海洋環流模式開始改變。然而，西北太平洋海洋環流的變動與大洋性洄游魚類分布、洄游路徑、來游量多寡密切相關，其中亦包含日本鰻。

二、臺灣西南海域鰻苗漁場形成機制

臺灣西南海域係指呂宋海峽及其西側，以及臺灣淺堆以南之南海東北部海盆，此海域水文環境由複雜海流構成，包含黑潮支流、海季風流、呂宋島西北方冷渦、南海東部暖心渦流等，海流強弱呈現季節性變化 (戴, 2014)。位屬南中國海 (South China Sea,

SCS) 東北方海域，亦為 KC 支流進入 SCS 主要源頭海域 (Nan et al., 2011, 2015)，Nan et al. (2011) 根據絕對動力高度 (ADT) 蒐集資料判定 KC 支流入侵 SCS 時，主要分為三種路徑 (圖 2)：

(一) looping 路徑

KC 進入呂宋海峽後，順著海脊地形轉向北北東進入臺灣西南部海域，再流往臺灣東岸，即稱為 looping 路徑，1993–2010 年間發生率約 15.7%，最易發生季節為冬季。

(二) leaping 路徑

KC 主流未一分為二，經呂宋島東側後直接向臺灣東部海域流動，即稱為 leaping 路徑，1993–2010 年間發生率約 44.8%，最易發生季節為夏季。

(三) leaking 路徑

KC 經過呂宋島東北角後一分為二，一部分沿巴坦島海脊地形繼續北上，另部分則轉向西北方經巴林塘海峽進入 SCS，此路徑稱為 leaking 路徑，1993–2010 年間發生率約 39.5%。

冬季於東北風驅使下，KC 支流經臺灣西南部與呂宋海峽 (20–21°N 之間海域) 進入 SCS 東北部海域現象的 looping 路徑，又稱為「黑潮入侵」，其黑潮入侵現象與臺

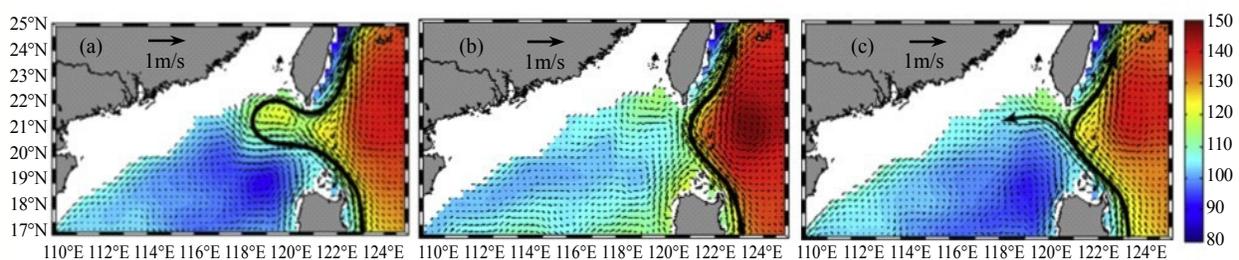


圖 2 黑潮入侵南中國海的主要三種路徑
(a)looping 路徑；(b)leaping 路徑；(c)leaking 路徑(資料來源：Nan et al., 2011, 2015)





灣西南海域冬季反氣旋型暖心環流系統（南海東北部暖渦）形成具密切關係（戴，2014; Nan et al., 2011; Wu et al., 2016）。黑潮源流的上層海水，經恆春海脊南方（20–21°N）流入南海，入侵海水到達 118°E 附近海域又分為南北兩支，其中北支會在東沙與臺灣間水域以順時鐘方向旋轉，流向先由西北轉北，再轉東北以及東，形成直徑約 200 km 的反氣旋型暖心環流系統，冬季時出現在高雄屏東外海的東南向海流即為暖心環流的東北側（圖 3）（戴，2014）。2000 年後，因全球海洋環流模式的改變，黑潮入侵現象已開始逐漸減少（Nan et al., 2011），黑潮入侵現象的減弱亦導致 looping 路徑與臺灣西南部暖心環流發生機率逐漸減少（Nan et al., 2015）。然而，冬季暖心環流的形成與臺灣

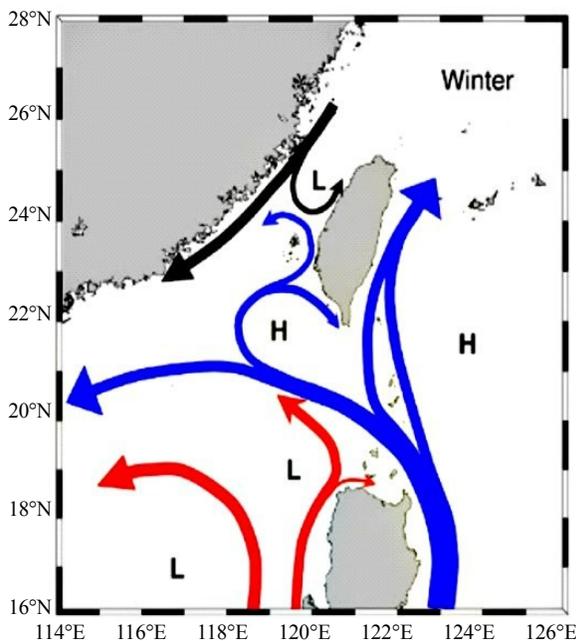


圖 3 南海東北部與呂宋海峽上層海流流況示意圖(黑色線：大陸沿岸流；藍色線：黑潮源流水團；紅色線：南海北部水團)(資料來源：戴等，2014)

西南部海域日本鰻來游量多寡具有密切關係，為影響鰻苗採捕量的重要因素（Han et al., 2016; Chang et al., 2018）。

東亞國家對於鰻魚資源極為重視，瞭解鰻魚生活史、資源量、洄游路徑與分布已成為日本、韓國與臺灣相關研究之重要課題。然而，現行多數日本鰻研究係以馬里亞納海溝至日本周邊海域的 KC 主流為主，位屬 KC 支流主要源頭海域的臺灣西南海域與 SCS 海域仍較少深入研究（Han et al., 2016; Chang et al., 2018）。日本鰻的遷移與資源變動主因仍有許多議題尚未完全明朗，需更多海洋環境與氣候相關研究進行更為深入的探討與分析。基此，本研究選定臺灣西南海域為研究區域，透過現場調查蒐集 2014 年夏季、2015 與 2016 年冬季鰻類漁獲組成與現場水文資料。再者，透過 NOAA 衛星月別 SST 資料與氣候指標觀測海洋環流模式的長期變化及臺灣西南海域黑潮入侵與暖渦形成情形，探討海況變動與鰻魚來游量間的相互影響關係。

研究方法

一、研究流程

本研究使用資料類型包括漁況與海況資料，蒐集與研究流程可分為海上現場調查與衛星資料兩部分（圖 4）。衛星遙測資料與氣候指標部分，本研究蒐集美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, USA）系列衛星所搭載 MODIS (Moderate-resolution Imaging





Spectroradiometer, MODIS) 探測器之 Aqua 衛星的月別 SST 資料與公告之 PDO、ONI 數值。海上調查部分，本研究主要係透過本所水試二號試驗船與租用民間動力管筏投放 CTD 的方式蒐集西南海域生物資料與當地水文資料 (含海流、葉綠素、營養鹽、溶氧、濁度、溫鹽等)。同時，試驗船亦搭配投放 ORI，民間漁船則以投放叉手網的方式採捕鰻苗漁獲。

二、研究方法

(一) 海洋環境資料

1. 氣候指標資料 (PDO 與 ONI)

1997 年 Trenberth 提出以 Nino3.4 做為判定聖嬰、反聖嬰現象的指標後，NOAA 便以 Nino3.4 之範圍 (170–120°W、5°S–5°N) 為基準，計算每月 SST 與 30 年平均之距平值 (其距平值每 5 年更新 1 次)，並

依據 3 個月移動平均值定義 ONI 指數。當 ONI 指數連續 5 個月高於 +0.5°C 時，即判定為聖嬰現象 (El Niño)，低於 -0.5°C 則為反聖嬰現象 (La Niña)。

太平洋十年振盪指數 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) 此指數係以北半球 20 度以北太平洋海域表面水溫的離均差，作為太平洋海域氣候的變動指標，此指標通常與海平面氣壓與風之變動配合說明，週期通常為 20–30 年。當 PDO 指標為正時，西太平洋水域相對較冷，風向為西風。

本研究使用之 PDO 與 ONI 指標資料均來自 NOAA 官方數據 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>與 http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)，資料期間為 1968–2016 年。

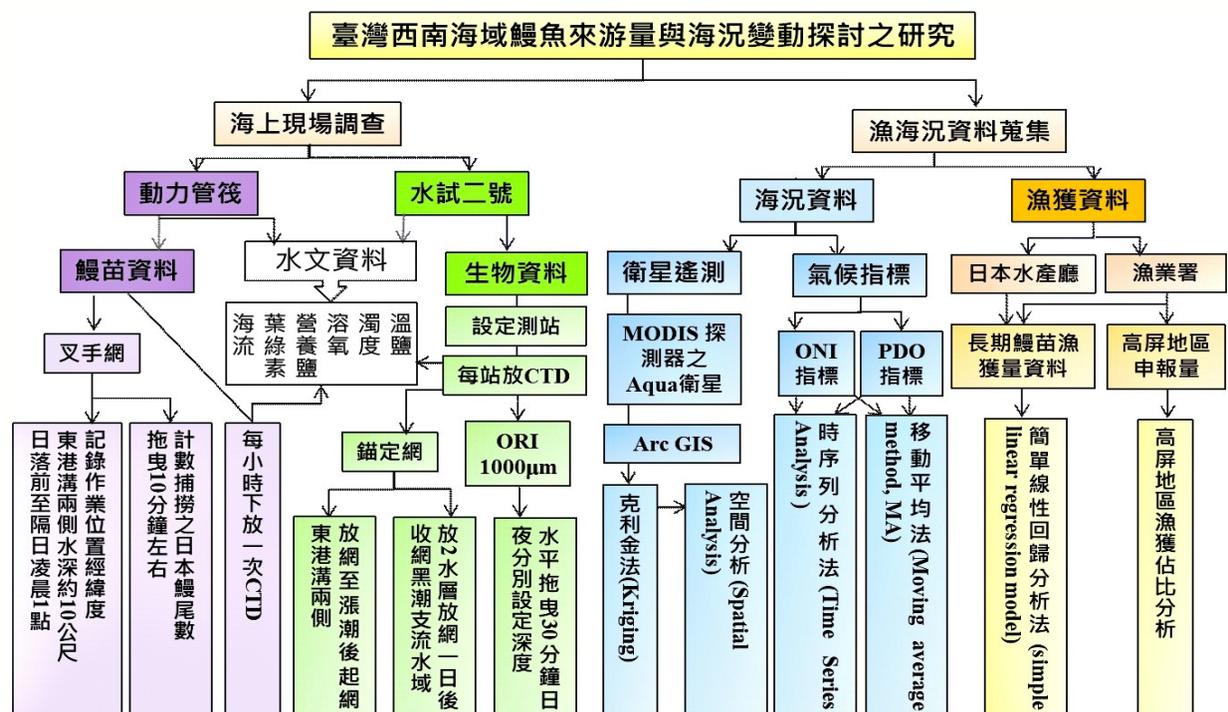


圖 4 本研究流程與分析方法





2. 衛星資料

本研究使用之 2014–2017 年 11 月至隔年 2 月，月別 SST (°C) 資料係來自 NOAA 系列衛星所搭載 MODIS 探測器之 Aqua 衛星，空間解析度為 4 km。本研究採取 SST 範圍為 116–122°E、18–24°N。再者，透過 Arc GIS 空間分析 (Spatial Analysis) 計算 2014–2017 年秋冬季臺灣西南海域的海表面溫度正負異常值 ($p < 0.05$)，並藉此判定黑潮入侵現象與南海暖心渦流的發生位置與時期。

(二) 海上現場調查

本研究海上調查部分區共分為試驗船與民間漁船兩部分，漁海況資料蒐集與分析流程詳述如下：

1. 水試二號試驗船現場調查

試驗船現場調查部分，本研究係利用水試二號試驗船於臺灣西南海域進行日本鰻苗分布調查，調查測站分布情形如圖 5 左所示。2014–2016 年間，分別於 2014/8/

25-27、2014/9/24-26、2015/11/18-20 及 2016/11/6-8 進行 4 航次海上調查採樣，總計完成 46 個測站之採樣 (表 1)。

水文資料主要利用 CTD 進行溫鹽資料蒐集，CTD 下放至水深 400 m 處記錄海水的溫度及鹽度，並利用採水瓶採集 5、30、50、100、200 及 300 m 等 6 個水層之海水樣本各 500 ml，再以濾紙過濾後冰凍保存，帶回實驗室進行葉綠素濃度 (Chlorophyll-a, Chl-a) 及硝酸鹽、磷酸鹽與矽酸鹽濃度量測。

2. 民間漁船現場調查

除試驗船水文調查外，本研究亦租用民間動力叉手網漁筏進行水文探測，調查海域為高屏溪出海口附近水深約 10 m 處，出海時間為日落前出港至隔日凌晨 1 點進港，出海期間固定每小時下放 1 次 CTD 測量當地溫度及鹽度。2014–2015 年間，本研究分別於 2014/12/4-5、2014/12/24-25、2015/1/21-22、2015/1/27-28 以及 2015/2/11-12 進行 5 次海上現場調查 (表 1)。

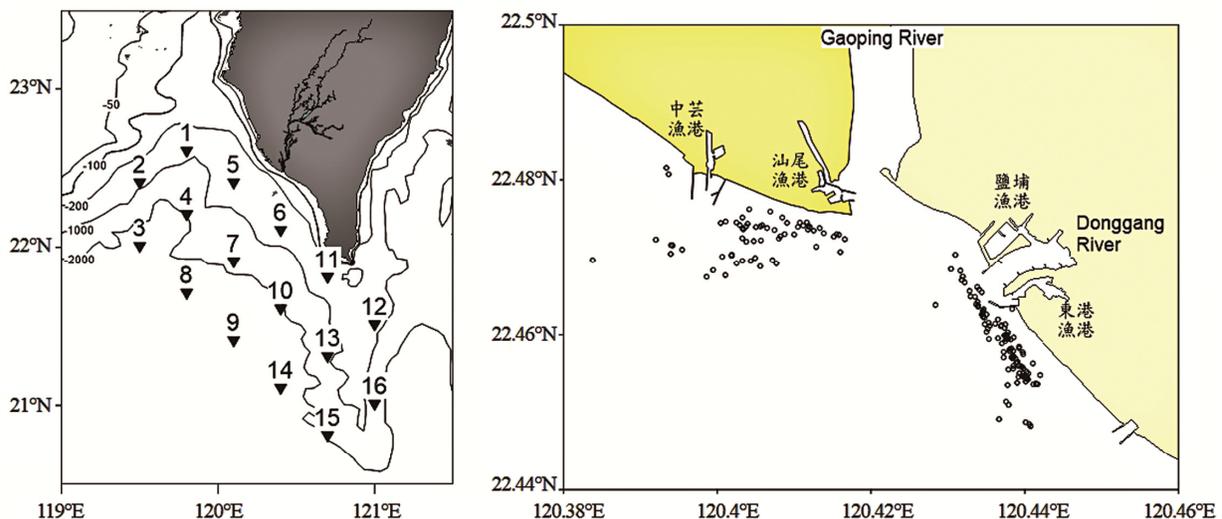


圖 5 臺灣西南海域採樣及調查位置(左：臺灣西南海域；右：高屏溪口鰻苗傳統漁場)





表 1 臺灣西南海域作業日期、使用網具及作業地點

船 別	作 業 日 期	使 用 網 具	作 業 海 域
水試二號試驗船	2014/8/25-27	ORI-330 μm	臺灣西南海域(圖 5 左)
水試二號試驗船	2014/9/24-26	ORI-330 μm	臺灣西南海域(圖 5 左)
民間管筏	2014/12/4-5	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2014/12/24-25	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2015/1/21-22	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2015/1/27-28	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2015/2/11-12	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
水試二號試驗船	2015/11/18-20	錨定網	東港溝兩側，距岸約 3 海浬處
水試二號試驗船	2016/11/6-8	ORI-1,000 μm	臺灣西南海域(圖 5 左)

三、漁獲資料

(一) 日本長期鰻苗漁獲量資料

日本鰻苗採捕量資料係來自日本水產廳官方公告資料 (<http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html>)，本研究使用資料期間為 1968—2016 年。

(二) 臺灣長短期鰻苗漁獲量資料

臺灣鰻苗採捕量資料係來自行政院農委會漁業署公告之漁業年報統計資料 (<https://www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/index.aspx>)，本研究使用資料期間為 1968—2016 年。

(三) 海上現場調查

1. 水試二號試驗船現場調查

日本鰻苗則利用 ORI 浮游生物網(網口直徑 160 cm，網目大小為 330 及 1,000 μm) 以斜拖的方式進行採樣，採集深度為 250 m 以淺水層。採得之浮游生物樣本置於酒精中並以冷凍方式進行保存，帶回實驗室

後，將柳葉形態之鰻苗挑檢出來後，並參考 Okiyama (1988) 及 Miller (2004) 進行種類鑑定。

2. 民間漁船現場調查

本研究於日落前至隔日凌晨 1 點至東港溝兩側水深約 10 m 處採捕鰻苗(圖 5 右)，利用叉手網拖曳約 10 分鐘後，開始計數捕撈之日本鰻尾數，並記錄作業位置經緯度。

結果

一、海洋環境氣候變化

(一) ONI 指數變化

1958—2016 年間，ONI 呈現正負值交替，聖嬰與反聖嬰年的轉變趨勢大致可區分為數個時期，1957—1959 年間為聖嬰年，1970—1976 年間轉變為反聖嬰年，僅於 1972—1973 年曾轉為聖嬰年。繼 1997—





1998 年聖嬰年後，1998—2001 年轉為強反聖嬰年，ONI 為負值累計。2002 年後至 2016 年間，2007—2009、2010—2012 年間 ONI 再次累計負值，僅於 2015—2016 年間出現正值累計的聖嬰年現象，ONI 呈現正負位向交替現象。此結果亦說明近 60 年間，全球海洋氣候明顯變化 (圖 6)。

(二) PDO 指數變化

1958—2016 年間，PDO 的轉變趨勢大致可區分為 4 個時期，1958—1961 年間為

正位向，1962—1976 年間轉變為負位向，直到 1977—1997 年間再次轉為正位向，代表該期間內西太平洋海域的水溫相對較冷。1998—2013 年後，PDO 開始轉為負位向，僅於 2003—2007 年間出現正位向，代表 1998 年後西太平洋海域的水溫相對較暖，直到 2014 年後，PDO 再次由負位向轉為正位向，PDO 呈現正負位向交替現象亦說明近 60 年間，太平洋氣候明顯變化，且各時期海洋環境氣候不同 (圖 7)。

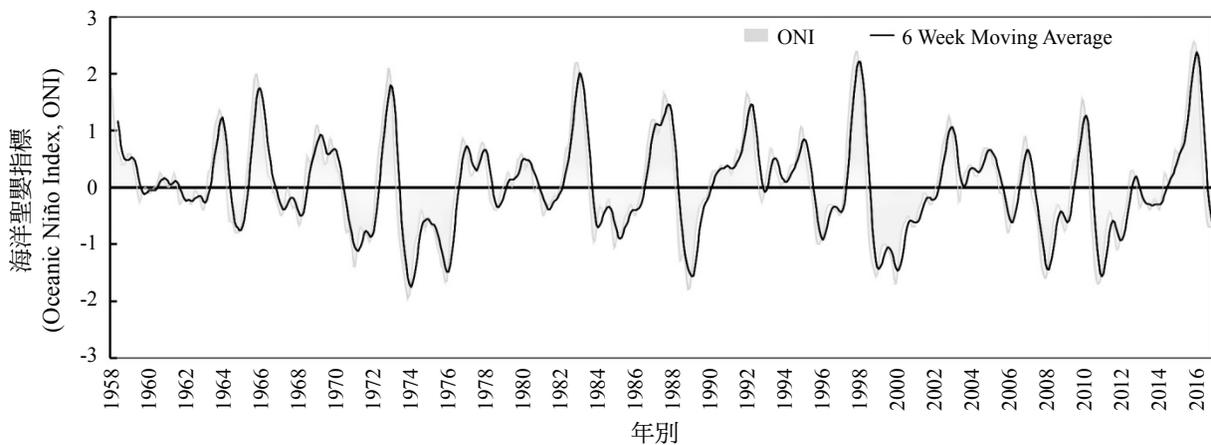


圖 6 1958-2016 年海洋聖嬰指標(ONI)變化趨勢(資料來源：NOAA 官方數據 http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

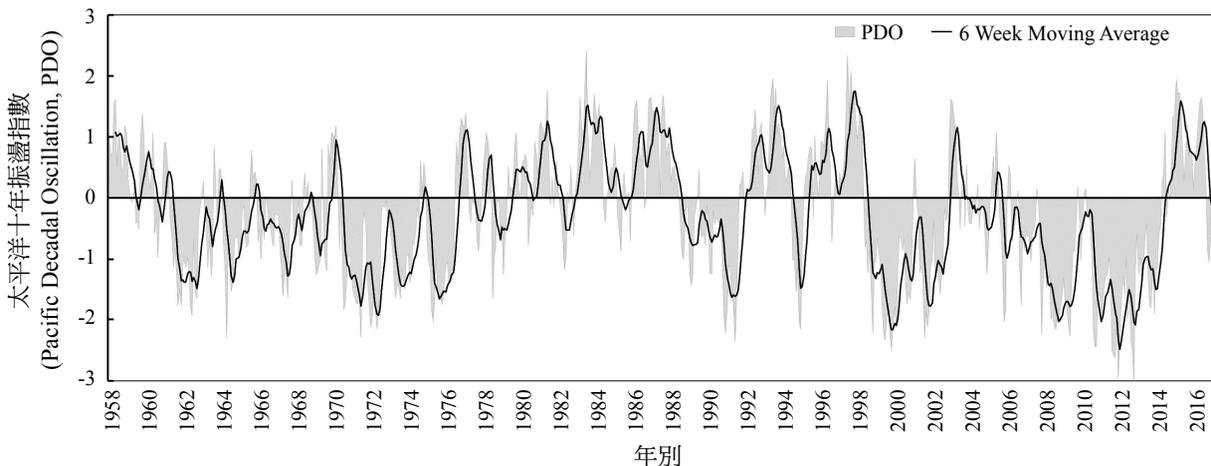


圖 7 1958-2016 年太平洋十年振盪指數(PDO)變化趨勢(資料來源：NOAA 官方數據(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>))





(三) 臺灣西南海域 SST 異常值空間分布變化趨勢

2014-2017 年每年 11 月至隔年 2 月臺灣西南海域 SST 異常值空間分布如圖 8 所示，2014 年 11 月至 2016 年間正異常值發

生區域均位於黑潮主流域中，其中 2014 年 11 月、2014 年 12 月、2015 年 11 月、2015 年 12 月、2016 年 1 月時，臺灣西南海域明顯出現暖心環流，暖渦發生水域正異常值明顯高於周邊水域，此現象亦代表此時期黑潮

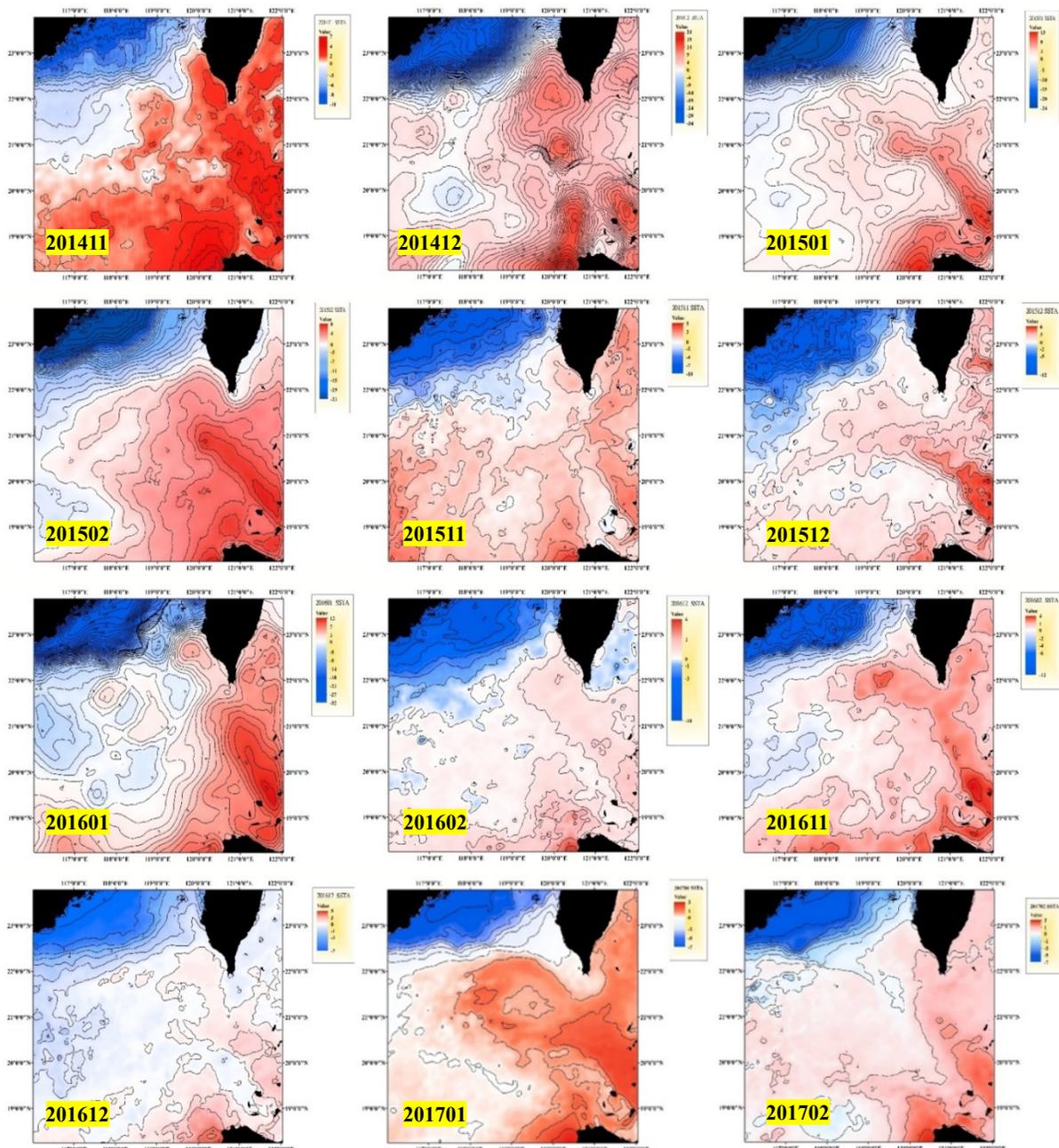


圖 8 2014-2017 年秋末冬季臺灣西南海域海水表面溫度正負異常值空間分布($p < 0.05$)(資料來源：NOAA 系列衛星所搭載 MODIS 探測器之 Aqua 衛星)





水入侵明顯，且為 looping 路徑。然而，此結果與 ONI、PDO 趨勢一致，ONI 指數顯示，2014 年 10 月開始至 2016 年 6 月期間為強聖嬰年，ONI 正值持續累計，PDO 亦於 2016 年開始轉為負異常（圖 6、7）。

二、長短期漁獲量變化趨勢

（一）臺灣鰻苗長期漁獲量變化趨勢

臺灣冬季約 11 月底至隔年 2 月為鰻苗撈捕的季節，臺灣本島周邊沿海、離島澎湖沿岸海域均有漁獲紀錄，其中又以宜蘭及屏東東港為大宗。隨著河川棲地惡化和污染、水庫建造、寄生蟲感染以及過度撈捕等人為因素與氣候變遷影響之環境變異影響下，鰻魚苗資源逐漸枯竭，岸邊捕捉鰻苗的產業也逐漸沒落甚至消失。根據 Tzeng (1982) 及 Tzeng and Tabeta (1983) 研究紀錄，臺灣周邊海域共記錄日本鰻 (*Anguilla japonica*)、鱸鰻 (*A. marmorata*)、西里伯斯鰻 (*A. celebesensis*) 及雙色鰻 (*A. bicolor*) 等四種鰻類，其中又以俗稱「白鰻」的日本鰻產量最高。

日本鰻主要的養殖國家包括臺灣、日本、中國及韓國，東亞各國每年鰻苗的總需求量高達 100 公噸左右，臺灣的年需求量也需 20 公噸以上，養殖規模在 1992 年達到最高峰，年產量超過 6 萬公噸，產值更達百億元以上 (Liao, 2001)。近年來，臺灣沿海採捕的鰻苗量僅約 4–10 公噸，鰻苗需求缺口嚴重不足，鰻魚產量急遽減少。雖 2013 年間，鰻苗產量大增，冬季約捕獲 6,000 千尾鰻苗，約為 12 公噸左右，但卻於 2014 年出現產量急遽下跌，產量呈現劇烈波動。2015

–2016 年間鰻苗產量略微回升，但相較於 1970 年代的 240,000 千尾，僅佔 10% 產量，海洋採捕量仍無法供給養殖業者與市場所需（圖 1）(漁業統計年報，2017)。隨著氣候變化的加劇與鰻苗資源日益減產的趨勢下，未來東亞各國對日本鰻鰻苗的爭奪將可能愈趨嚴重。

（二）臺灣西南海域鰻苗產量與佔比變化趨勢

1968–2016 年間，高屏地區鰻苗產量變化與全臺產量趨勢一致，1971 年開始出現產量下降趨勢後，鰻苗捕獲量逐年減少，1988 年後產量雖稍有回復，但仍呈現劇烈起伏與波動，1994–1996 年、1998–2000 年與 2005–2008 年間產量再次出現高峰後持續下跌，直到 2014 年產量才略有小幅度增加 ($p < 0.01$) (圖 9)。藉由 2013–2017 年高屏地區地方申報鰻苗捕獲採捕量資料進一步得知，2014 年 11 月至 2015 年 12 月雖產量呈小幅度增產，但高屏地區的鰻苗採捕量佔比有增加趨勢，其中 2014 年 11 月、2014 年 12 月、2015 年 12 月高屏地區鰻苗採捕量佔全臺的 40.29–79.34% (圖 10)。

三、漁海況調查

（一）水文環境變化

2014 年試驗船海上現場水文調查結果顯示，夏末 (8 月) 溫鹽平均為 $29.54 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$ 、 33.84 ± 0.56 psu，表層溫度偏高，初秋 (9 月) 平均為 $28.85 \pm 0.79^{\circ}\text{C}$ 、 33.55 ± 0.11 psu。2015 年 11 月調查結果顯示，黑潮主軸之溫鹽結構出現於 E13、E14 測站，其餘測站則顯示為黑潮支流之溫鹽結構，溫



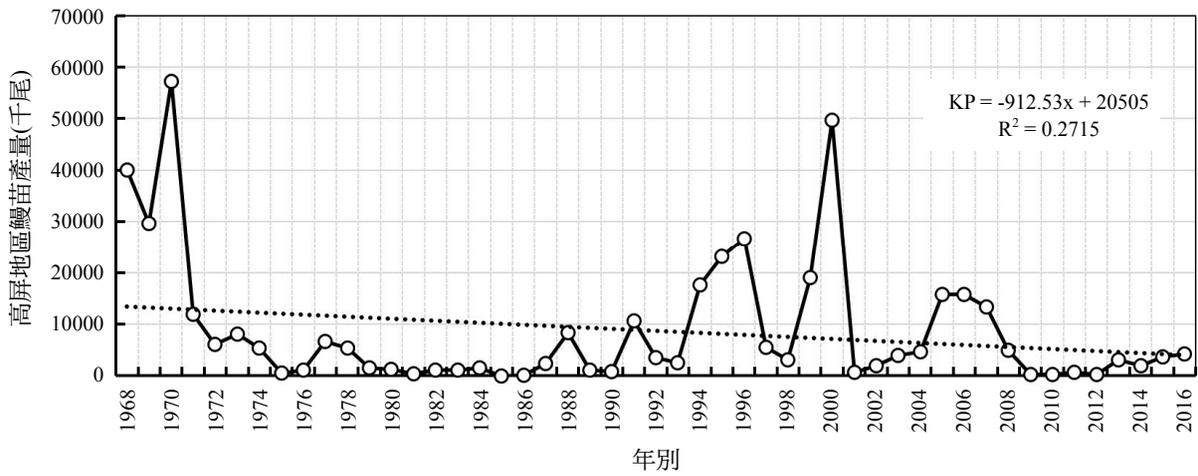


圖 9 1968-2016 年間高屏地區鰻苗產量變化(資料來源：臺灣漁業年報，2016)

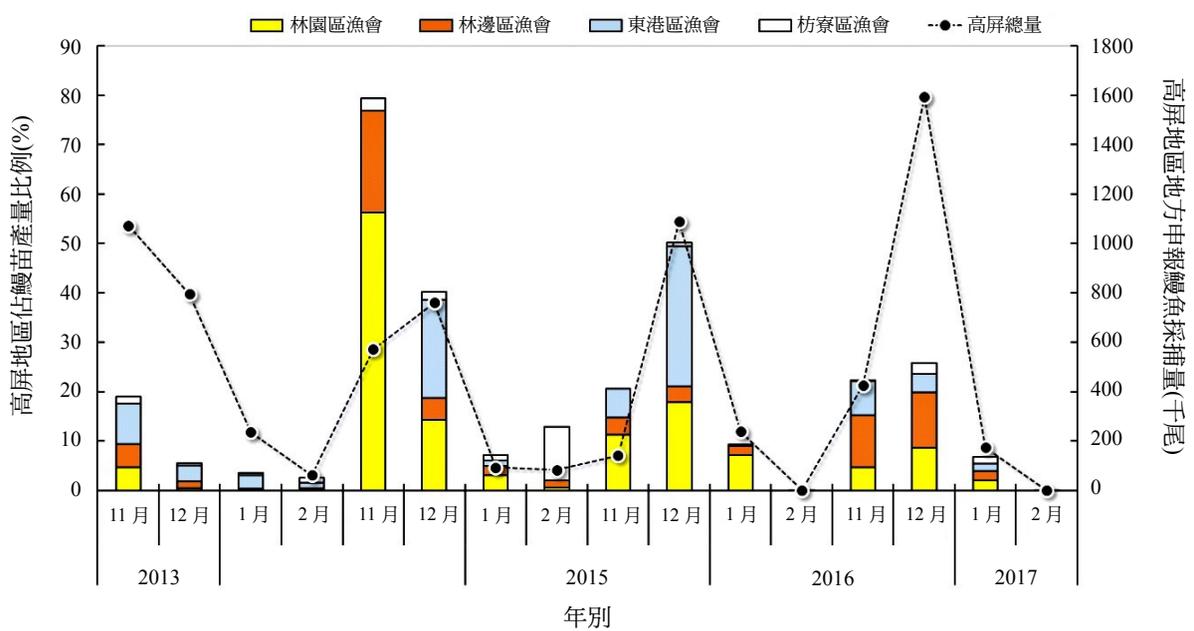


圖 10 2013-2017 年高屏地區地方申報鰻苗捕獲採捕量與佔比(資料來源：行政院農委會漁業署，2017)

鹽平均為 $27.44 \pm 0.44^{\circ}\text{C}$ 、 34.32 ± 0.26 psu (圖 11)。此結果代表，2015 年 11 月表層溫度雖稍低，但鹽度比 2014 年初來得高，亦有黑潮支流入侵現象。然而，海上現場探測結果與 ONI 指標結果一致，2015 年間 ONI 指標亦呈現正值累計，為聖嬰年時期 (圖

6)。2015/11/18-20 東港溝兩側海域溫鹽調查結果亦顯示，雖高屏溪口附近海域因冬季海水擾動劇烈，致使溫鹽垂直變化並不明顯，但依時間點不同仍受其他較高溫海水影響 (11/20)，當中亦發現其有時會受到河川低鹽水影響，導致鹽度急遽降低的現象 (11/20，



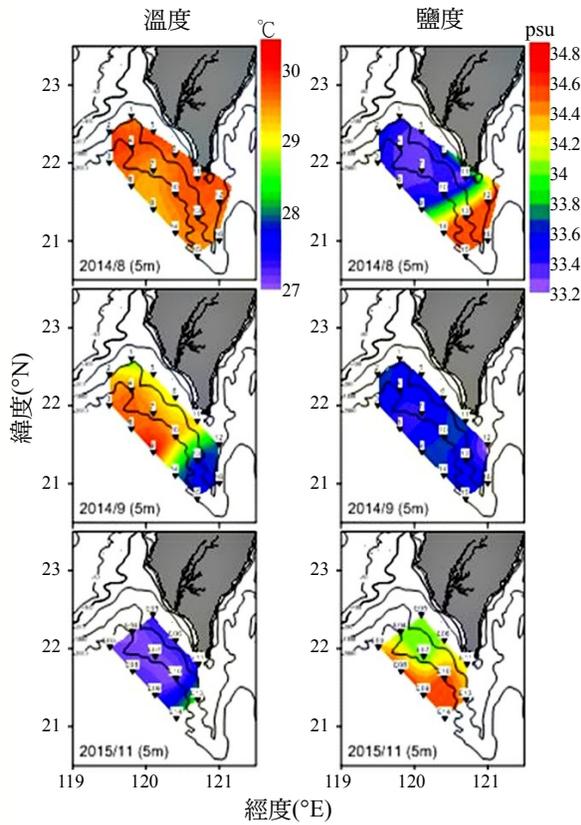


圖 11 2014 與 2015 年臺灣西南海域各月份表層溫鹽分布(上：2014/8/25-27；中：2014/9/24-26；下：2015/11/18-20)

東港溝東側) (圖 12)。

傳統鰻苗漁場之水文環境調查結果顯示，2014/12/24-25 現場實測平均溫鹽分別為 $23.62 \pm 0.11^{\circ}\text{C}$ 與 $34.43 \pm 0.31 \text{ psu}$ ；2015/1/21-22 為 $22.26 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ 與 $34.53 \pm 0.06 \text{ psu}$ ；2015/1/27-28 為 $23.6 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 與 $34.75 \pm 0.05 \text{ psu}$ ；2015/2/11-12 為 $22.13 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$ 與 $34.7 \pm 0.45 \text{ psu}$ (圖 13)。表層溫鹽調查結果發現，2014/12/24-25 與 2015/1/27-28 時水溫較 2015/1/21-22 與 2015/2/11-12 高出約 1°C 左右；鹽度部分除 2014/12/24-25 鹽度有隨時間升降外，各採樣時間變化差異較小，除 2014/12/24-25 外各不同採樣時期之間差異也較小。

(二) 鰻苗現場採樣

試驗船現場採樣結果，總計採得鰻形目 (Anguilliformes) 幼苗 55 尾，但均未採樣到本研究之目標種類日本鰻之柳葉形幼苗，其

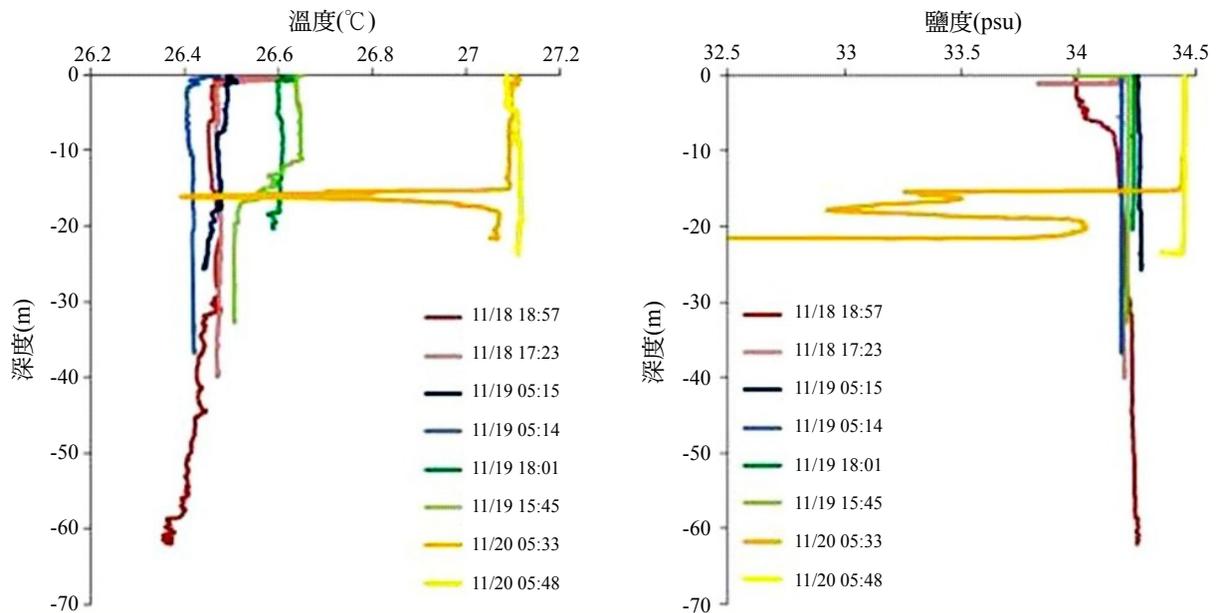


圖 12 2015/11/18-20 東港溝兩側溫鹽垂直變化(左：溫度；右：鹽度)



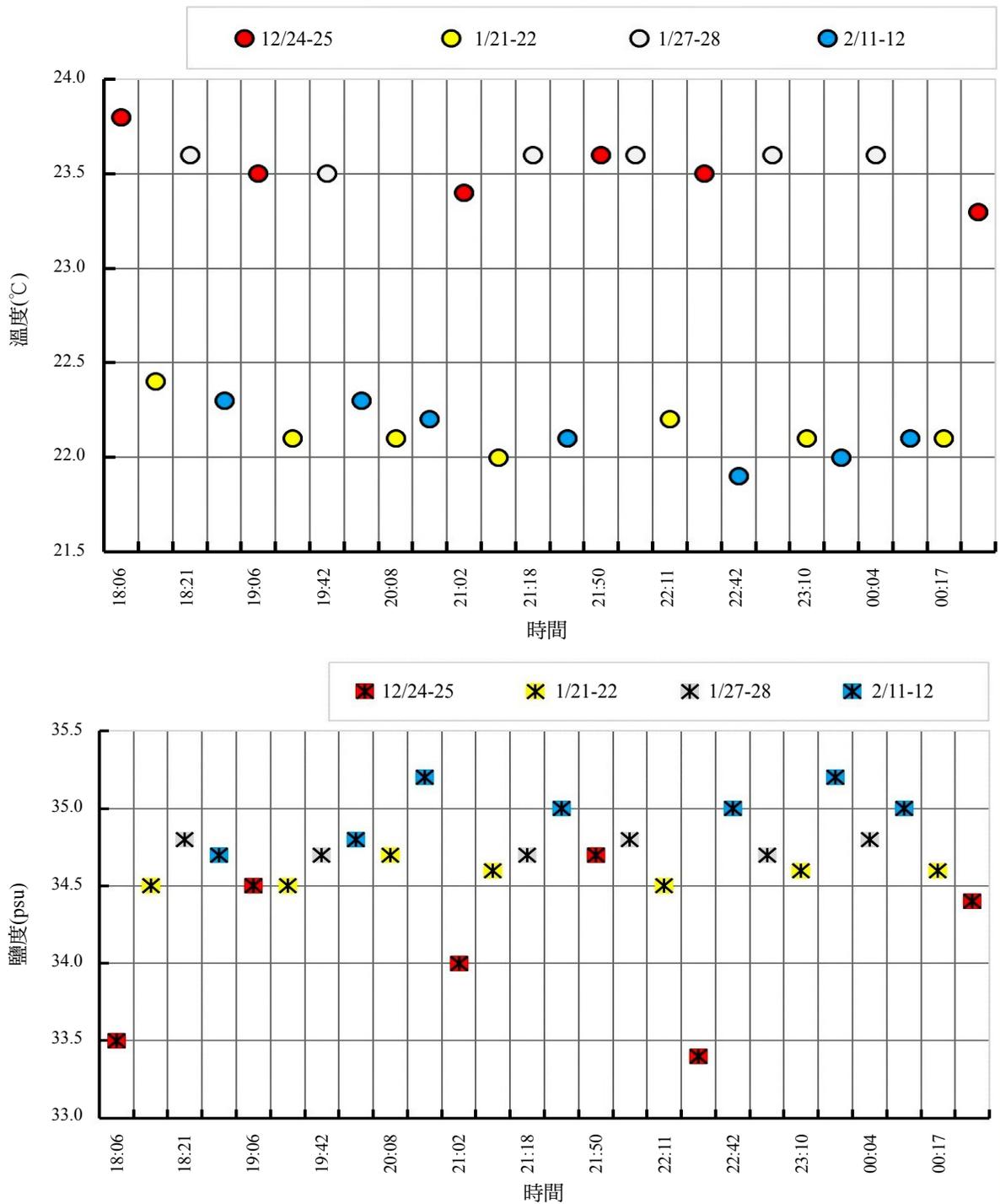


圖 13 2014 年 12 月至 2015 年 2 月傳統鰻苗漁場之表層溫鹽時序列變化(上：溫度；下：鹽度)

他鰻形類之組成包括糯鰻科 (Congridae) 33 尾、鯨科 (Muraenidae) 8 尾、蛇鰻科 (Ophichthidae) 4 尾、擬鯨科 (Chlopsidae)

3 尾、海鰻科 (Muraenesocidae) 3 尾、線鰻科 (Nemichthyidae) 3 尾、鴨嘴鰻科 (Nettastomatidae) 1 尾，其中又以糯鰻科採





樣數量最高，鯨科次之，主要分布位置於北緯 22 度附近海域；其他之鰻形類採樣數量稀少。此外，本研究亦於東港溝兩側設置錨定網，2 個測站共計 8 網次，採集到 3 尾柳葉型仔魚，分屬於蜆鰻科 (Moringuidae)、糯鰻科 (Congridae) 及海鰻科 (Muraenesocidae)。

叉手網漁船採集日本鰻鰻苗結果顯示，於 2014/12/4-5 – 2015/2/12 間租用民間叉手網漁船，出海作業 170 網次，共計採集到 285 尾日本鰻鰻苗。2014/12/4-5 租用民間叉手網漁船，出海作業 54 網次，共計採集到 159 尾日本鰻鰻苗，其數量及位置分布如圖 14 所示，此結果顯示，高屏溪口距岸約 400 m 處為主要捕撈漁場。

2014/12/24-25 共計 21 網次，捕獲 21 尾日本鰻鰻苗，平均 1 網次捕獲 1 尾 (圖

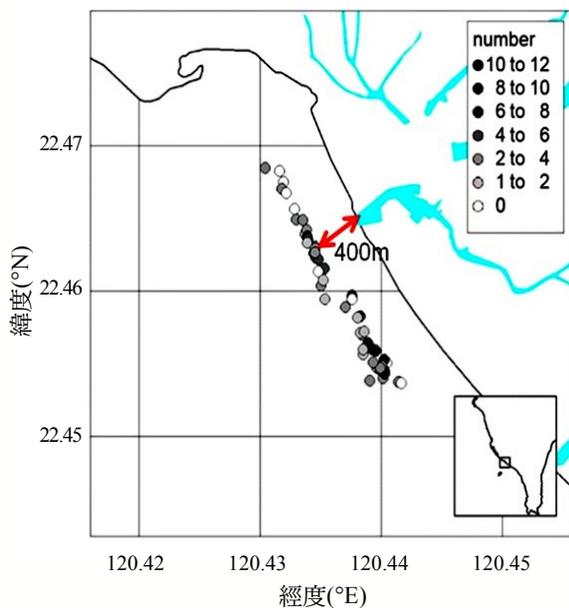


圖 14 2014/12/4-5 高屏溪口附近海域之日本鰻鰻苗豐度

15a)；2015/1/21-22 共計 38 網次捕獲 53 尾日本鰻鰻苗，平均每網次捕獲 0.62 尾 (圖 15b)；2015/1/27-28 共計 28 網次，此次並未採集到任何日本鰻鰻苗 (圖 15c)。2015 年 1 月相比 2014 年 12 月的漁獲情況，鰻苗捕撈量確減少許多，甚至出現未採集到的情形。然而，2015/2/11-12 共計 29 網次捕獲 74 尾日本鰻鰻苗，平均每網次 2.55 尾，捕撈情況有稍微回升 (圖 15d)。

討論與結論

1958 – 2016 年間，ONI 與 PDO 等氣候指標均呈現正負值反覆交替現象，並可依據轉變現象區分為數個時期，此結果說明近 60 年來氣候轉變明顯，全球海洋環境不同 (圖 6、7)。1968 – 2016 年間，高屏地區的鰻魚產量亦呈現漁獲質與量的波動起伏 (圖 9)。1970 – 1976 年間，ONI 呈現連續性長期負值累計，僅於 1972 – 1973 年呈現正值累計，1973 年 6 月即持續累計負值 (圖 6)。該時期內，高屏地區漁獲量首次出現大幅度減產趨勢，產量持續低迷，直到 1986 – 1988 年間的聖嬰年產量才略有增加 (圖 9)。然而，氣候轉變造成的鰻魚產量減少並非僅限於臺灣。

Chang et al. (2018) 模擬過去 20 年間馬里亞納海溝至西北太平洋日本鰻仔魚洄游量的結果顯示，近 20 年來日本與臺灣周邊海域的鰻魚仔魚量明顯減少，其主與黑潮流勢減弱有關。其中，1994 – 2012 年間，臺灣西南海域與 SCS 海域的日本鰻仔魚分





布量減少趨勢更高於其他區域 (如 STCC、ECS、日本南部海域等)，為日本鰻洄游之八大海域中減少速度最快的海域，約每年整體減少 8.2%。造成臺灣西南海域與 SCS 海域日本鰻減少的原因，除了黑潮流勢減弱外，主要仍與黑潮入侵現象與冬季暖心渦流減弱有關。

藉由 2014–2016 年的現場調查結果與衛星資料可進一步觀察到此現象，雖然 11 月的試驗船採樣未取得日本鰻柳葉型幼

苗，但又手網實驗則於 2014 年 12 月、2015 年 1 月與 2015 年 2 月採集到日本鰻鰻苗 (圖 15)。衛星資料亦顯示，此時期內臺灣西南海域外海亦出現明顯的暖心渦流，暖渦發生水域正異常值明顯高於周邊水域 (圖 8)，此現象亦代表此時期黑潮水入侵明顯，且為 looping 路徑，而此結果與 ONI 指數正值累計趨勢一致 (圖 6)。

2015 年 11 月試驗船現場水文調查資料亦顯示，黑潮主軸之溫鹽結構出現於 E13、

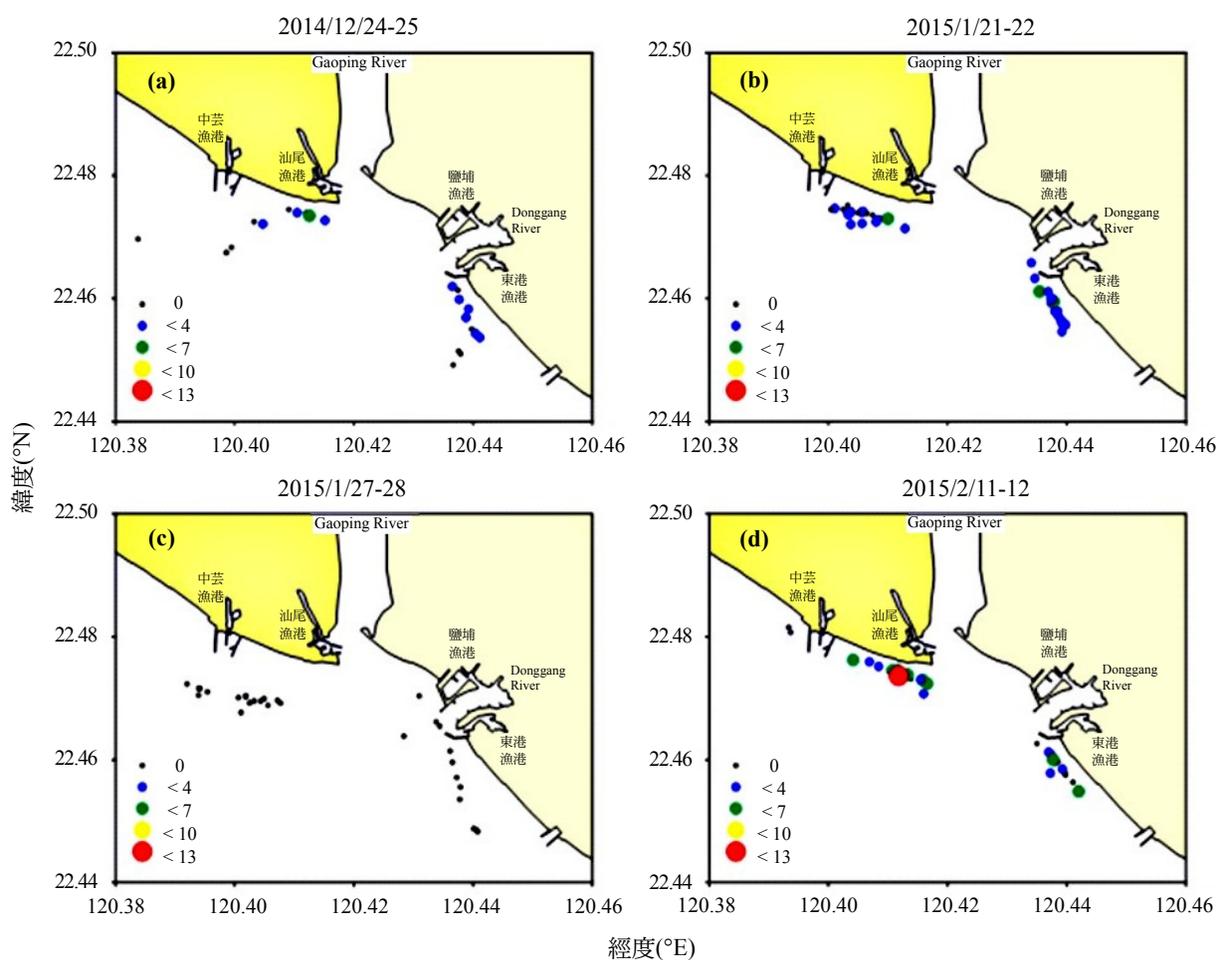


圖 15 高屏溪口日本鰻鰻苗採樣地點位置及其捕獲尾數
(a)：2014/12/24-25；(b)：2015/1/21-22；(c)：2015/1/27-28；(d)：2015/2/11-12





E14 測站，其餘測站則顯示為黑潮支流之溫鹽結構，溫鹽平均為 $27.44 \pm 0.44^{\circ}\text{C}$ 、 34.32 ± 0.26 psu (圖 11)，代表 2015 年 11 月表層溫度雖稍低，但鹽度比 2014 年初來得高，亦有黑潮支流入侵現象。傳統鰻苗漁場之表層溫鹽調查結果發現，2014/12/24-25 與 2015/1/27-28 時水溫較 2015/1/21-22 與 2015/2/11-12 高出約 1°C 左右；鹽度部分除 2014/12/24-25 鹽度有隨時間升降外，各採樣時間變化差異較小 (圖 13)。這些結果說明，2014—2015 年臺灣西南海域秋冬季鰻魚漁獲增加可能與黑潮入侵現象與冬季暖心渦流現象有關。

日本鰻資源變動影響因素眾多，影響層面包括自然環境因素與人為因素兩部分，雖透過衛星資料與現場調查試驗結果初步判定，臺灣西南海域鰻苗漁場形成、鰻苗產量波動與黑潮入侵路徑與暖渦發生可能有關，此結果亦符合 Han et al. (2016) 與 Chang et al. (2018) 推論相符，但未來仍需進行更多深入分析與長期觀測，才能更進一步確認全球氣候轉變造成的洋流模式改變與臺灣西南部海域日本鰻來游量的相互影響關係。

未來研究建議

一、臺灣西南海域水文環境資料持續性觀察與監測之必要

臺灣西南海域因地理條件特殊且複雜，除為日本鰻重要漁場外，亦為許多洄游性魚類必經之地，漁業資源珍貴且豐富，為

臺灣重要漁場之一。近 20 年來，黑潮入侵現象逐漸減弱，冬季暖渦發生機率逐漸降低 (Wu et al., 2016)。臺灣西南海域位於 KC 支流進入 SCS 主要源頭海域，地理位置上更具代表性與意義。國內外相關研究已證實，因全球氣候變遷與氣候轉變下，臺灣西南海域海況已逐漸改變，為長期觀察與記錄西南海域水文環境變化，水溫環境資料的長期蒐集與採樣有其必要性，未來應仍需持續進行現場觀察與監測，並藉此建立西南海域長期水溫觀測資料庫。

二、補足「短缺的日本鰻洄游地圖」

東亞國家對於鰻魚資源極為重視，瞭解鰻魚生活史、資源量、洄游路徑與分布已成為日本、韓國與臺灣相關研究探究之重要課題。1994—2012 年間，臺灣西南海域與 SCS 海域的日本鰻仔魚分布量減少趨勢明顯，且為日本鰻洄游之八大海域中減少速度最快的海域，每年整體減少約 8.2% (Chang et al., 2018)。然而，現行多數日本鰻研究探討，係以馬里亞納海溝至日本周邊海域的 KC 主流為主，位屬 KC 支流主要源頭海域的臺灣西南海域與 SCS 海域，仍較少進行深入研究探討，故日本鰻的遷移與資源變動的主因，目前尚有許多議題未完全明朗。為完整探討鰻魚生活史與洄游分布，補足臺灣西南海域鰻魚資源探討之研究，未來仍需持續進行相關研究，並嘗試與國內外相關研究成果一同探討，以共同維護鰻魚漁業資源與產業。





參考文獻

- 日本水產廳 (2017) 水產統計情報。http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kensaku/bunya6.html
- 日本水產廳 (2018) うなぎをめぐる現状と対策。http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html
- 行政院農委會漁業署 (2014) 漁業署推動鰻魚放養管理，並與國際合作共同養護管理鰻魚資源。(https://www.fa.gov.tw/cht/NewsPaper/content.aspx?id=1146&chk=e2fb1c8c-8302-413c-b356-ca81d23ba044)
- 行政院農委會漁業署 (2017) 漁業統計年報。(https://www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/index.aspx)
- 戴昌鳳等人 (2014) 臺灣區域海洋學。臺大出版中心編印，455 pp。
- Aida, K., K. Tsukamoto and K. Yamauchi (2003) Eel Biology. Springer Japan., 497. (https://doi.org/10.1007/978-4-431-65907-5)
- Chang, Y. L. K., Y. Miyazawa, M. J. Miller and K. Tsukamoto (2018) Potential impact of ocean circulation on the declining Japanese eel catches. Scientific Reports, 8(1): 5496. (DOI: 10.1038/s41598-018-23820-6)
- Chang, Y. L., J. Sheng, K. Ohashi, M. Béguer-Pon and Y. Miyazawa (2015) Impacts of interannual ocean circulation variability on Japanese eel larval migration in the Western North Pacific Ocean. PLoS ONE, 10:e0144423. (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144423)
- Chen, Z. and L. Wu (2012) Long-term change of the Pacific North Equatorial Current bifurcation in SODA. Journal of Geophysical Research: Oceans, 117: n/a-n/a. (https://doi.org/10.1029/2011JC007814)
- Dekker, W. (2004) Slipping through our hands: Population dynamics of the European eel. University of Amsterdam.
- Friedland, K. D., M. J. Miller and B. Knights (2007) Oceanic changes in the Sargasso Sea and declines in recruitment of the European eel. ICES Journal of Marine Science, 64: 519-530. (https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm022)
- Han, Y. S., Y. F. Lin, C. R. Wu, Y. Iizuka, T. R. Castillo, I. U. Yambot, M. D. Mamalangkap and A. V. Yambot (2016) Biogeographic distribution of the eel *Anguilla luzonensis*: dependence upon larval duration and oceanic currents. Marine Ecology Progress Series, 551: 227-238.
- Ho, C. H., H. J. Lu, J. S. He, K. W. Lan and J. L. Chen (2016) Changes in patterns of seasonality shown by migratory fish under global warming: Evidence from catch data of Taiwan's coastal fisheries. Sustainability, 8: 273.
- Hsu, A. C., H. Xue, F. Chai, P. Xiu and Y. S. Han (2017) Variability of the Pacific North Equatorial Current and its implications on Japanese eel (*Anguilla japonica*) larval migration. Fisheries Oceanography, 26: 251-267. (https://doi.org/10.1111/fog.12189)
- ICES (2013) Reports of the Eifac/ICES working group on eels (WGEEL), 18-22 March 2013 in Sukarietta, Spain, 4-10 September 2013 in Copenhagen, Denmark ICES CM2013/ACOM, 18: 253 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014) Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Liao, I C. (2001) A general review on aquaculture in Asia: A focus on anguillid eel. In: I C. Liao (compiled) Keynote Addresses, The 5th and 6th Asian Fisheries Forums. AFS Special Publication, 11: 39-54.
- Miller, M. J. and T. Katsumi (2004) An introduction to leptocephali: Biology and identification, Ocean Research Institute, The University of Tokyo.
- Nan, F., H. Xue and F. Yu (2015) Kuroshio intrusion into the South China Sea: A review. Progress in Oceanography, 137: 314-333. (https://doi.org/10.





- 1016/j.pocean.2014.05.012)
- Nan, F., H. Xue, F. Chai, L. Shi, M. Shi and P. Guo (2011) Identification of different types of Kuroshio intrusion into the South China Sea. *Ocean Dynamics*, 10.1007/s10236-011-0426-3.
- Okiyama, M. (1988) An atlas of the early stage fishes in Japan Tokai University Press, Tokyo.
- Peysner, C. E., J. Yin., F. W. Landerer and J. E. Cole (2016) Pacific sea level rise patterns and global surface temperature variability. *Geophysical Research Letters*, 43: 8662-8669. (<https://doi.org/10.1002/2016GL069401>)
- Tsukamoto, K. (2009) Oceanic migration and spawning of anguillid eels. *Journal of fish biology*, 74: 1833-1852. (<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02242.x>)
- Tzeng, W. N. and O. Tabeta (1983) First record of the short-finned eel *Anguilla bocoior pacifica* from Taiwan. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 49(1): 27-32.
- Tzeng, W. N., P. W. Cheng and F. Y. Lin (1995) Relative abundance, sex ratio and population structure of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the Tanshui River system of northern Taiwan. *Journal of Fish Biology*, 46: 183-201.
- Wu, C. R., Y. L. Wang, Y. F. Lin and S. Y. Chao (2017) Intrusion of the Kuroshio into the South and East China Seas. *Scientific Reports*, 7: 7895, doi:10.1038/s41598-017-08206-4.
- Zenimoto, K., Y. Sasai, H. Sasaki and S. Kimura (2011) Estimation of larval duration in *Anguilla* spp., based on cohort analysis, otolith microstructure, and Lagrangian simulations. *Marine Ecology Progress Series*, 438: 219-228. (<https://doi.org/10.3354/meps09255>)

