

日本東北海域日本鯷和遠東擬砂丁魚的資源變動機制

王友慈、潘佳怡、吳全橙 摘譯

水產試驗所海洋漁業組

背景與目的

分布於溫帶海域的鯷魚和砂丁魚資源隨著氣候及海洋變動而有數十年周期的反相變動。近年來，這種全球性的物理變化所引起的生態系轉換，被稱為生態系統結構轉換 (regim shift)。由於生態系統結構轉換的時間和空間尺度非常大，詳細的機制尚未能解釋清楚，而鯷魚和砂丁魚是溫帶地區表層生態系的優勢魚種，成為了解生態系統結構轉換機制的良好模式魚種。

鯷魚和砂丁魚資源的增減已被認為是和海洋的寒冷化及溫暖化有關。日本周邊海域日本鯷 (*Engraulis japonicus*) 的漁獲量，在 1950—60 年為 30—40 萬噸之間，1970—80 年驟減至 10 餘萬噸，1990 年以後再增加，1999 年達到 48 萬噸；另一方面，遠東擬砂丁魚 (*Sardinops melanosticta*) 的漁獲量則伴隨著日本鯷資源的減少在 1972 年以後急速增加，於 1988 年達到最高紀錄的 448 萬噸，但 2000 年時則銳減到 15 萬噸 (圖 1)。此外，日本東北海域的表水溫，在 1950 年代高於平均值，1960 年代則低於平均值，至 1970 年代後半期達到最低，1987 年轉為

高於平均值，1990 年代後半則更高。綜上所述，遠東擬砂丁魚資源量增加的 1970—80 年代與水溫低於平均值的寒冷期是一致的，而日本鯷資源量增加的 1950 年代和 1990 年代則是高於平均值的溫暖期。

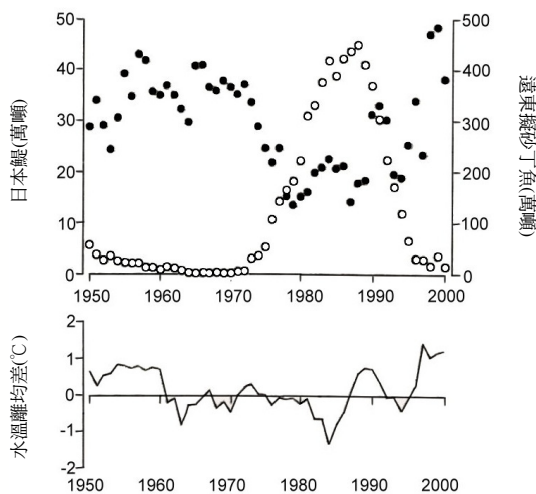


圖 1 1950-2000 年間日本鯷(黑圈)和遠東擬砂丁魚(白圈)的漁獲量(上)和黑潮、親潮移行區海面水溫離均差(下)

魚類資源量的變動被認為係取決於當年產出的卵經高死亡率的發育初期 (仔稚魚期) 能活存而加入資源的個體比例，許多報告指出仔稚魚期成長速度較快的年度其加入量較多 (Houde, 1987)。然而，Takasuka et al.

(2007) 發現在日本鯷仔魚成長的適水溫範圍內，遠東擬砂丁魚仔魚的成長率也較高，也就是溫暖期對兩種仔魚都有促進成長和提高存活率的效果，如此將導出兩種魚資源量都應該增加的結論。顯然的，忽略了對仔稚魚成長與發育有重大影響的餌料條件的水溫假說，無法充分解釋砂丁魚類的資源量變動。

以前的研究指出，影響北太平洋西部日本鯷和遠東擬砂丁魚資源量的關鍵是在常磐和三陸的東方近海（黑潮、親潮移行區）(Watanabe, 2002)。在遠東擬砂丁魚資源崩潰而日本鯷資源大增的 1980 年代後期到 1990 年代前期，在北海道東部沿岸海域每年漁獲量超過 100 萬噸的遠東擬砂丁魚 1 歲魚消失，取而代之的是體長超過 12 公分的日本鯷在砂丁圍網、秋刀魚棒受網和定置網中被混獲。此劇烈交替的原因可能是這兩種魚的仔魚由太平洋沿岸黑潮水域的主要產卵場移向親潮水域的索餌場途中所引起。

比較黑潮、親潮移行區採獲的日本鯷仔稚魚與由成魚逆算所得孵化後 30—60 日齡的成長率，顯示成長較快的仔稚魚個體在存活率的選擇下構成了成魚群 (Takahashi and Watanabe, 2004)。而 1996—2003 年太平洋海域遠東擬砂丁魚當歲魚的推算尾數，與春季黑潮、親潮移行區仔稚魚 (40—70 日齡) 的成長率也具有較高的正相關 (Takahashi et al., 2008)。因此，不能了解黑潮、親潮移行區日本鯷和遠東擬砂丁魚仔稚魚的成長模式與環境條件的對應關係，則無法明白影響此兩種魚資源量變動的主要因素。

1980 年代後期，黑潮、親潮移行區的海面水溫急速上升，作為生態系統結構轉換

指標的太平洋十年震盪指數 (PDO 指數：Pacific Decadal Oscillation Index; Mantua et al., 1997) 減小 (圖 2)，類似的現象也發生在 1990 年代後半 (Yatsu et al., 2008)。本研究以 1985—2002 年間的平均 PDO 指數 (0.7) 為基礎，定義出 1986—1988 及 1996—1998 年為寒冷期、1989—1991 及 1999—2002 年為溫暖期，就明顯相違的 1990 年代後期的寒冷期到溫暖期的變化與日本鯷和遠東擬砂丁魚仔稚魚的成長率變化，來探討 1980 年代後期起兩種魚的資源量變動機制。

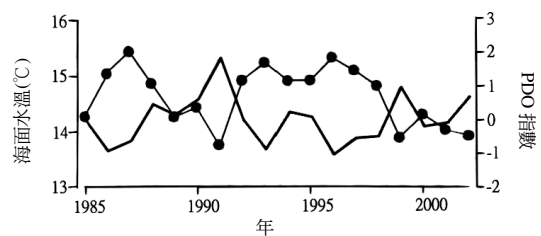


圖 2 1985-2002 年間每年 4、5 月在黑潮、親潮移行區的平均海面水溫(黑線)與平均 PDO 指數(黑圈)

仔稚魚採集與成長解析

遠東擬砂丁魚資源量較高的 1980 年代幾乎是集中在 2、3 月產卵 (Watanabe et al., 1996)，而資源崩潰的 1990 年代後期則分散在 11—5 月間產卵 (Takahashi et al., 2008)；另一方面，日本鯷資源增加的 1990 年代在 2、3 月間的產卵量增加 (前谷、木村，1997)；因而在春季前產出和孵化的仔稚魚是這兩種魚資源增加的貢獻者。春季前在黑潮周邊海域產出並孵化的這兩種魚係由黑潮往東北方向輸送，於 4—6 月間抵達黑潮、

親潮移行區。1996–2002 年 5、6 月的夜間在該海域使用中層拖網可同時捕獲這兩種仔魚，但遠東擬砂丁魚仔魚的採獲個體數由 1996–1999 年間逐年減少，2000 年增加，2001 和 2002 年又再度下滑（圖 3）；而日本鯷仔魚的採獲個體數由 1996–2000 年逐年增加，但 2001 和 2002 年則略減。

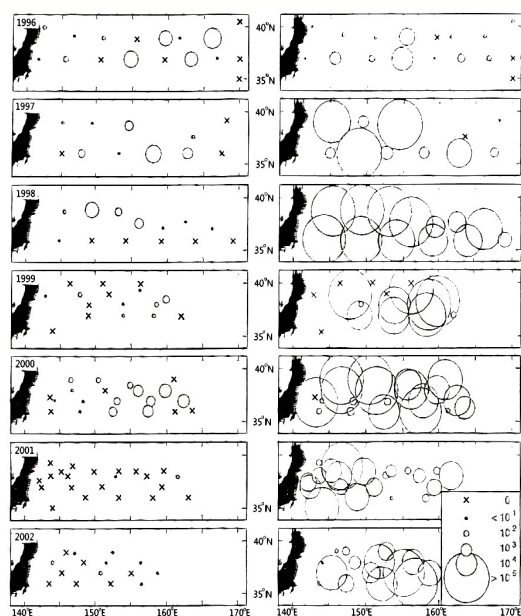


圖 3 1996-2002 年在黑潮、親潮移行區遠東擬砂丁魚(左)和日本鯷(右)仔稚魚的採獲個體數

採獲的仔稚魚在船上立即以 -25°C 冷凍保存，攜回實驗室解凍後量測標準體長，於實體顯微鏡下摘取耳石，然後以耳石日周輪逆推仔稚魚的成長過程。在仔魚期和稚魚期的體長和耳石半徑的關係分別以異速式 (allometry, $y = aL^b$) 和直線式來表示，再利用體長-耳石半徑關係式和生物截距法來逆算各日周輪形成時的體長 (Campana and Jones, 1992)。由每一個體的逆算體長來求取

加入過程的日齡範圍 (日本鯷：30–60 日齡，遠東擬砂丁魚：40–70 日齡) 的成長率 (G_i)，再求出各調查點的平均成長率 (G_t)，再由各調查點的採獲尾數加權平均出各年的年平均成長率 (G)。

水溫與餌料密度

為了解日本鯷和遠東擬砂丁魚仔稚魚採集海域的垂直水溫構造，因此在每一調查點投放 CTD 來量測表層到 500 m 深的水溫。至今的研究發現，在黑潮、親潮移行區的鯧目魚類仔稚魚主要分布在 30 m 以淺，而 30 m 以淺的水溫差在 1°C 以內，因此本研究以 CTD 測得的表面水溫作為仔稚魚的分布水溫。

仔稚魚採集海域的餌料環境，係以北太平洋標準網 (網口直徑 45 cm、網目 0.335 mm) 在水深 0–150 m 間進行垂直拖曳採集浮游生物來得知的。兩種仔稚魚主要餌料的橈腳類由採獲的浮游動物中挑揀出來後在實體顯微鏡下量測前部體長 (PL) 和前部體寬 (PW)，本研究假設這兩種仔稚魚攝取的餌料大小是隨成長而增大的，而決定仔稚魚成長率的加入過程所觀測到的日齡範圍的體長分別是 20–40 和 30–60 mm SL，基於 Takahashi and Watanabe (2005) 及 Takahashi et al. (未發表數據)，則兩種仔稚魚所能攝取的橈腳類的前部體長範圍分別是 0.1–1.8 mm 和 0.5–3.0 mm PL，再以 Takahashi and Watanabe (2005) 所顯示的橈腳類的前部體寬與乾重的關係，換算成 1 m^{-2} 的橈腳類乾重來代表餌料密度。

成長與環境的變化

遠東擬砂丁魚的年平均成長率在 1996—1998 年的寒冷期為 $2.7-2.9\% \cdot d^{-1}$ ，1998 年以後的溫暖期則減少到 $2.7\% \cdot d^{-1}$ 以下 (圖 4)；相對的，日本鯉的年平均成長率在寒冷期為 $2.4-2.6\% \cdot d^{-1}$ ，而除了 2000 年以外的溫暖期則增加到 $2.6\% \cdot d^{-1}$ 以上。顯然的，兩種魚影響加入成敗期間的成長率呈現反相的變動，在寒冷期，遠東擬砂丁魚仔稚魚成長快、加入成功率高，而日本鯉仔稚魚成長慢、加入成功率低，而溫暖期則逆轉。

以耳石日周輪在採集前 5 天的推定平均成長率來分析與採集時水溫的對應關係，發現遠東擬砂丁魚在採集前的成長率有伴隨著表面水溫由 $14^{\circ}C$ 開始的上升而增加、超過 $18^{\circ}C$ 則下降的傾向 (圖 5)。另一方面，日本鯉採集前的成長率，在 $13-21^{\circ}C$ 的範圍內是伴隨著表面水溫的上升而增加。其次，除了水溫對成長的影響外，採集所得的成長率與橈腳類的分布密度分為 $16^{\circ}C$ 以下、 $16-18^{\circ}C$ 、 $18^{\circ}C$ 以上三個水溫區間的分析結果，遠東擬砂丁魚在 $16-18^{\circ}C$ 、日本鯉在 $18^{\circ}C$ 以上，有正相關的關係。採集前的成長率，年平均成長率 (G) 與各調查點的平均成長率 (Gt) 呈正相關，寒冷期遠東擬砂丁魚仔稚魚的年平均成長率 ($2.7\% \cdot d^{-1}$ 以上) 相當於採集前的成長率 $2.25\% \cdot d^{-1}$ 以上、表水溫 $16.4-18.9^{\circ}C$ 、餌料密度 $276 \text{ mg DW} \cdot m^{-2}$ 以上。但溫暖期的日本鯉仔稚魚的最快成長率 ($2.6\% \cdot d^{-1}$ 以上) 相當於採集所得的成長率 $2.41\% \cdot d^{-1}$ 以上、表面水溫 $17.3^{\circ}C$ 以上、餌料密度 $56 \text{ mg DW} \cdot m^{-2}$ 以上。

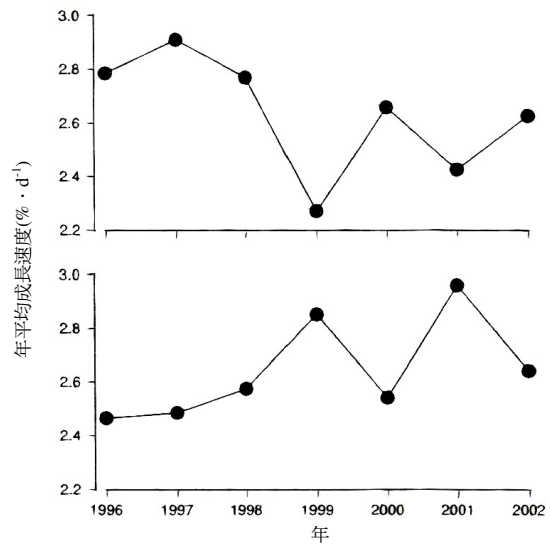


圖 4 1996-2002 年遠東擬砂丁魚(上)和日本鯉(下)仔稚魚的年平均成長速度

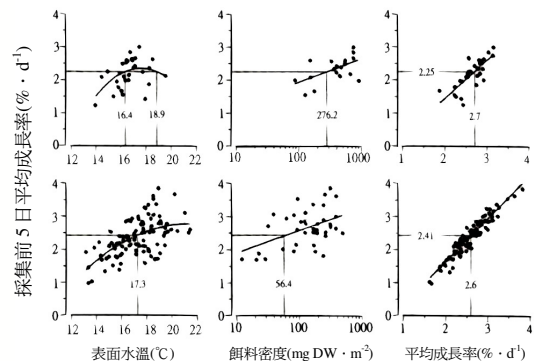


圖 5 遠東擬砂丁魚(上)和日本鯉(下)仔稚魚採集前 5 日平均成長率與表面水溫、餌料密度和平均成長率的相關性

寒冷期的遠東擬砂丁魚在表水溫 $16.4-18.3^{\circ}C$ 、餌料密度 $276 \text{ mg DW} \cdot m^{-2}$ 以上的較適環境條件下有較高比例的分布，在溫暖期則多分布在餌料密度低的海域 (圖 6)。另一方面，寒冷期的日本鯉仔稚魚則多分布在餌料密度低的海域，但溫暖期則有較大比例分布在餌料密度高的海域。此結果顯示，1980 年代後半的黑潮、親潮移行區伴隨著

寒冷期到溫暖期的變化，遠東擬砂丁魚仔稚魚的餌料不足導致成長惡化以致加入量減少、資源崩潰。另一方面，日本鯷在 1980 年代後半進入溫暖期後，適合的水溫和豐富的餌料加速成長，活存率、資源量增加。

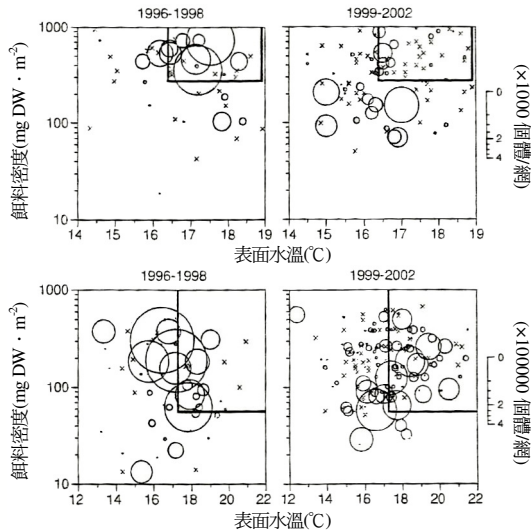


圖 6 寒冷期(左)和溫暖期(右)遠東擬砂丁魚(上)和日本鯷(下)仔稚魚分布樣式與環境條件的關係，右上角方框表示較適環境條件的範圍

水團構造與環境的變化

先前的研究指出黑潮、親潮移行區南邊的黑潮續流及其南側海域的長期變動，與遠東擬砂丁魚的 0-1 歲魚的死亡係數有正相關的關係 (Noto and Yasuda, 1999)。另一方面，常磐、三陸近海親潮入侵南端的位置，在遠東擬砂丁魚資源量高的 1980 年代向南推進到北緯 37 度附近，相對的，在量低的 1990 年代則後退到北緯 39 度附近 (Sugimoto et al., 2001)，因此遠東擬砂丁魚資源變動的原因為黑潮和親潮的勢力消長。

先前的研究指出，以黑潮續流軸在 100 m 深為 15°C、親潮前緣在 100 m 深為 5°C 的等溫線，以 CTD 測得的 100 m 深水溫以經緯度 1 度方格平均的結果，寒冷期親潮在東經 145 度以西海域向南大擴張，溫暖期該海域則為黑潮續流的暖水所佔據 (圖 7)。而且，棲息在黑潮續流的橈腳類的體長組成，比黑潮、親潮移行區的其他地區小 (小達，1994)。此外，Qiu et al. (2007) 基於衛星海面高度資料的解析，在 1980 年代後半與 1990 年代後半觀察到顯著的黑潮續流北偏。因此，從寒冷期到溫暖期伴隨著黑潮、親潮移行區的餌料生物種類組成變化的結果，遠東擬砂丁魚仔稚魚的餌料條件惡化。因而，本研究將黑潮、親潮移行區水團構造的變化與日本鯷和遠東擬砂丁魚仔稚魚的環境條件變化對照的結果，顯示兩種魚的成長和活存過程的好壞轉變可能是資源改變的因素。

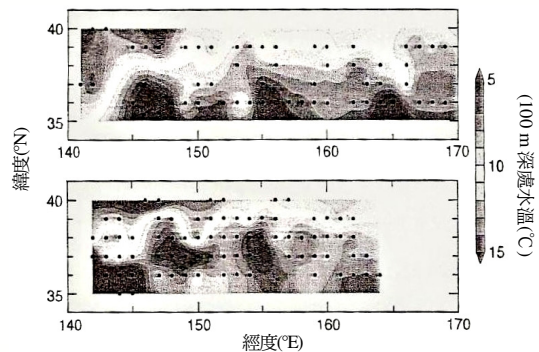


圖 7 1996-1998(寒冷期: 上)和 1999-2002 年(溫暖期: 下)調查海域水深 100 m 的水溫水平分布

註：本文摘譯自高橋素光、渡邊良朗、谷津明彥、西田宏 (2009) 北太平洋西部におはるカタクチイワシとマイワシの資源量變動機構。西海ブロック漁海況調査研究報告，17: 19-28。