

國立臺灣大學理學院海洋研究所

碩士論文

Institute of Oceanography

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis



以耳石穩定性同位素與年輪探討太平洋黑鮪的年齡與成長以及  
其來源

The origin, age and growth of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) inferred from otolith isotopic composition and annuli

呂翰駁

Han-Bo Lu

指導教授：蕭仁傑 博士

Advisor: Jen-Chieh Shiao, Ph.D.

中華民國 104 年 6 月

June, 2015

## 致謝



我一直覺得我非常地幸運，在求學的路程上有許多人的協助讓我一路走得順遂，也感謝眾人的協助，本研究才得以完成。首先要謝謝我的指導教授 蕭仁傑老師，老師在這兩年給予我學習的方向並且充滿耐心地指導我，讓我能安心地學習，也謝謝老師提供我經費與舒適的環境，讓我能更加專注地在學術上發揮。感謝 張水鍇老師、王勝平老師與 王慧瑜老師，謝謝你們逐字逐句閱讀我的論文並提供我寶貴的建議，使我的碩士論文能更加成熟。非常感謝我的家人，你們是我最堅強的後盾，讓我知道我在迷茫時有個安全的避風港。謝謝阿公，雖然來不及讓你看到我完成學業，但我相信，你在天上也默默地保護著我，我突然好想吃你藏在口袋裡的餅乾、糖果喔！謝謝我的奶奶、爸爸與媽媽，雖然你們對我所進行的學術研究部分不甚了解，但你們依舊非常支持我，讓我更堅定的走下去，謝謝我的弟妹，感謝你們不時地為我這個哥哥著想。感謝 Nina 學姐、阿柏學姐以及博舜學長，謝謝你們在研究上的協助並排解我生活上所遇到的麻煩。謝謝我的好哥們—尚恩、哥哥、廖竣、達達和小謙，與你們相處的時光總是充滿歡笑，而你們的鼓勵與協助是我前進的動力。謝謝學妹力綺與凌藍，妳們的幫助讓我輕鬆了不少。謝謝我的好室友—鎮瑋、卡車與浩宇，你們的包容與關懷讓我回家時能好好休息。最後特別感謝佩臻，感謝妳的關心與陪伴，讓我知道我並非獨自一人奮鬥，也謝謝妳常陪我到處走走，還有陪我一起體驗各種新事物，讓我的生活得以多采多姿。

## 摘要



太平洋黑鮪 (Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*) 為台灣近海漁業的重要漁獲對象，但近年來黑鮪的族群量急劇下降，造成我國的黑鮪漁獲量銳減，故必須制定更適切的管理措施來保護這項資源，而了解其年齡與成長的狀況及幼魚的來源對制定相關的管理政策是非常重要的基礎資料。故本研究利用 2015 年所新發表的太平洋黑鮪耳石年齡判讀手冊來對黑鮪進行年齡判讀，以求得更精確的黑鮪年齡與解析黑鮪的成長狀況，並將年齡搭配對應的尾叉長資料建構 Age-Length Key，以此了解我國於西北太平洋海域所捕獲的黑鮪之年齡組成。此外我們也以耳石中的穩定性同位素組成來判斷黑鮪是來自哪一個孵化場。2011-2014 年間，於東港與南方澳漁港共採集 688 對太平洋黑鮪的耳石，其尾叉長範圍為 137-271 公分；體重範圍則為 58-435 公斤。利用耳石判讀年齡的結果相當一致，平均的百分誤差 (APE) 與變異係數 (CV) 為 0.74 % 與 1.05 %，範圍為 4-28 歲，所得的黑鮪 von Bertalanffy growth equation 的成長參數值如下： $L_{\infty}$  值為 249.0 公分、 $k$  值為  $0.179 \text{ year}^{-1}$ 、 $t_0$  為 -1.383 歲，而根據 Age-Length Key 所估算的歷年 (2002-2013 年) 捕獲平均年齡可看出，2002-2007 年間，我國在西北太平洋海域所捕抓的黑鮪平均年齡為 10-12 歲，而 8-10 歲的年級群則佔較大比例；但 2008-2013 年，16-18 歲的年級群取代 8-10 歲的年級群，捕獲的黑鮪平均年齡也增加到 16-17 歲，造成此現象的原因可能為日本的沿近海漁業捕捉大量幼鮪，使入添量減少所致。另外藉由耳石的穩定性同位素分析發現 ( $n = 30$ )，我國所捕獲的黑鮪大部分 (83.3 %) 都來自西北太平洋黑潮流域的產卵場，此結果也指出太平洋黑鮪有高度 Natal homing 的現象，但兩產卵場也會有族群交流的現象，因為仍有少部分 (16.7 %) 的個體可能來自日本海的產卵場。研究結果顯示，我國太平洋黑鮪漁業與日本的黑鮪漁業息息相關，未來應加強與日本學者的學術合作，並藉由逐年收集更多的黑鮪耳石樣本，來了解年齡組成的年間變化以及更進一步解析兩產卵場對我國漁業之貢獻程度，期望對黑鮪進行有效的管理以達永續經營。

**關鍵字：**太平洋黑鮪、耳石、年齡判讀、穩定性同位素、產卵場來源

## Abstract



Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*, PBF) is an important target species of Taiwanese neritic fisheries, but their stock has been declining in recent years. Age, growth and the natal origin of PBF are important life history characters for effective management. This study aimed to reconstruct the age composition of the PBF landed in Taiwan by reading their otolith annuli. In addition, we evaluated the natal origin of PBF by the analysis of otolith stable isotopic composition. A total of 688 otoliths were collected from Tungkang and Nanfang-ao ports from 2011 to 2014. The estimated ages ranged from 4-28 years and different readings on the samples were consistent with, the mean APE and CV of 0.74 % and 1.05 %, respectively. The generated von Bertalanffy growth equation of PBF had  $L_{\infty} = 249.0$  cm,  $k = 0.179$  year<sup>-1</sup>, and  $t_0 = -1.383$  years. The mean age of PBF landed in Taiwan were 10-12 years old in 2002-2007 then the values gradually increase to 16-17 years old between 2008-2013. The change of age composition of the spawning stock might due to overfishing of young PBF by Japanese neritic fisheries. In addition, most (83.3 %) PBF analyzed (n = 30) were hatched in the northwestern Pacific Ocean indicated by the otolith  $\delta^{18}\text{O}$  profiles. This result suggested that PBF have high fidelity of natal origin. A small group (16.7 %) of PBF caught by Taiwanese longliners might hatch in the Japan Sea. Therefore, genetic flow of PBF shall exist between the two spawning grounds and this species shall be managed as a single population.

**Key words:** Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*, PBF), Otolith, Age determination, Stable isotopes, Natal origin

# 目錄



致謝.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iii
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
附錄.....	ix
第一章、前言.....	1
1.1 太平洋黑鮪 ( <i>Thunnus orientalis</i> )之生活史.....	1
1.2 漁業現況.....	2
1.3 耳石的研究與應用.....	4
1.4 研究的動機與目的.....	5
第二章、材料與方法.....	7
2.1 耳石來源.....	7
2.2 耳石薄片標本製備.....	7
2.3 耳石年輪判讀.....	9
2.4 穩定性碳氧同位素分析.....	10
2.5 資料分析.....	11
2.5.1 體長與體重之關係.....	11
2.5.2 年齡判讀精確度分析.....	11
2.5.3 年齡長度關係 (Age-Length Key).....	12
2.5.4 成長方程式.....	12
2.5.5 判別分析 (Discriminant Analysis).....	13
第三章、結果.....	14
3.1 體長頻度組成.....	14
3.2 體長體重關係式.....	14
3.3 耳石年齡判讀精確度.....	15
3.4 年齡與成長.....	16
3.4.1 年齡頻度組成.....	16
3.4.2 年齡長度關係 (Age-Length Key).....	17
3.4.3 成長方程式.....	17
3.5 判別分析結果.....	19
第四章、討論.....	21
4.1 雌雄黑鮪體長與體重關係之比較.....	21
4.2 耳石切片製備方式與年齡判讀精確度.....	21
4.3 年齡與成長.....	23
4.4 漁獲年齡組成的時間序列變化.....	24

4.5	太平洋黑鮪的來源.....	28
4.6	穩定性碳氧同位素分析之發現.....	31
第五章、	總結.....	32
第六章、	參考文獻.....	33



## 圖目錄



<b>Figure 1.</b> 採樣地點 (東港與南方澳漁港).....	38
<b>Figure 2.</b> 微量刮取器刮取粉末時的介面 .....	39
<b>Figure 3.</b> 太平洋黑鮪之尾叉長頻度分布圖 .....	40
<b>Figure 4.</b> 不同性別之太平洋黑鮪尾叉長頻度分布圖 .....	41
<b>Figure 5.</b> 太平洋黑鮪公母魚之尾叉長 (FL)與體重 (DW)關係.....	42
<b>Figure 6.</b> 第一次與第二次年輪判讀結果比較圖 .....	43
<b>Figure 7.</b> 與日本學者判讀結果一致的樣本 .....	44
<b>Figure 8.</b> 太平洋黑鮪年齡頻度分布圖 .....	45
<b>Figure 9.</b> 不同性別之太平洋黑鮪年齡頻度分布圖 .....	46
<b>Figure 10.</b> 不同採集年份之太平洋黑鮪年齡頻度分布圖 .....	47
<b>Figure 11.</b> 2002-2009 年所量測之太平洋黑鮪尾叉長分布圖 .....	48
<b>Figure 12.</b> 2010-2014 年所量測之太平洋黑鮪尾叉長分布圖 .....	49
<b>Figure 13.</b> 2002-2009 年太平洋黑鮪總漁獲年齡組成.....	50
<b>Figure 14.</b> 2010-2014 年太平洋黑鮪總漁獲年齡組成.....	51
<b>Figure 15.</b> 不同性別之太平洋黑鮪的成長曲線 .....	52
<b>Figure 16.</b> 太平洋黑鮪的成長曲線 .....	53
<b>Figure 17.</b> 利用穩定性碳氧同位素數值進行判別分析之結果 .....	54
<b>Figure 18.</b> 使用 Crystal bond 封片的情況.....	55
<b>Figure 19.</b> 樣本 SO-2、SO-4、SO-7、SO-8，由核心至距核心 2500 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化.....	56
<b>Figure 20.</b> 樣本 SO-11、SO-13、SO-15、TK-5，由核心至距核心 2500 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化.....	57

<b>Figure 21.</b> 樣本 TK-6、TK-8、TK-9、TK-12，由核心至距核心 2500 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化.....	58
<b>Figure 22.</b> 樣本 NBT-173、NBT-174、NBT-175、NBT-176，由核心至距核心 2000 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化 .....	59
<b>Figure 23.</b> 樣本 NBT-177、NBT-178、NBT-179、NBT-180，由核心至距核心 2000 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化 .....	60
<b>Figure 24.</b> 樣本 NBT-181、NBT-182、NBT-2、NBT-4，由核心至距核心 2000 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化.....	61
<b>Figure 25.</b> 樣本 PBT-13、PBT-14、PBT-16、PBT-18，由核心至距核心 2000 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化.....	62
<b>Figure 26.</b> 樣本 PBT-36 與 PBT-87，由核心至距核心 2000 $\mu\text{m}$ 左右處的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ 與 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 變化 .....	63
<b>Figure 27.</b> 耳石中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ 數值大幅上升的位置 .....	64

## 表目錄



<b>Table 1.</b> 不同年間之太平洋黑鮪採集樣本數 .....	65
<b>Table 2.</b> 三種不同的封片方式的平均 APE 與 CV 值之比較 .....	66
<b>Table 3.</b> 以 2011-2014 年，於東港和南方澳兩漁港所採樣之個體所建立的年齡體長關係表 (Age-Length Key) .....	67
<b>Table 4.</b> 利用 likelihood ratio test 來比較公、母太平洋黑鮪的不同成長參數 ( $L_{\infty}$ , $k$ , $t_0$ ) 是否有差異 .....	68
<b>Table 5.</b> 不同年間的成長表現參數 ( $\Phi'$ ) 之比較 .....	69
<b>Table 6.</b> 不同年間利用 bootstrapping 的方式重複採樣 1000 次後，套適成長方程式所得之結果 .....	70
<b>Table 7.</b> 用於建立判別函數的個體之基本資料，共 34 尾個體 (Shiao et al. 2010) .....	71
<b>Table 8.</b> 利用前人研究的資料 (Shiao et al. 2010) 所建立的判別分析函數結果，以太平洋黑鮪耳石距核心 800-1000 $\mu\text{m}$ 內的穩定性氧 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ ) 及碳 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ ) 同位素數值進行分析 .....	72
<b>Table 9.</b> 未知的樣本利用距耳石核心 800-1000 $\mu\text{m}$ 處之穩定性氧與碳同位素數值進行判別分析之結果 (利用 Statistica 7.0 所得之結果) .....	73
<b>Table 10.</b> 未知的樣本利用距耳石核心 800-1000 $\mu\text{m}$ 處之穩定性氧同位素數值進行判別分析之結果 (利用 Statistica 7.0 所得之結果) .....	74
<b>Table 11.</b> 未知的樣本利用距耳石核心 800-1000 $\mu\text{m}$ 處之穩定性氧與碳同位素數值進行判別分析之結果 (利用 QDFA 所得之結果) .....	75
<b>Table 12.</b> 不同產卵場對我國黑鮪漁業的貢獻程度 .....	76

## 附錄



- 附錄 1.** 1952-2011 年，北太平洋鮪類及似鮪類國際科學委員會 (ISC)會員國於北太平洋的逐年太平洋黑鮪漁獲量 (ISC, 2012)。..... 77
- 附錄 2.** 2003-2013 年，臺灣各縣市的太平洋黑鮪漁獲量 (漁業署，2014)。..... 78
- 附錄 3.** 太平洋黑鮪耳石切片示意圖 (Shimose and Ishihara, 2015)，呈現不對稱的”V”型，以核心為中心，會出現一長軸與一短軸，主要利用長軸的第一轉折後之暗帶來判讀其年齡。..... 79
- 附錄 4.** 1952-2013 年日本每年黑鮪曳繩釣產量變化，資料來源由 ISC 網站上所下載 (<http://isc.ac.affrc.go.jp/index.html>)。..... 80
- 附錄 5.** 不同漁業方式對太平洋黑鮪 spawning stock biomass 的影響程度 (ISC 2014)。..... 81
- 附錄 6.** 漁業對不同年齡的太平洋黑鮪造成之死亡率，2002-2004 年的情況為黑色虛線，2007-2009 年的情況為黑色實線，2009-2011 年的情況為紅色實線 (ISC 2014)。..... 82
- 附錄 7.** 台日漁業協定的內容 (聯合報，2014)。..... 83
- 附錄 8.** 太平洋黑鮪由核心至距離核心 1500  $\mu\text{m}$  之  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值變化，由此圖可看出，來自日本產卵場的個體其  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值在距離核心 1000  $\mu\text{m}$  左右會達到最大值，但來自西北太平洋黑潮流域產卵場的個體則在 1500  $\mu\text{m}$  左右才會出現  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  的最大值 (Shiao et al. 2010)。..... 84

## 第一章、前言



### 1.1 太平洋黑鮪 (*Thunnus orientalis*)之生活史

太平洋黑鮪在分類的地位上屬鱸形目 (Perciformes)、鯖科 (Scombridae)、鮪屬 (*Thunnus*)，臺灣地區俗稱黑甕串，是一種大型的洄游性魚類，主要分布在北太平洋海域，其體重可達 300 公斤 (Foreman 1990)，最大尾叉長可達 260 公分以上 (Hsu et al. 2000)，壽命可達 20 歲以上 (Shimose et al. 2009)，3 歲後開始性成熟 (尾叉長達 100 公分) (Aonuma et al. 2008)，此魚種在海洋中扮演高階消費者的角色，為海洋生態系中重要的一環。

根據仔稚魚的調查資料證實，太平洋黑鮪有兩處產卵場 (Tanaka et al. 2006, 2007)，一處位於溫暖的西北太平洋海域，介於菲律賓東北部海域與日本琉球群島之間的黑潮流域，母魚產卵的時間約為四月下旬到六月 (Chen et al. 2006, Tanaka et al. 2006)，而另一處產卵場則是位在日本海內，產卵的時間較晚，約為八月到九月 (Tanaka et al. 2007)。於黑潮流域中出生的黑鮪幼魚因為游泳能力弱，會隨黑潮漂送到日本的南部海域，經過數個月的成長後，便可能會游入日本海中覓食 (Itoh et al. 2003)，而在日本海內孵化的仔魚則繼續待在日本海中成長，隨著年齡與體型漸長，之後會離開日本海進入太平洋中覓食與成長，故黑鮪生活史早期主要都位於西北太平洋海域和日本海中，而這些幼鮪也正是日本和韓國的捕捉對象之一。

大部分的黑鮪終其一生都會棲息於西北太平洋海域，但有些個體在 10-14 個月大時，會乘著北太平洋環流 (North Pacific Gyre) 跨越太平洋，洄游到東太平洋海域 (Orange and Fink 1963, Clemens and Flittner 1969, Kitagawa et al. 2008)，進入

美國與墨西哥的漁區，根據漁獲組成資料顯示，洄游到東太平洋海域的黑鮪個體大多為 3-7 歲，而這些洄游到東太平洋的黑鮪經過一段時間覓食成長後，還是會返回西北太平洋或是日本海產卵 (Bayliff 2001)。



## 1.2 漁業現況

太平洋黑鮪因肉質鮮美結實而深受饕客喜愛，因此具有高度的經濟價值，身體依各部位不同，價格有所差異，其中腹部肉又稱 TORO，一小片的價格就高達新台幣四、五百元，故太平洋黑鮪素有「海中黑金」的美名，為日本、臺灣、韓國、美國和墨西哥等國的重要漁撈對象，而根據北太平洋鮪類及似鮪類國際科學委員會 (International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean, ISC) 於 2012 年的資料顯示 (附錄 1)，早期日本每年所捕捉的量超過黑鮪總捕獲量的一半以上，其次是墨西哥和臺灣，在 2000 年後，墨西哥與韓國也逐漸增加其漁獲量。而近年來黑鮪的相關製品如壽司、生魚片等在各地受歡迎的程度大增，使其需求量提高，加上各國漁具漁法的改善以及捕鮪船隊的擴增，黑鮪族群面臨著巨大的漁業壓力，依據 ISC 太平洋黑鮪工作小組 (Pacific Bluefin Tuna Working Group, PBFWG) 於 2014 年所提的會議報告<sup>1</sup>中指出，黑鮪正處於過漁的狀態 (overfished)，野生的生殖族群數量正處於歷史低點，若不儘速改善，未來太平洋黑鮪的族群量恢復的機率很低。

臺灣近海主要捕捉黑鮪的漁法為鮪延繩釣，主要捕獲黑鮪的拍賣港口有屏東的東港、宜蘭蘇澳的南方澳與東部的成功漁港等地，而屏東縣政府自 2001 年起結合觀光和漁業推動「黑鮪魚文化觀光季」，成功提高國人對黑鮪的認識以及喜愛，為東港這個小漁村帶來商機。但成功的背後卻有需多的隱憂，根據農委會漁業署的漁業統計年報，全臺的黑鮪捕獲量逐年下滑 (附錄 2)，2003 年到 2013 年，

---

<sup>1</sup> PBFWG (2014) Stock Assessment of Pacific Bluefin Tuna 2014. International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean.



這十年來，捕獲量已從原先的 2329 公噸降至 329 公噸，銳減 80 % 以上，另外東港和蘇澳兩地也分別由 1296 公噸和 522 公噸降至 222 公噸及 100 公噸，降幅分別為 83 % 與 81 %。根據上述的狀況可看出，來到西北太平洋海域的黑鮪生殖族群量 (spawning stock biomass, SSB) 已經到達非常危急的程度。而過去臺灣的近海鮪延繩釣漁業可在每年 5-7 月間，於菲律賓東北海域到日本琉球群島南部這一區塊捕獲超過數千尾的太平洋黑鮪產卵個體 (Chen et al. 2006, Itoh 2006)，但近年來的數量明顯減少，2011 年以及 2012 年的捕捉數量都沒有超過一千尾，一方面可能是黑鮪自然資源的減少，但另一方面也有可能是我國與菲律賓兩國的漁場爭議，造成我國漁船無法於菲律賓東北海域正常作業有關，顯示政治因素也會影響黑鮪的捕撈狀況。

因太平洋黑鮪洄游於各國的專屬經濟海域及公海間，為了保護這種極具經濟利潤的大型鮪魚，必須仰賴國際區域性漁業管理組織 (Regional Fisheries Management Organisations, RFMOs) 來進行管理，其中的中西太平洋漁業委員會 (Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC) 於 2014 年所舉辦的第 11 屆年會會議中<sup>2</sup>，各漁業國達成協議，預計在未來實施新的保育規範，其中主要的項目為減少黑鮪幼魚 (30 公斤以下) 的漁獲量，在北緯 20 度以北水域之幼魚捕獲量必須要依照 2002-2004 年的水準削減 50 %，期望可以恢復其野生族群量。另外委員會會員、合作非會員及參與領地 (合稱 CCMS) 也應加強太平洋黑鮪漁業資料的蒐集系統，使資料品質和資料的及時性更佳。而近十年來，我國政府與學界持續監測所捕獲的太平洋黑鮪之體長組成變化，從 2011 年開始加入黑鮪年齡組成的分析，使資料的蒐集更加完整，此外漁業署也極力要求漁民應每日填寫我國政府所印製的漁撈作業情形紀錄表 (logbook)。

---

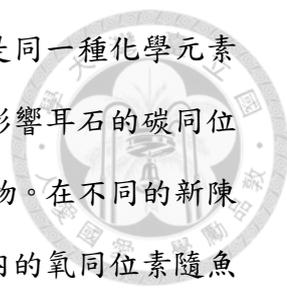
<sup>2</sup> Commission for the Conservation and Management of Highly Migratory Fish Stocks in Western and Central Pacific Ocean, eleventh regular session in Apia, Samoa, 1-5 December 2014



### 1.3 耳石的研究與應用

耳石是硬骨魚體內一種鈣化的硬組織，其組成主要由碳酸鈣和少部分的有機物質所沉積而成，與魚體的聽覺、平衡有關，位於硬骨魚類內耳中，耳石共有 3 對，分別為矢狀石 (sagitta)、礫狀石 (lapillus) 以及星狀石 (asteriscus) 三種，在大多數的魚類中，矢狀石的體積最大，採樣上較為方便，被用於相關研究的比例也最高。魚類耳石同時也具有不會被魚體再吸收，以及隨著魚隻年齡增加而變大的特性，故耳石常被利用來研究魚類的生活史。因耳石內的成長帶與不連續帶具有時序性 (Casselmann 1990)，最早被利用來推估魚體的年齡。以鮪類為例，南方黑鮪 (Southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*) 和大西洋黑鮪 (Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thunnus*) 都利用耳石的切片發展出年齡判讀的方式 (Kalish et al. 1996, Clear et al. 2000, Neilson and Campana 2008)。對鮪魚而言，這種耳石切片的技術也被視為是可信賴的年齡判讀工具 (Gunn et al. 2008)，而過去並沒有針對太平洋黑鮪建立該種的年輪判讀手冊，主要是參考 2002 年所發表的南方黑鮪讀輪手冊 (Anonymous 2002) 來進行耳石年輪的判讀。Shimose and Ishihara (2015) 根據各國學者在 2013 年 11 月 13-16 日於日本靜岡縣清水市遠洋水產研究所 (National Research Institute of Far Seas Fisheries, Japan) 所舉辦的 ISC 工作會議 (Pacific Bluefin and North Pacific Albacore Tuna Age Determination Workshop) 中的討論內容，共同發表了一份太平洋黑鮪耳石定齡手冊 (A manual for age determination of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*)，成為日後判讀太平洋黑鮪耳石年輪的重要依據。

耳石在礦化的過程中，會受到魚體所處的環境以及生理反應所影響，其化學組成會產生變化，故研究耳石中的化學元素組成可進一步了解魚體所處的環境為何，或是用以解其生活史事件，例如透過耳石內的鋇鈣比 (Sr/Ca ratio) 改變可推測魚類的河海洄游路徑 (Lamson et al. 2006, Shiao et al. 2006)。而耳石中的碳 (C)、



氧 (O) 穩定同位素也被廣泛地作為環境因子指標，同位素指的是同一種化學元素但具有不同的中子數，造成同元素分子間質量有些微的差異。影響耳石的碳同位素主要包括水中的溶解態碳同位素組成，魚類的生理反應及食物。在不同的新陳代謝速率下，碳的穩定性同位素組成比例會有所不同；而耳石內的氧同位素隨魚體所處的溫度不同 (Høie 2004, Kitagawa et al. 2013)，其比值 ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) 也會不同，故可利用來推估魚體所處的環境水溫，但前提是水體中的氧同位素沒有大幅改變。另外不同海域的水團中，其穩定性碳、氧同素的組成也會有所差異，可透過研究魚體耳石核心附近的元素組成來推估其來源或育幼地為何。過去已有不同種的鮪魚成功運用此技術了解鮪魚個體來自何處產卵場或育幼地 (Shiao et al. 2010, Wells et al. 2012, Fraile et al. 2014)，對鮪魚的漁業管理助益良多。

#### 1.4 研究的動機與目的

太平洋黑鮪是我國重要的漁獲對象，佔國內漁業經濟舉足輕重的地位，並受國際重視，但在 2011 年前，港口觀察員只有紀錄尾叉長和體重等外部形質資料，故只能由黑鮪的尾叉長資料，瞭解其可能的年齡組成。而我國從 2011 年開始採集太平洋黑鮪的耳石，並參考南方黑鮪的讀輪手冊 (Anonymous 2002) 來對太平洋黑鮪的耳石進行年輪的判讀，此外也利用成長方程式，將尾叉長資料轉換算成年齡資料 (Shimose et al. 2009)，或是使用 ISC 於 2012 年建立的 Age-Length key 兩種方法來推估我國的黑鮪漁獲之年齡組成。然而上述幾種方式各有其不足之處，過去利用南方黑鮪的讀輪手冊所得的太平洋黑鮪年齡，可能和實際年齡會有出入，因此耳石切片的製作與讀輪依據應該要隨物種對象的不同而進行適當的調整，現行的黑鮪年輪判讀必須參照 2013 年 ISC 的會議討論細節，以 2015 年所發表的太平洋黑鮪耳石定齡手冊進行調整，因在此手冊當中，對太平洋黑鮪耳石切片的製備、耳石上年輪的判讀等，都是針對太平洋黑鮪建立的專一性規範，因此先前參考南方黑鮪的手冊來判讀太平洋黑鮪的年齡所得之 Age-Length key 也可能會與實際情況不同，而若使用 Shimose et al. (2009) 的研究所建立之黑鮪尾叉長與年齡

關係式來推估我國黑鮪漁獲組成年齡，則無法涵蓋所有樣本，因為此篇研究的尾叉長年齡轉換公式無法估算尾叉長超過 250 cm 的個體，而這些尾叉長超過 250 cm 的個體所佔比例又無法忽略，因此我們需要採用另一種可行的尾叉長與年齡轉換方法。

另外，孵化自不同產卵場的太平洋黑鮪，隨著時間成長，其覓食場會高度重疊，因此在不同漁區所捕抓的黑鮪個體可能來自不同的產卵場 (Itoh 2009)。舉例而言，Shiao et al. (2010) 的研究指出，由日本遠洋水產研究所取得之太平洋黑鮪幼魚分別孵化自日本海與黑潮流域兩個不同的產卵場。

故本篇研究將藉由港口觀察員所採集的太平洋黑鮪耳石進行兩大部分的分析，第一部分會先取黑鮪耳石中的一顆矢狀石，根據太平洋黑鮪耳石定齡手冊進行年齡的判讀，並利用年齡對應的尾叉長資料建立 Age-Length key，用以瞭解我國漁船在西北太平洋海域所捕獲的黑鮪年齡組成，此外也會利用年齡與尾叉長間的關係來探討黑鮪的成長情形；另一部分則使用另一顆矢狀石進行耳石中的穩定性碳、氧同位素分析，藉此推測臺灣漁民所捕獲的黑鮪個體來自哪一個產卵場？並評估不同的產卵場對臺灣漁民所捕獲的黑鮪貢獻度，期望研究結果能有助於我國的太平洋黑鮪漁業管理。

## 第二章、材料與方法



### 2.1 耳石來源

本研究所使用的太平洋黑鮪耳石樣本是由港口觀察員在屏東的東港與宜蘭的南方澳漁港兩地採集而來 (Fig. 1)，時間自 2011 年起到 2014 年，連續四年，總共採集了 688 尾黑鮪成魚的耳石樣本。黑鮪從漁船上卸貨後，觀察員會量測其尾叉長 (FL, fork length)，單位為公分；而體重 (DW, dressed weight) 的資料則為黑鮪魚體移除臟器以及性腺後的重量，此部分採用漁港工作人員的過磅結果，此數據也會填寫於紙標籤貼在魚體上，單位為公斤；性別資料則是漁民在解剖魚體時，觀察生殖腺判定，由於我國捕抓黑鮪的地點與時間剛好為其繁殖期間和產卵場區域，故性別的判定正確性很高。耳石的取得方式為該鮪魚在支解後，港口觀察員會利用線鋸或屠刀，將黑鮪的頭顱由中線對半分開，再用鑷子將最大的耳石 (矢狀石) 取出，以自來水清洗後放入塑膠樣本瓶中帶回實驗室做進一步的處理。

本研究也利用過去在 2007 年，於東港漁港所採集的 18 顆太平洋黑鮪成魚耳石樣本進行碳氧同位素的分析，此部分的耳石由於缺乏其相對應的尾叉長與體重資料，故不放入年齡與成長部分的分析與討論。

### 2.2 耳石薄片標本製備

以鑷子及解剖針在顯微鏡下將耳石表面所殘留的組織清除，接著會將耳石浸泡到 5% 的過氧化氫水溶液 (5%  $H_2O_2$ ) 中 1-2 分鐘，藉此繼續清除表面上的細微組織，但浸泡時間不可過長，否則耳石本身的結構也會受到侵蝕，除去耳石上的組織後，將耳石以清水洗淨並放入新的試管中，將其放至烘箱以 50°C 烘烤至乾燥。



乾燥後的耳石包埋過程如下：先將環氧樹脂與硬化劑 (Epo-fix kit, Struers, Denmark) 依一定比例調和後，注入包埋板中達其凹槽深度的一半，放入 50°C 烘箱，待樹脂硬化後，再將黑鮪耳石以溝槽 (Sulcus) 面朝下放入包埋板中，注入環氧樹脂至與包埋板表面等高，並以鑷子移除包埋過程中所產生的氣泡，然後將整個包埋板置入 50°C 烘箱烘烤一個小時以上，確保樹脂完全硬化後方可取出包含耳石的樹脂塊。

將已包埋的耳石置於解剖顯微鏡 (SZX16, Olympus, Japan) 下，觀察並標示其核心位置 (附錄 3)，此位置參照太平洋黑鮪耳石定齡手冊 (Shimose and Ishihara 2015)，再使用慢速切割機 (Isomet low speed saw, Buehler, USA)，以橫切面的方式 (transverse section) 切出包含核心的切片，而切片的厚度依所要進行的實驗不同，也會有所差異，進行年齡判讀的切片厚度約為 250-350  $\mu\text{m}$ ，而要進行同位素分析的切片厚度則約為 500-600  $\mu\text{m}$ 。

在年齡判讀的實驗部分，耳石切片共有 3 種不同處理方法，2011 年、2012 年的耳石切片會放入包埋板，再使用樹脂進行二次包埋，完成後以熱熔膠將二次包埋後的樹脂塊固定在載玻片上，開始進行表面的研磨，這個部分會使用可變速研磨/拋光機 (Metaserv2000 grinder/polisher, Buehler, USA) 來進行，先由顆粒較粗的 2000 號砂紙移除表面的樹脂，再用較細的 2400 號砂紙將耳石的表面磨至可清晰判讀年輪明暗帶的程度，最後以濕潤的絨布搭配氧化鋁粉 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 來拋光，拋光完成後以 5% 的乙二胺四乙酸 (5% EDTA) 來蝕刻表面一分鐘，使明暗帶更加明顯，處理完成的耳石標本會在光學顯微鏡 (BX51, Olympus, Japan) 下觀察，並以連接在上方的數位相機 (DP71, Olympus, Japan) 進行拍照並讀輪。在 2013 年的耳石切片中，有一部分的樣本使用 Crystal bond 將切片固定在載玻片上，Crystal bond 為一種在高溫狀態下會變成液體的物質，利用此特性將耳石切片固定在玻

片上，並蓋上蓋玻片，待其溫度回復到室溫便完成封片，處理過後的耳石樣本即可在顯微鏡下觀察，照相與讀輪；另一部分於 2013 年與 2014 年製備的耳石切片則以 Permount 封片膠，將切片封埋在載玻片和蓋玻片中，完成後一樣進行拍照與讀輪。

作為耳石碳、氧同位素分析的耳石切片樣本，會先用環氧樹脂進行二次包埋，並以熱融膠將二次包埋後的樹脂塊固定於載玻片上，接著於研磨機上使用不同粗細的砂紙依序研磨至可清晰看到耳石輪紋與核心後，方可拋光及利用 5% 的乙二胺四乙酸來蝕刻表面，最後再利用顯微鏡以及數位相機觀察、拍照。

### 2.3 耳石年輪判讀

太平洋黑鮪耳石橫切薄片的標本 (附錄 3) 會呈現不對稱的”V”型成長，以核心為中心，分別為長軸 (ventral arm) 與短軸 (dorsal arm)，而有些年齡較大的個體，其標本會出現 Distal lobe。年輪的判讀會根據長軸上的明暗帶來認定，而過去在不同鮪類上也是利用長軸上的明暗帶來判定其年齡 (Anonymous 2002, Farley et al. 2006, Shih et al. 2014)，通常第一個暗帶 (Opaque zone) 會在第一轉折 (1<sup>st</sup> inflection) 後出現，距離核心 600-1000  $\mu\text{m}$  左右，暗帶中會包含數條黑色的條紋 (偽年輪)，而隨著年齡增加，暗帶間的距離會逐漸縮短，到第二轉折點 (通常約為黑鮪 10 歲的位置) 後，年輪的明暗對比會變的強烈，明暗帶也會排列規律而緊密。詳細的說明參照太平洋黑鮪耳石定齡手冊 (Shimose and Ishihara 2015)。

每個樣本會進行兩次的判讀，每次判讀的時間至少間隔兩個禮拜，若結果一致，則採用判讀的結果；若不一致，則根據前兩次判讀的結果，進行第三次的判讀，並採用第三次判讀的結果來進行後續的分析。



## 2.4 穩定性碳氧同位素分析

欲進行耳石同位素分析的樣本在拍照完後，會再拋光一次，以確保樣本表面的平整性，且拋光過程中會重複以清水清洗表面，避免氧化鋁粉殘留，影響同位素分析結果。耳石樣本會利用先前所拍的照片為依據，以微量刮取器 Micromill (ESI, Micromill, USA)採集粉末進行穩定性碳氧同位素分析。首先將處理過的耳石樣本以熱熔膠黏在採樣平台上固定，接著利用電腦軟體界面控制，沿著耳石上的成長輪紋來規劃鑽頭刮取的路徑 (Fig. 2)，並利用內插的方式來增加刮取的路線，可增加的刮取路線受每次刮取的體積所限制，因質譜儀的分析有最小氣體量的要求，若分析的樣本重量低於一定程度，分析的結果會變得不可靠，以耳石密度  $2.8 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  為例，刮取的體積必須大於  $0.02\text{mm}^3$ ，深度為  $200 \mu\text{m}$  左右，設定完上述的條件後，便會從距離核心  $2000 \mu\text{m}$  處向核心內刮取粉末，因為鮪魚在一定年齡後，魚體腦部便具有保溫的能力 (Kitagawa et al. 2007, Shiels et al. 2011)，耳石中的穩定性氧同位素對環境與水溫便不具代表性，所以才會選擇距核心  $2000 \mu\text{m}$  處向內取粉，每一條路徑刮取完成後使用解剖刀收集粉末至分析用的玻璃瓶中，並以石臘膜 (parafilm) 封口並標上編號，每次取粉後會使用連接在 Micromill 上方的數位相機，以表面光及穿透光拍照記錄，後續分析時可依此對照刮取位置。

將取樣的耳石粉末利用碳酸鹽樣品自動進樣系統 (Kiel Carbonate IV, Thermo, Germany) 與質譜儀 (Finnigan MAT 253, Thermo, Germany) 進行穩定性碳氧同位素分析。裝有耳石粉末的玻璃試管會在  $70^\circ\text{C}$  且真空的環境下與純磷酸 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 反應，生成  $\text{CO}_2$  氣體，並經由重複的升降溫來分離水分子，收集的純  $\text{CO}_2$  氣體會被導入質譜儀中分析。數據皆藉由國際標準品 NBS19 (International Atomic Energy Agency, Vienna) 校正與換算，再以 VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) 的參考值表示。黑鮪耳石的穩定性碳氧同位素分析結果以  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  及  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  表示，

計算方式如下：

$$\delta = \left( \frac{R_{sample} - R_{standard}}{R_{standard}} \right) \times 1000(\text{‰})$$



其中 R 值代表耳石中的碳同位素比值  $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$  及氧同位素比值  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ ，國際標準品 NBS19 的  $\delta^{13}\text{C}$  值為 1.95 ‰； $\delta^{18}\text{O}$  值為 -2.2 ‰。

## 2.5 資料分析

### 2.5.1 體長與體重之關係

因在資料蒐集的過程中有可能只能得到黑鮪體重的資料，故必須利用公式將體重資料轉換成體長資料。利用公式描述雌雄黑鮪樣本的尾叉長 (FL) 與體重 (DW) 間之關係，其關係式如下：

$$DW = a \times FL^b$$

上式中 DW 為體重；FL 為尾叉長；a, b (condition factor) 則是係數，得到雌雄不同關係式後，以 Likelihood ratio test (Kimura 1980) 來檢測雌雄間是否有差異。

### 2.5.2 年齡判讀精確度分析

為了評估耳石讀輪的準確度，在第一及第二次的年輪判讀，會利用平均百分誤差 (APE, average percent error) (Beamish and Fournier 1981) 與變異係數 (CV, Coefficient of variation) (Campana 2001) 來了解兩次讀輪的精準度，而 APE 與 CV 的公式如下：



$$APE = 100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j}$$

$$CV = 100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j}$$

上式中，R 代表重複讀輪的次數； $X_{ij}$  表示在第 i 次判讀時，第 j 個樣本的年齡； $X_j$  則為第 j 個樣本的讀輪結果平均值。

除了平均 APE 及 CV 外，也會根據兩次不同的讀輪結果繪製 Age-bias plot (Campana 2001)，縱軸與橫軸分別代表第一次及第二次的讀輪結果，並且在圖上畫出 1:1 的線，藉此來了解兩次讀輪的一致性。另外也會隨機挑選 50 個耳石切片樣本與日本遠洋水產研究所的人員交互判讀並計算 APE 與 CV，藉此了解臺、日雙方對太平洋黑鮪年輪的判讀是否有所差異。

### 2.5.3 年齡長度關係 (Age-Length Key)

根據耳石切片讀輪的結果與對應的尾叉長資料，以每 10 公分為一間距，構築太平洋黑鮪的 Age-Length Key，並利用此 Age-Length Key 與港口觀察員所紀錄的太平洋黑鮪尾叉長資料，來推測我國於西北太平洋海域所捕獲之黑鮪年齡組成。

### 2.5.4 成長方程式

經由耳石年輪的判讀，太平洋黑鮪的年齡會依性別不同，分別套入 von Bertalanffy growth equation (VBGE) 公式中，以此得到其成長方程式，並以 Likelihood ratio test (Kimura 1980) 來檢測雌雄間是否有差異。VBGE 的公式如下：

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$



於上式中， $L_t$  為太平洋黑鮪  $t$  歲時的體長； $L_\infty$  為太平洋黑鮪的極限體長； $k$  為成長係數； $t_0$  則是體長為 0 時的理論年齡。

### 2.5.5 判別分析 (Discriminant Analysis)

將耳石經同位素分析所得的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  及  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值進行判別分析 (Discriminant Analysis)，因進行判別分析時必須先建立判別函數，故在此會利用前人研究的資料 (Shiao et al. 2010) 來建立判別函數，檢驗其判別成功率後，再將未知的樣本做判別歸類，所使用的軟體為 Statistica 7.0 (StatSoft, 2004)；此外也使用 QDFA (quadratic discriminant function analysis) 來交叉驗證判別的結果，所使用的統計軟體為 R (R foundation, 2015)。本研究根據 Shiao et al. (2010) 所使用的方式，以太平洋黑鮪耳石距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  內的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  的最大值及其對應的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  值作為變數，藉此了解未知樣本是來自哪一個產卵場。

### 第三章、結果



#### 3.1 體長頻度組成

2011-2014 年間，從南方澳及東港兩漁港共採樣了 688 尾太平洋黑鮪成魚的耳石 (379 尾雄魚；309 尾雌魚) (Table 1)，扣除 10 尾沒有記錄體長的資料，一共獲得 678 尾黑鮪的體長資料，其中有 376 尾雄魚、302 尾雌魚。所有採集耳石的個體，其尾叉長範圍為 137-271 cm，平均尾叉長為  $229.3 \pm 21.5$  cm (Fig. 3)，若把不同性別的黑鮪分開計算，雄魚的尾叉長範圍為 137-271 cm，平均尾叉長為  $232.6 \pm 21.0$  cm (Fig. 4)；雌魚的尾叉長範圍則為 143-260 cm，平均尾叉長為  $225.3 \pm 21.5$  cm (Fig. 4)。體長的組成範圍並非常態分佈，230-250 cm 尾叉長的個體數較多，共有 337 隻個體，而 180 cm 以下的個體則很少，只有 16 隻個體。

#### 3.2 體長體重關係式

379 尾雄魚的體重範圍為 58-435 kg，平均體重為  $268.8 \pm 68.0$  kg；309 尾雌魚的體重範圍則為 74-363 kg，平均體重為  $236.6 \pm 65.4$  kg。將雄、雌魚的體長體重分別套入前述的方程式中，得到兩者的體長體重關係式如下：

$$DW_{male} = 2.011 \times 10^{-5} \times FL_{male}^{3.006} (r^2 = 0.894)$$

$$DW_{female} = 2.484 \times 10^{-5} \times FL_{female}^{2.960} (r^2 = 0.893)$$

得到不同性別的黑鮪體長體重關係 (Fig. 5) 後，也利用 Likelihood ratio test 比較雌雄魚的體長體重關係是否相同，結果顯示兩者的關係是有差異的 ( $\chi^2 = 18.22$ ,  $d.f. = 1$ ,  $P < 0.001$ )，根據關係式，在相同的體長狀況下，雄魚的體重會比雌魚來

得重。



### 3.3 耳石年齡判讀精確度

所採集耳石的 688 尾太平洋黑鮪中，有 5 尾個體的耳石在製備樣本的過程中損壞，故實際得到的年齡資料為 683 尾個體的資料。計算第一次和第二次年齡判讀的平均百分誤差 (Average percent error, APE) 與變異係數 (Coefficient of variation, CV)，結果如 Table 2 所示，兩次判讀所得的平均 APE 和 CV 分別為 0.74 % 與 1.05 %。依據兩次判讀的結果，683 個樣本中，有 551 個樣本兩次判讀的結果一致，佔 80.7 %；而有 121 個樣本兩次判讀的結果只差一歲，佔 17.7 %，顯示這兩次的判讀差異非常小，判讀結果的一致性也可從 Age-bias plot (Fig. 6) 中看出，兩次判讀的結果都分布在等值線上或左右兩側。另外在不同的判讀樣本製備上，APE 和 CV 的差異也非常小，利用二次包埋、Crystal bond 與 Permout 三種不同的封片方式的 APE 分別為 0.71 %、0.86 % 及 0.71 %；而 CV 則為 1.00 %、1.21 % 及 1.01 %，三者是差不多的，但利用 Crystal bond 封片所得的 APE 與 CV 有略高於其他兩種方式的 APE 與 CV。

與日本遠洋水產研究所的人員總共交換了 50 個耳石樣本，互相交換判讀的結果，平均 APE 與 CV 分別為 3.4 % 與 4.8 %，其中有 13 個樣本判別的結果完全一致 (Fig. 7)，28 個樣本判別結果只差一歲。而在這 50 個樣本中，本研究所判讀出的平均年齡為 17.2 歲，相較日方所判讀出的 16.8 歲，平均大了 0.4 歲，此外雙方年齡判讀差異的標準偏差 (Standard deviation, SD) 則為 1.16 歲。而經由 t test 檢定的結果 ( $P = 0.66$ ) 也顯示臺、日雙方在太平洋黑鮪的年齡判讀上，並無顯著差異。



### 3.4 年齡與成長

#### 3.4.1 年齡頻度組成

所採樣之 683 尾太平洋黑鮪個體的年齡範圍為 4-28 歲，平均年齡為  $15.0 \pm 5.0$  歲 (Fig. 8)，其中有 376 筆雄魚的資料、307 筆雌魚的資料，雄、雌魚的年齡範圍都為 4-28 歲，而平均年齡則分別為  $15.4 \pm 4.9$  歲與  $14.5 \pm 5.1$  歲 (Fig. 9)。由圖 (Fig. 8) 可看出年齡小於 6 歲與大於 24 歲的個體並不多，6 歲有 11 尾個體，小於 5 歲與大於 24 歲的不同歲數之個體皆小於 10 尾，而採樣最多的是 16 歲的個體，一共有 80 尾，其次由圖也可看出整個採樣有 2 個峰值，集中於 7-9 歲與 16-18 歲，7-9 歲的個體有 115 尾；而 16-18 歲則有 197 尾。

在不同的採樣年份中，所採集到的個體之年齡範圍有所差異，根據不同採集年份的個體之年齡頻度分布圖 (Fig. 10)，2011 年有 170 尾個體，年齡的範圍為 7-24 歲，平均為  $14.7 \pm 4.1$  歲；2012 年有 168 尾個體，年齡的範圍為 4-28 歲，平均為  $15.7 \pm 5.0$  歲；2013 年有 245 尾個體，年齡的範圍為 4-27 歲，平均為  $15.4 \pm 5.2$  歲；2014 年有 100 尾個體，年齡的範圍為 5-28 歲，平均為  $13.2 \pm 5.8$  歲。

另外若以兩不同港口所採樣的黑鮪分開來比較，採集自南方澳漁港的黑鮪共 389 尾，有 2 尾沒有年齡資料，平均年齡為  $13.4 \pm 5.2$  歲；而採集自東港的黑鮪個體則有 299 尾，有 3 尾沒有年齡資料，平均年齡為  $17.1 \pm 3.9$  歲。以 t test 來比較兩港口所採樣的黑鮪之年齡是否有差異，結果顯示兩港口之黑鮪年齡有顯著性差異 ( $P < 0.001$ )。來自東港的黑鮪個體其平均年齡大於來自南方澳漁港的黑鮪個體。



### 3.4.2 年齡長度關係 (Age-Length Key)

根據 2011-2014 年採樣的太平洋黑鮪之尾叉長，以每 10 cm 為一間隔，搭配判讀出的年齡資料建製 Age-Length Key，一共有 673 對資料，結果如 Table 3 所示，此 Age-Length Key 涵蓋的年齡範圍為 4-28 歲，尾叉長缺乏 < 130 cm 的資料，包含的最大尾叉長到 270-280 cm 組別。港口觀察員所量測的太平洋黑鮪尾叉長資料始於 2002 年，所量測的個體數以 2003 年最少，只有 266 尾，其次是 2005 和 2012 年的 612 尾與 684 尾，共有 6 年的資料少於 1000 尾，分別是 2003、2005、2006、2008、2011、2012 年，其餘年份皆量測超過 1000 尾以上的資料 (Figs. 11, 12)。

以 Age-Length Key 推測臺灣於西北太平洋海域所捕獲之黑鮪年齡組成，結果如 Figs. 13, 14 所示，在 2002-2007 年這段時間內，各年的黑鮪漁獲年齡組成相似，這段時期中，8-10 歲的個體占最主要的比例，平均的捕獲年齡為 10-12 歲，但在 2007 年後，黑鮪漁獲年齡組成開始慢慢產生變化，透過 Figs. 13, 14 可看出，利用本研究的 Age-Length Key 所得的結果在 2008 年後慢慢出現另一個峰值，為 16-18 歲的年級群，在 2010 年後正式取代原本 8-10 歲的峰值，成為最主要的捕獲對象，2011-2013 年的平均捕獲年齡也因此上升到 16-17 歲。故利用本研究所建構的 Age-Length Key，發現近年來臺灣所捕的太平洋黑鮪個體有年齡越來越大的趨勢。但 2014 的年度資料則顯示，黑鮪平均捕獲的年齡又稍微下降至 14.6 歲，與 2008-2013 年的趨勢有一些不同，此外在捕獲年齡比例的部分，除了原先顯著的 16-18 歲的年級群，7-9 歲的年級群也佔了不小的比例，顯示我國漁業在 2014 年可能增加了較小個體的漁獲量。

### 3.4.3 成長方程式

使用 von Bertalanffy growth equation 套入所採樣的太平洋黑鮪之尾叉長與

對應年齡，了解其成長情形，並將不同性別（雄魚 376 尾，雌魚 302 尾）分開套適成長方程式 (Fig. 15)，所得的結果如下：

$$L_{t_{male}} = 249.0 \times (1 - e^{-0.179(t+1.383)})$$

$$L_{t_{female}} = 246.8 \times (1 - e^{-0.170(t+1.975)})$$

得到不同性別的結果後，經由 Likelihood ratio test 檢定雌、雄魚的成長曲線是否有差異，得知在成長方程式中，雌、雄魚的成長情形有差異存在 ( $\chi^2 = 10.61, d.f. = 3, P = 0.014$ )，再經由 Kimura (1980) 提出的方法進一步比較各個成長參數間是否有差異 (Table 4)，結果顯示，雌、雄魚只有在 k 值與  $t_0$  值有差異，但在極限體長 ( $L_\infty$ ) 的部分並無差異，而雖然雌、雄魚在 k 值和  $t_0$  值於統計上有差異，但差異並不大，分別為  $0.179 \text{ year}^{-1}$  與  $0.170 \text{ year}^{-1}$  與  $-1.383$  歲與  $-1.975$  歲。而為了方便與其它的研究比較，在此會將雌、雄魚資料的尾叉長與其對應年齡合併套入 von Bertalanffy growth equation 中 (Fig. 16)，得到的結果如下：

$$L_t = 249.0 \times (1 - e^{-0.179(t+1.383)})$$

結果指出， $L_\infty, k, t_0$  值分別為  $249.0 \text{ cm}, 0.179 \text{ year}^{-1}, -1.383$  歲，透過其成長方程式也可了解太平洋黑鮪的成長速度在初期非常快，5 歲前的尾叉長就可以超過  $150 \text{ cm}$ ，10 歲時的尾叉長也達  $200 \text{ cm}$  以上，但隨著年齡漸長，其成長速度也會越來越慢，利用方程式所預測的極限體長為  $250 \text{ cm}$  左右。

此外，因本實驗所建構的 Age-Length Key 是使用 2011-2014 年，共四年的資料合併而成，不同年間的太平洋黑鮪若成長狀況有差異，可能會影響 Age-Length



Key 的準確性。因此將四年的資料分開套適 von Bertalanffy growth equation，藉此得到不同年間的成長參數，並用成長表現係數 (growth performance index)：Phi-prime ( $\Phi'$ ) (Pauly and Munro 1984)來比較這四年的成長狀況， $\Phi'$ 的公式如下所示：

$$\Phi' = \log_{10}k + 2\log_{10}L_{\infty}$$

結果如 Table 5 所示，四年的  $\Phi'$  值差異不大，各年的黑鮪成長差異很小，顯示本研究用來建立 Age-Length Key 的資料並不會受不同年份的成長差異影響，導致有誤差存在。除了使用  $\Phi'$  值來比較各年成長差異外，此部分也利用 bootstrapping 的方式來重複採樣不同年的樣本，每年皆重複採樣 1000 次，並使用重複採樣的數值來套適成長方程式，四年分別 bootstrapping 之結果如 Table 6 所示，四年分別所得之 95 % 信賴區間的  $L_{\infty}$  值、k 值與  $t_0$  值皆有重疊，此結果也指出太平洋黑鮪四年的成長並無差異。

### 3.5 判別分析結果

利用 Shiao et al. (2010) 的資料，以其中 34 尾個體來建立判別函數 (Table 7)，並在分析的過程中，使用 Statistica 7.0 比較 3 種不同的方式來建立判別函數 (Table 8)，第一種是把太平洋黑鮪耳石距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  內所測得的最大穩定性氧同位素數值 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ ) 及其對應的碳同位素數值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ ) 一併拿來當參數，利用此方式的判別成功率可達 100 %；第二種與第三種方法則分別只利用穩定性氧同位素數值 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ ) 及穩定性碳同位素數值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ )，其判別成功率分別為 94.1 % 與 61.8 %，由此可知穩定性氧同位素相較於穩定性碳同位素，有較高的鑑別力，判別成功率高了 32.3 %，而且單用穩定性氧同位素數值與兩者一併使用時之判別成功率都高達九成以上，顯示以這兩種不同的判別函數所得之判別結果相當可靠，故會同時利用兩種不同的判別函數，來判別未知的耳石標本可能來

自哪一個產卵場。



此外  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  由耳石核心到邊緣的變化情形隨樣本不同有所差異，但  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  大致上會在距離核心 1000-1500  $\mu\text{m}$  左右處出現其最大值，而  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  值則越靠近邊緣越大。

本研究進行分析的未知樣本共 30 個，同時利用距耳石核心 800-1000  $\mu\text{m}$  的最高  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  值與對應的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  值所得的判別分析結果 (Table 9, Fig. 17) 顯示，有 23 個樣本來自黑潮流域產卵場，而有 7 個則來自日本海內的產卵場，使用 QDFA 也得到相同的結果 (Table 11)；而只使用  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  所得的判別分析結果則有所不同 (Table 10)，判別為黑潮流域產卵場的樣本有 25 個，來自日本海內的產卵場只剩 5 個。雖然利用兩判別函數所得的結果有所不同，但由兩結果都可看出，大部分臺灣所漁獲的個體都是來自黑潮流域的產卵場，而來自日本海產卵場的個體所佔的比例則較低。

## 第四章、討論



### 4.1 雌雄黑鮪體長與體重關係之比較

根據過去的研究，母魚的體重與其孕卵數 (Fecundity) 有高度的正相關 (Tsai and Gibson 1971)，故一般而言，性成熟後，在相同尾叉長狀況下，若母魚的體重比公魚來得重，則有利於母魚產下更多卵，提高後代數量，但根據本研究的結果顯示，在相同的尾叉長下，公魚的體重比母魚的體重來得重，與此假設並不符合，推測可能的原因是我們所使用的體重資料並非魚體的全重 (Round weight) 所致，本研究所使用的黑鮪體重資料為 Dressed weight，為魚體去除掉臟器與生殖腺後的體重，假設母魚投入較多的能量到生殖腺的發育，那麼母魚在被捕獲處理時，被移除部分則會佔較多相對於體重的比例，這有可能就是造成在相同的尾叉長下，公魚的體重比母魚的體重來得重的主因，另外一個可能的原因是臺灣捕捉的對象為繁殖期間的個體，公母魚在這段時間內會投入能量到生殖中，但產生精子所消耗的能量遠比產生卵子來得少，故母魚在這段期間體重可能會降低，造成其體重在相同的尾叉長情況下比公魚輕 (Craig 1977, Chen et al. 2006)。

### 4.2 耳石切片製備方式與年齡判讀精確度

本研究利用三種方式來製備讀輪所需的耳石切片樣本，分別使用環氧樹脂二次包埋耳石切片，使用 Crystal bond 來對耳石切片進行封片與利用 Permout 來進行封片三種不同的方式。雖然這三種方式所呈現的判讀一致性都很高 (平均 APE 與 CV 分別為 0.71 %、0.86 %，0.71 % 及 1.00 %、1.21 % 和 1.01 %)，但不同方式還是存在一些差異，若把三種方式拿來比較，使用 Crystal bond 來對耳石切片進行封片的年輪判讀結果較不一致，其平均 APE 與 CV 較大，可能與利用 Crystal bond 來封片的過程有關係，在使用 Crystal bond 之前必須先加熱至 200°C 左右的

高溫使之變為熔融狀態方可進行封片的動作，但由於耳石切片的厚度非常地薄，在此溫度下常會受熱而捲曲，同時產生許多小泡泡，影響耳石上的年輪判讀 (Fig. 18)，而利用二次包埋與 Permout 封片的平均 APE 與 CV 都較小且差異很小，但若未來要再進行相關的研究，會建議使用 Permout 封片的方式。因為二次包埋所花費的時間較長、步驟也較多，更重要的是無法再將耳石切片取出，若要利用此耳石切片做其他的研究則沒辦法進行；相較二次包埋的方式，利用 Permout 來封片所花費的時間少許多，另外也可使用二甲苯 (Xylene) 溶掉 Permout，把封在其中的切片取出，若要進行其他的研究也較為方便。

本研究整體的年輪判別結果，平均 APE 為 0.74 %，根據前人研究，大洋表層洄游性魚類的年齡判讀，平均 APE 在 10 % 內都是可以接受的 (Campana et al. 1995)，而其值比起利用耳石判讀其他鮪類也來得小許多，如南方黑鮪 (*Thunnus maccoyii*) 的年齡判讀所得的平均 APE 為 3.98 % 和 2.59 % (Farley et al. 2007, Gunn et al. 2008)、大目鮪 (*Thunnus obesus*) 為 5.98 % (Farley et al. 2006)，會造成這樣的差異有可能是因為耳石上的暗帶 (opaque zones) 隨物種不同，可讀性也會有所差異 (Farley et al. 2006)，另外研究人員的讀輪技巧也是影響年輪判讀的重要因素之一 (Gunn et al. 2008)。

而過去在太平洋黑鮪年齡判讀手冊發表以前，Shimose et al. (2009) 也曾利用太平洋黑鮪的耳石進行年齡判讀，所得的平均 APE 與 CV 為 4.51 % 以及 6.38 %，其值相較於本研究的結果 (APE = 0.74 %，CV = 1.05 %) 來得高一些，而本研究的平均 APE 與 CV 值會比過去研究來得小，可能因為我們曾在 2013 年赴日本參加 ISC 所舉辦的工作會議 (Pacific Bluefin and North Pacific Albacore Tuna Age Determination Workshop)，與各國學者在會議中討論並取得共識，依據討論所得之作法來進行判讀，使太平洋黑鮪耳石讀輪的差異性盡量降低，而本研究是在會後所進行的，讀輪的一致性也如預期的降低了。



為了使未來可以與日本的太平洋黑鮪相關研究進行比較，臺、日雙方同意以交換耳石判讀的方式來了解彼此的讀輪結果是否有差異性存在，我們總共隨機挑選了 50 個樣本的照片，給予日本遠洋水產研究所的人員進行年齡判讀，互相交換判讀的平均 APE 與 CV 分別為 3.4 % 與 4.8 %，結果顯示臺、日雙方在太平洋黑鮪耳石的年齡認定上一致性很高。另外在本研究進行的期間，隸屬日本遠洋水產研究所的 Taiki Ishihara 博士也在 2014 年 11 月 20-27 日來我們的研究室拜訪，共同討論交換判讀太平洋黑鮪耳石年輪判讀的結果，並提供許多日方判讀的經驗與訊息，此舉也有助於降低臺、日雙方判讀的差異性，期望未來能繼續透過合作，持續提高雙方對於黑鮪年齡判讀的一致性。

### 4.3 年齡與成長

本研究以太平洋黑鮪耳石定齡的技術來探討臺灣所捕獲的黑鮪年紀組成，結果顯示臺灣漁業利用的黑鮪對象都是較大的個體，年紀最大的是 28 歲的個體，而最年輕的個體為 4 歲，在 688 尾的採樣中僅發現 3 尾，而這些資料也可代表太平洋產卵族群之年齡組成，因為這些個體都是在西北太平洋的產卵場內所捕獲，捕獲的時間也剛好是牠們的生殖期間。過去透過養殖、性腺發育程度等方式了解太平洋黑鮪的初次性成熟年紀都約為 5-6 歲 (Hirota et al. 1976, Kumai 1998)，但根據本次研究的採樣發現，太平洋黑鮪最早的性成熟可能提早到 4 歲，但樣本數只有 3 隻，代表性可能不足，而 5-6 歲的個體加起來則有 20 隻，與前人研究的結果一致。

本研究的  $L_{\infty}$  值與  $k$  值為 249.0 cm 與  $0.179 \text{ year}^{-1}$ ，與 Shimose et al. (2009) 的研究之  $L_{\infty}$  值與  $K$  值，249.6 cm 以及  $0.173 \text{ year}^{-1}$  幾乎完全一致。而兩研究主要的差異存在於  $t_0$  值的部分，本研究所得的  $t_0$  值為 -1.383 歲，而他們研究所得的  $t_0$  值則為 -0.254 歲，會產生這種差異有可能的原因是 Shimose et al. (2009) 的研究中有利用到 1-3 歲的個體來套適成長方程式，但本研究則無，而在本研究全部採樣

個體之年齡組成方面，年紀偏小及偏大的個體並不多，5 歲以下與 24 歲以上的個體皆不足 10 尾，6 歲的個體也只有 11 尾，缺乏年紀較小的個體可能會導致在套適成長方程式 (von Bertalanffy growth equation) 時，所得的成長參數  $t_0$  受到影響。由於我國漁業的特性是抓年齡較大的黑鮪成魚，較難取得較小歲數的個體，故未來希望可以透過國際間的交流，增加年齡較小個體的採集，讓整體的成長方程式可以更加完整。

#### 4.4 漁獲年齡組成的時間序列變化

我國於 2011 年前，並沒有藉由耳石定齡的方式來解析太平洋黑鮪的年齡組成，而過去對此魚種的資料蒐集，主要著重於體長以及重量，但在漁業管理上，了解漁獲年齡組成的變化是相當重要的工作，故本研究想利用本次樣本採集的年齡與對應之尾叉長資料構築 Age-Length Key，用以了解我國於西北太平洋海域所捕獲的太平洋黑鮪年齡組成變化，所使用的尾叉長資料為港口觀察員自 2002 年所量測的黑鮪尾叉長資料，這些資料基本上可代表當年度我國所有或是絕大部分的捕獲黑鮪個體尾叉長組成，只有 2002 年的資料筆數較少，可能是首次開始蒐集這類型的資料，導致量測的個體太少，只有 266 尾。

根據本研究建構的 Age-Length Key 所估計出的歷年太平洋黑鮪年齡組成，結果指出近年來我國所捕獲的黑鮪平均年齡有逐步上升的趨勢，在 2007 年以前，黑鮪的平均捕獲年齡為 10-12 歲，而主要漁獲的年級群為 8-10 歲的個體，但從 2008 年起，年紀較大的鮪魚所佔的捕獲比例開始上升，原本佔較大比例之 8-10 歲的年級群逐漸被 16-18 歲的年級群所取代，成為我國近年捕獲的黑鮪中最主要的個體，而近年來所捕獲的黑鮪平均年齡也上升到 16-17 歲。

但從過去的研究可知，漁業壓力造成資源量下降的同時，魚體的平均體長與年齡都會下降、性成熟的年齡也會越來越早 (Olsen et al. 2004)，但在臺灣的黑鮪



漁業卻是互相矛盾的，雖然太平洋黑鮪處在一個過漁的狀態，但其漁獲組成卻有年齡越來越大的趨勢，推測的主因可能為新入添 (recruit) 的年輕性成熟鮪魚逐年減少所致，而非性成熟大魚的數量增加。根據 ISC 於 2013 年會議中的報告<sup>3</sup>指出，現今的黑鮪產卵族群生物量 (SSB) 已接近歷史的低點 (3.6%)，而且近年來還持續下降中，報告中同時提到造成此現象的原因，與太平洋黑鮪幼魚的捕捉量過多有很大的關係，因為大量捕捉體型較小的未成熟個體可能造成未來加入生殖族群的個體數大幅下降。而各國漁獲的黑鮪年齡有所不同，日本和韓國主要的捕獲對象為年齡較小的個體，其中又以日本為最大宗，因其捕獲量占全球黑鮪總捕獲量的一半以上，故造成目前這種情況可能與日本的黑鮪漁業有關。以日本歷年使用曳繩釣 (troll fishery) 來捕捉太平洋黑鮪的捕獲量變化為例 (附錄 4)，在 1994 年後日本利用此漁法的捕獲量大幅提升，由於此法捕捉的對象為群游的幼鮪，大量捕捉此成長階段的鮪魚會使未來加入 SSB 的黑鮪數量減少，也因為缺乏新的個體加入 SSB，使現今的行生殖個體都是一群年紀較老的黑鮪族群。世界自然基金會 (World Wildlife Fund, WWF) 中西太平洋鮪魚計劃經理 Alfred Cook 在 2014 年也認為整個黑鮪族群數量，只剩下一小群年事已高的繁殖族群維繫著<sup>4</sup>，這個因素有可能正是造成臺灣所捕獲的成熟個體，其年齡較高的個體比例逐年增加之主因。

另外由不同的層面來看，近年來日本使用曳繩釣來捕捉鮪魚的捕獲量有下降的趨勢，2008 年時，此漁法還可以捕捉 2377 公噸的黑鮪，但到了 2012 年只剩下 570 公噸的產量，此現象也可看出近年來黑鮪 0<sup>+</sup> 歲幼魚入添量 (recruitment) 的下降，此外韓國與墨西哥自 2000 年後逐漸增加他們的黑鮪捕抓量 (附錄 1)，此舉可能也會導致我國所捕獲的黑鮪年齡組成變大，因為這兩國所捕獲的主要黑

---

<sup>3</sup> Plenary Session (2013) Report of thirteenth meeting of the International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean. 17-22 July, Busan, Republic of Korea

<sup>4</sup> 摘錄自環境資訊中心，<http://e-info.org.tw/node/103839>

鮪年齡都偏小，可能會造成小個體的數量減少，進而降低 SSB 以及生殖能力，最終則造成入添越來越低落，形成惡性循環。



而我國近海漁業對太平洋黑鮪的年齡組成改變影響則相對較小，我國主要使用的漁法為延繩釣，捕獲的主要對象是成熟的大型個體，捕撈此成長階段的黑鮪對其年齡組成改變並無太大影響，由 ISC 於 2014 年的評估報告可看出 (附錄 5)，對 SSB 影響較大的為沿近海的漁業種類；延繩釣對於 SSB 的影響非常小。另外由本次採樣的結果可知，我國主要捕獲的對象都是 4 歲以上的個體，漁業對此成長階段的黑鮪個體所造成的死亡率只有 0.1 左右 (附錄 6)，而漁業對黑鮪死亡率影響最大的階段為捕捉 0-2 歲的個體，漁獲死亡率 (Fishing mortality rate) 為 0.6-1.1，故臺灣的黑鮪漁業對黑鮪族群的年齡結構的影響不大。但日、韓等國，因捕獲對象為未成熟的小魚個體，對黑鮪的死亡率則會有較大的影響，加上太平洋黑鮪的幼魚自然死亡率本來就很高，故捕捉小魚對整個族群的年齡結構會造成較大的影響。根據以上的推測，各國間的漁業緊密相關，動一髮而牽全身，若欲達到太平洋黑鮪的永續利用，那麼各國必須嚴格遵守國際組織的規範，並積極落實漁業資料的整理，加強黑鮪相關的學術研究交流，才能保護這種洄游於太平洋海域的珍貴物種。

此外由我國歷年的太平洋黑鮪漁獲年齡組成 (Figs. 13, 14) 的觀察，會發現在 2002 年所佔最大捕獲比例的 8 歲個體，回推後是 1994 年所出生的同齡群 (cohort)，而此 cohort 所佔的比例在往後幾年都可以察覺其蹤跡。根據上述的觀察來推測，1994 年的 cohort 數量可能非常多，由本研究所採樣個體的不同年份之年齡頻度分布圖 (Fig. 10) 也可看出類似的結果，2014 年的採樣中，20 歲的個體佔最大比例，此 20 歲的年級群正是 1994 年所出生的 cohort，而 2011-2013 年的採樣中，1994 年的 cohort 所佔的比例雖然並非最高，但考量年齡判讀時會有誤差產生，由與日本學者的比較中得知，雙方年齡判讀差異的標準偏差為 1.16 歲，故本研



究使用  $\pm 1$  歲當作可能的年齡判讀誤差範圍，加上此範圍後，除了 2013 年外的所有不同年份之年齡組成，其 1994 年的 cohort 範圍都包含最高比例的年級群。造成非所有採樣年份皆可反映 1994 年的 cohort，可能是因為樣本數量的因素，4 年分開的採樣數量可能還是太少，造成無法完全反應該年度的實際漁獲年齡組成。而從日本使用曳繩釣來捕捉太平洋黑鮪的捕獲量變化 (附錄 4) 也可知，因此漁業主要捕獲的個體為 0<sup>+</sup> 與 1 歲的黑鮪 (Yamada et al. 2006)，1994 年時，日本利用此漁法的捕獲量突然大幅提升，其漁獲量遠高於 1993 年許多，有可能正是因為 1994 年的 cohort 的幼魚數量非常多所致。Yamada et al. (2006) 的研究中也指出，日本使用曳繩釣來捕獲黑鮪的單位努力捕獲量 (Catch per unit effort, CPUE) 在 1994 年突然升高，此結果也支持 1994 所出生的黑鮪族群豐度 (abundance) 有較高的現象。以上結果都指出 1994 年的 cohort 非常的強，在歷年的漁獲年齡組成中，都可看到這個 cohort 佔重要的比例，由此也可得知，若有強的 cohort 發生，對黑鮪漁業助益非常大。故在管理上不僅要減少幼魚的捕獲量，更要期望強的 cohort 發生，讓 SSB 可以回歸正常的狀態。

雖然近年來我國所漁獲的黑鮪個體有年齡逐漸上升的趨勢，但在 2014 年的資料則與前幾年有不同的結果。該年度所漁獲的黑鮪平均年齡由 2011-2013 年的 16-17 歲，稍微下降至 14.6 歲，而且也可看出 7-9 歲的個體所佔的比例有提升的現象，由此可知，我國在 2014 年增加了許多較小年齡個體的捕獲量。造成此現象發生可能與我國漁場範圍改變有關，我國於 2013 年 4 月 10 日與日本簽訂臺日漁業協議，增加了釣魚台附近海域的漁場 (附錄 7)，根據前人研究，太平洋黑尾的捕獲體型與年齡會隨緯度而有差異 (Itoh 2006)，2013 年後增加較北的漁場可能會使我國捕獲年齡較小比例的個體增加，故平均年齡才會有下降的現象。而黑鮪年齡與緯度間的關係也可由本次採樣的結果得知，緯度較高的南方澳漁港其捕獲的黑鮪年齡較緯度較低的東港漁港所捕獲的個體來得小，分別是  $13.4 \pm 5.2$  歲與  $17.1 \pm 3.9$  歲，所以以本次採樣的結果也支持以上的推測，可見漁場的改變

對我國黑鮪漁獲的年齡組成也會造成影響。



而本研究所建構的 Age-Length Key 有其限制，只能從 130-140 cm 的尾叉長個體開始轉換其年齡，但在最大能解釋的體長方面，本研究所構築的 Age-Length Key 則可轉換到 270-280 cm 區間的個體，未來若要繼續利用 Age-Length Key 來得到太平洋黑鮪的漁獲年齡組成，必須採集更多樣本，若臺灣無法得到小個體的鮪魚體長資料與耳石，可考慮透過購買或國際間的合作，讓採樣的體長範圍多元化，使之能涵蓋所有的長度範圍，增加此法估計年齡組成的可靠度與準確性。

#### 4.5 太平洋黑鮪的來源

利用耳石距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  內所測得的最大穩定性碳氧同位素數值，拿來當參數所建立的判別函數之判別結果，與只利用穩定性氧同位素數值所建立的判別函數的判別結果有差異，有 2 個樣本所判別出之產卵場不同，分別為 SO-4 與 TK-5，但觀察其核心到邊緣的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化 (Figs. 19-26)，若是來自黑潮流域產卵場的個體，距離核心 1500  $\mu\text{m}$  左右處才會出現  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  的最大值，根據 Shiao et al. (2010) 的研究 (附錄 6)，若是來自日本海內產卵場的個體，其  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  的最大值會出現在距核心 1000  $\mu\text{m}$  左右，而非 1500  $\mu\text{m}$ ，故依據  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  的變化，這兩個個體應該是來自黑潮流域產卵場的個體。造成在利用碳氧同位素數值所建立的判別函數中，這兩個樣本被判別至日本海產卵場的因素應該是受到  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  的影響，在判別兩產卵場的不同時，主要是利用出生後遇到第一個冬天的時間差異，根據前人的研究，這兩處產卵場所產出的個體，由於孵化時間不同，來自黑潮流域產卵場的個體會花較長的時間才會遇到牠們的第一個冬天，而從日本海內孵化的個體相較而言，較快遭遇他們的第一個冬天，而太平洋黑鮪耳石內的穩定性氧同位素可反映周遭水溫 (Kitagawa et al. 2013)，其與溫度為反比的關係，故可以利用耳石內，穩定性氧同位素數值急遽上升的區段來判斷此個體甚麼時候處在水溫急遽下降 (冬天) 的環境中，所以  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  是我們主要的判別依據，而非

$\delta^{13}\text{C}_{\text{Otolith}}$ ，但同時利用兩變數時，兩者會共同影響判別結果，故未來建立判別函數以分辨黑鮪來源時，建議只利用距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  處的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Otolith}}$  值來建立判別函數，如此一來便可不受  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Otolith}}$  的影響。此外根據 Table 7，我們也可看出  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Otolith}}$  的判別力不佳，加入  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Otolith}}$  來建立判別函數可能對實際結果會有影響，原因可能與  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Otolith}}$  受到許多生理與環境因素的影響有關，造成其較無判別力， $\delta^{13}\text{C}_{\text{Otolith}}$  對黑鮪不同產卵場較無判斷力的現象在 Rooker et al. (2014) 的研究中也曾被提及。魚體耳石內的穩定性碳同位素主要則與水中的溶解無機碳 (dissolved inorganic carbon, DIC) 有關 (Solomon et al. 2006, Weidel et al. 2007)，但海水中的溶解無機碳之穩定性碳同位素數值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) 在日本海與黑潮流域中差異並不大 (Itou et al. 2003, Bostock et al. 2010)，另外有些人也認為耳石內的穩定性碳同位素與新陳代謝 (Kalish 1991) 和食物 (Begg and Weidman 2001) 等有關，有可能因為這些複雜的自然機制讓穩定性碳同位素不若穩定性氧同位素一般，具有同等的判別力。

而透過太平洋黑鮪耳石中穩定性氧同位素數值，我們得知臺灣所捕獲的黑鮪個體有 83.3 % (Table 11) 是孵化自黑潮流域的產卵場，其比例佔我國黑鮪漁獲的多數，這些個體在性成熟後會選擇在回到原本的出生地進行繁殖行為，這樣的現象被稱為 Natal homing。過去會行此行為的物種，廣為人知的例子有海龜 (Lohmann et al. 2008) 以及鮭魚 (Dittman and Quinn 1996)，另外一些魚類，如鯊魚 (Feldheim et al. 2002)、鱈魚 (Svedäng et al. 2007) 也有發現此種行為，而 Rooker et al. (2008b) 年也利用耳石內的穩定性碳氧同位素組成發現大西洋黑鮪也有 Natal homing 的行為 (Rooker et al. 2008b)，我們與前人的研究都指出不同的鮪類可能都會有 Natal homing 的行為。但並非所有耳石樣本都來自黑潮流域的產卵場，有一小部分 (16.7 %) 的個體可能是由日本海內的產卵場所孵化的，這個結果顯示兩處不同產卵場的個體仍屬同一個系群 (stock)，彼此間有生殖與基因交流的現象。過去以不同的分子標記，如 *Cytb*, control region，也指出遠在紐西蘭海域所捕獲



的個體與太平洋西北海域所捕獲的個體並無族群分化的現象 (Tseng and Smith 2012)。而在大西洋黑鮪的身上雖然有觀察到兩產卵場的個體互相交流的情形 (Fraile et al. 2014)，在鄰近地中海產卵場的比斯開灣 (Bay of Biscay) 內會發現來自墨西哥灣 (Gulf of Mexico) 產卵場的大西洋西側黑鮪個體，但所占的比例非常低，此外墨西哥灣內也會有來自地中海產卵場的個體 (Rooker et al. 2008a)，而利用大西洋黑鮪粒線體中的控制區序列基因 (mtDNA control region sequence) (Boustany et al. 2008)、微衛星 DNA (microsatellites) (Carlsson et al. 2007) 以及 SNP (single nucleotide polymorphisms) 等不同的分子標記都指出，來自兩處不同產卵場 (墨西哥灣和地中海) 的大西洋黑鮪具有族群分化的現象。距離的差異可能是造成太平洋黑鮪與大西洋黑鮪的族群交流現象不一的原因之一，大西洋黑鮪的兩處產卵場 (墨西哥灣與地中海) 相距約 10000 公里，距離非常遙遠，相較之下，太平洋黑鮪兩產卵場 (日本海與黑潮流域) 的距離近了許多，只有 2000 公里左右，故發生兩產卵場發生族群交流的現象會較頻繁，族群分化的情形也較不易產生，另外由前人研究得知，太平洋黑鮪有跨太平洋移動的能力 (Kitagawa et al. 2008)，雖然太平洋黑鮪會利用距離較短的亞北極鋒區 (Subarctic Frontal Zone, SFZ) 來橫跨太平洋，但距離仍約 8000 公里，這也證明，太平洋黑鮪具有優異的游泳能力，是有辦法巡遊於日本海與黑潮流域兩產卵場之間。

這樣的結果使我們在漁業管理上，應該更著重於黑潮流域產卵場的保護，因為我國主要的捕獲對象為此產卵場所孵化的個體，並應加強與日方黑鮪相關的資料交流，因為根據日齡判讀的方式，日本所捕抓的 0<sup>+</sup> 歲個體有大部分是黑潮流域產卵場所生出的個體 (76%) (Itoh 2009)，雙方共同努力，使入添的個體數增加，讓黑鮪這項資源可以永續利用。另外我們也不可以忽視來自日本海產卵場的個體，因為牠們也會洄游至臺灣附近海域進行生殖，對我國漁業有所貢獻。根據上述的結果，未來應持續收集更多樣本來分析，甚至可利用不同海域的太平洋黑鮪耳石樣本，藉此更精確地了解不同產卵場對我國太平洋黑鮪漁業的貢獻度，並了解不

同產卵場個體的洄游路徑。



#### 4.6 穩定性碳氧同位素分析之發現

由於穩定性同位素的分析部分並不只有分析太平洋黑鮪之耳石距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  的區間，是由核心到距離核心 2000  $\mu\text{m}$  的部分都有進行分析，故此部分的分析同時也得到了這一段距離的穩定性同位素的分析結果，結果指出，在穩定性氧同位素數值突然上升的區段，也就是原先假設冬天來臨，水溫驟降的區間，在耳石的結構上會出現改變 (Fig. 27)，會形成暗帶 (Opaque zone)，位置恰好就是太平洋黑鮪讀輪手冊中所說的第一歲 (第一個暗帶)。故根據觀察，手冊中提到的第一歲應該不是太平洋黑鮪滿足年的時間點，而有可能是其遭遇第一個冬天的時間點。另外 Shimose et al. (2009) 的研究中有提到，太平洋黑鮪的年輪形成與繁殖行為有關，透過耳石的邊緣分析，其年輪一年形成一年，形成的時間為黑鮪的繁殖期間，但並非所有年級群的個體都有驗證其年輪的形成與繁殖有關，而前人的研究指出，魚類耳石年輪形成的原因可能與溫度改變、繁殖行為和食物供給有關 (Beckman 1995)，而黑鮪在一定年紀後會具有維持腦部與身體肌肉高於環境水溫的能力 (Kitagawa et al. 2007, Shiels et al. 2011)。故太平洋黑鮪耳石中的第一個年輪可能與與溫度有關，未來可利用日輪 (Itoh et al. 2000) 或標示放流 (Tagging) 的方式來確認第一歲的年輪位置到底在哪裡，以確保利用耳石來判讀太平洋黑鮪年齡之準確性。

## 第五章、總結



透過本研究的採樣結果可知，我國所捕獲的個體為 4 歲以上的太平洋黑鮪成魚，利用太平洋黑鮪耳石的年輪判讀搭配其尾叉長所建製的 Age-Length Key，推測我國於西北太平洋海域所捕獲的黑鮪個體之歷年年齡組成，結果指出，近年來這些漁獲個體的年齡有逐漸增大的趨勢，顯示體型較小的性成熟黑鮪數量有逐年減少的情形，推測造成此現象的可能因素為各國漁業捕撈過多的小型年輕黑鮪，影響生殖族群的數量。另外，藉由耳石內的穩定性碳氧同位素分析，可得知於黑潮流域產卵場孵化的個體對我國黑鮪漁業貢獻比例較大，但我國漁獲來源也有少部分是孵化於日本海的產卵場，推測兩個產卵場的存在並未造成黑鮪的生殖隔離以及明顯的基因分化產生。根據上述結果，未來必須大幅減少黑鮪幼魚的捕獲量，並將來自不同產卵場的黑鮪個體視為同一個族群來管理，而若要更進一步的保育及永續利用此項資源，不僅需要蒐集更多的資料，更重要的是各國必須協調互助，因為捕捉黑鮪的國家有臺灣、日本、韓國、墨西哥與美國等國，雖然各國捕抓黑鮪的年齡層不一，數量也有差異，但卻會互相影響，故必須將不同國家的資料統整在一起，才有可能有效地管理這種洄游於太平洋中的珍貴魚種。

## 第六章、參考文獻

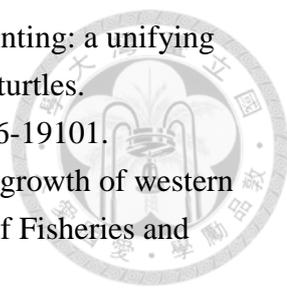


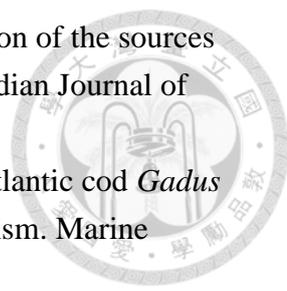
- Anonymous (2002) A manual for age determination of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*: otolith sampling, preparation and interpretation. Report of the Direct Age Estimation Workshop of the CCSBT 11-14 June 2002 Queenscliff, Australia.
- Aonuma Y, Suzuki N, Tanabe T, Ashida H (2008) Annual report of the maturity status of the bluefin tuna landed in the Ishigaki Island. 1-12.
- Bayliff WH (2001) Status of bluefin tuna in the Pacific Ocean. Inter-Amer Trop Tuna Comm, Stock Assess Rep 1:211-254.
- Beamish R, Fournier D (1981) A method for comparing the precision of a set of age determinations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 38:982-983.
- Beckman DW (1995) Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. Recent developments in fish otolith research 27-43.
- Begg GA, Weidman CR (2001) Stable  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  isotopes in otoliths of haddock *Melanogrammus aeglefinus* from the northwest Atlantic Ocean. Marine ecology Progress series 216:223-233.
- Bostock HC, Opdyke BN, Williams MJ (2010) Characterising the intermediate depth waters of the Pacific Ocean using  $\delta^{13}\text{C}$  and other geochemical tracers. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 57:847-859.
- Boustany AM, Reeb CA, Block BA (2008) Mitochondrial DNA and electronic tracking reveal population structure of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Marine Biology 156:13-24.
- Campana S (2001) Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. Journal of fish biology 59:197-242.
- Campana SE, Annand MC, McMillan JI (1995) Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. Transactions of the American Fisheries Society 124:131-138.
- Carlsson J, McDowell JR, Carlsson JE, Graves JE (2007) Genetic identity of YOY bluefin tuna from the eastern and western Atlantic spawning areas. Journal of Heredity 98:23-28.
- Casselman JM (1990) Growth and Relative Size of Calcified Structures of Fish. Transactions of the American Fisheries Society 119:673-688.
- Chen KS, Crone P, Hsu CC (2006) Reproductive biology of female Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* from south-western North Pacific Ocean. Fisheries

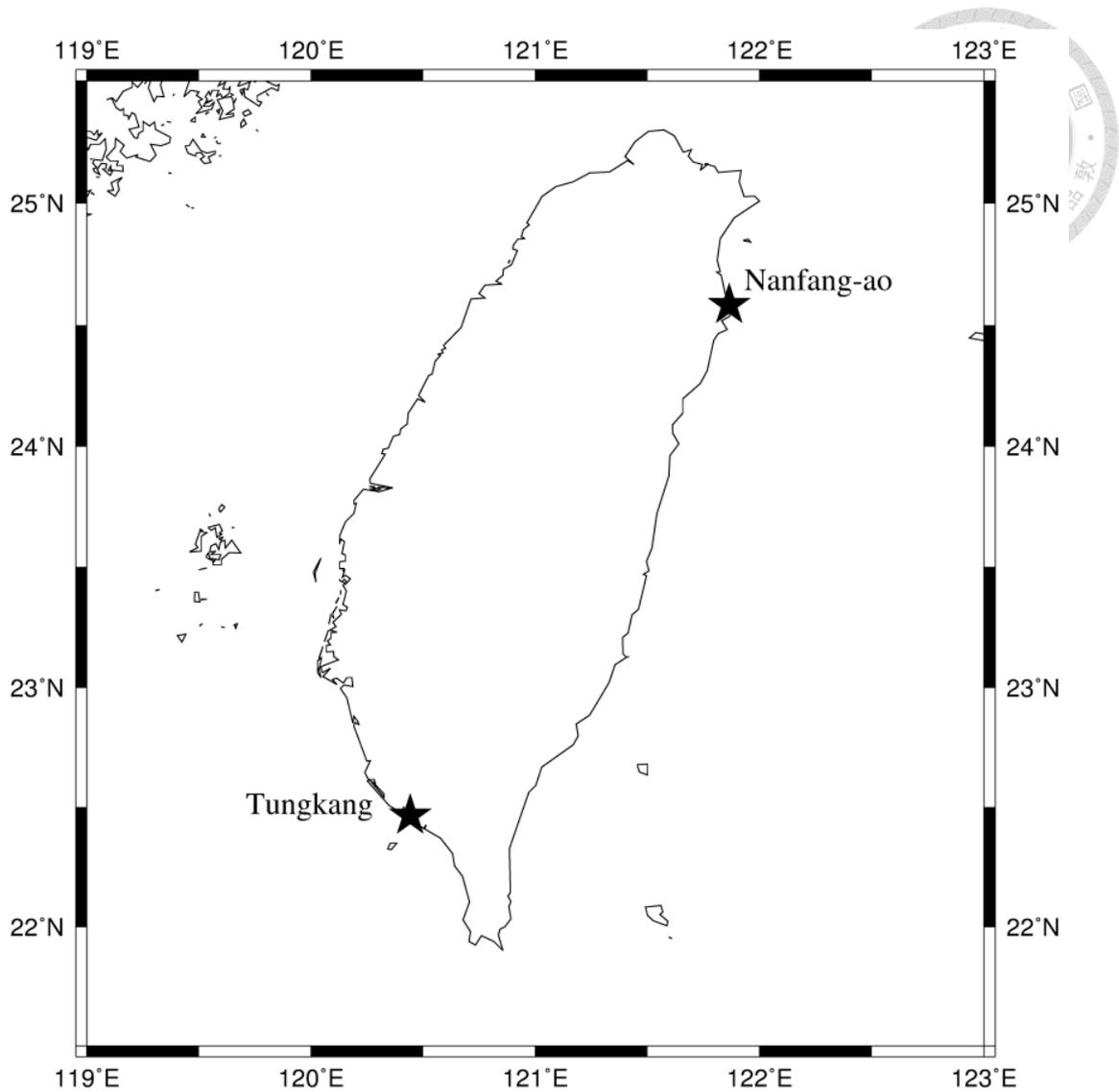
Science 72:985-994.

- Clear NP, Gunn JS, Rees AJ (2000) Direct validation of annual increments in the otoliths of juvenile southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, by means of a large-scale mark-recapture experiment with strontium chloride. Fishery bulletin 98:25-40.
- Clemens A, Flittner GA (1969) Bluefin tuna migrate across the Pacific Ocean. Calif Fish Game 55:132-135.
- Craig J (1977) The body composition of adult perch, *Perca fluviatilis* in Windermere, with reference to seasonal changes and reproduction. The Journal of Animal Ecology 617-632.
- Dittman A, Quinn T (1996) Homing in Pacific salmon: mechanisms and ecological basis. The Journal of Experimental Biology 199:83-91.
- Farley JH, Clear NP, Leroy B, Davis TL, McPherson G (2006) Age, growth and preliminary estimates of maturity of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Australian region. Marine and freshwater Research 57:713-724.
- Farley JH, Davis TL, Gunn JS, Clear NP, Preece AL (2007) Demographic patterns of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, as inferred from direct age data. Fisheries Research 83:151-161.
- Feldheim KA, Gruber SH, Ashley MV (2002) The breeding biology of lemon sharks at a tropical nursery lagoon. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences 269:1655-1661.
- Foreman TJ (1990) Giant bluefin tuna off southern California, with a new California size record. vol. 76, pp 181-186: CALIF FISH AND GAME EDITOR 1416 NINTH ST, SACRAMENTO, CA 95814.
- Fraile I, Arrizabalaga H, Rooker JR (2014) Origin of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Bay of Biscay. ICES Journal of Marine Science 72:625-634.
- Gunn JS, Clear NP, Carter TI, Rees AJ, Stanley CA, Farley JH, Kalish JM (2008) Age and growth in southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii* (Castelnau): Direct estimation from otoliths, scales and vertebrae. Fisheries Research 92:207-220.
- Høie H (2004) Temperature-dependent fractionation of stable oxygen isotopes in otoliths of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal of Marine Science 61:243-251.
- Hirota H, Morita M, Taniguchi N (1976) An instance of the maturation of 3 full years old bluefin tuna cultured in the floating net. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries.
- Hsu CC, Liu HC, Wu CL, Huang ST, Liao HK (2000) New information on age composition and length–weight relationship of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the southwestern North Pacific. Fisheries science 66:485-493.

- 
- Itoh T (2006) Sizes of adult bluefin tuna *Thunnus orientalis* in different areas of the western Pacific Ocean. *Fisheries Science* 72:53-62.
- Itoh T (2009) Contributions of different spawning seasons to the stock of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* estimated from otolith daily increments and catch-at-length data of age-0 fish. *Nippon Suisan Gakkaishi* (Japan).
- Itoh T, Shiina Y, Tsuji S, Endo F, Tezuka N (2000) Otolith daily increment formation in laboratory reared larval and juvenile bluefin tuna *Thunnus thynnus*. *Fisheries science* 66:834-839.
- Itoh T, Tsuji S, Nitta A (2003) Migration patterns of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. *Fishery Bulletin* 101:514-534.
- Ito M, Ono T, Noriki S (2003) Provenance of intermediate waters in the western North Pacific deduced from thermodynamic imprint on  $\delta^{13}\text{C}$  of DIC. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012) 108.
- Kalish J, Johnston J, Gunn J, Clear N (1996) Use of the bomb radiocarbon chronometer to determine age of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*. *Marine ecology progress series Oldendorf* 143:1-8.
- Kalish JM (1991)  $^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  isotopic disequilibria in fish otoliths: Metabolic and kinetic effects. *Marine ecology progress series Oldendorf* 75:191-203.
- Kimura DK (1980) Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish Bull(Seattle)* 77:765-776.
- Kitagawa T, Ishimura T, Uozato R, Shirai K, Amano Y, Shinoda A, Otake T, Tsunogai U, Kimura S (2013) Otolith  $\delta^{18}\text{O}$  of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* as an indicator of ambient water temperature. *Marine Ecology Progress Series* 481:199-209.
- Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H (2007) Why do young Pacific bluefin tuna repeatedly dive to depths through the thermocline? *Fisheries Science* 73:98-106.
- Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H, Nitta A, Sasai Y, Sasaki H (2008) Immature Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, utilizes cold waters in the Subarctic Frontal Zone for trans-Pacific migration. *Environmental Biology of Fishes* 84:193-196.
- Kumai H (1998) Reviews: The Japanese Society of Fisheries Science Awards-Studies on Bluefin Tuna Artificial Hatching, Rearing and Reproduction. *Nihon Suisan Gakkaishi* 64:601-605.
- Lamson HM, Shiao JC, Iizuka Y, Tzeng WN, Cairns DK (2006) Movement patterns of American eels (*Anguilla rostrata*) between salt- and freshwater in a coastal watershed, based on otolith microchemistry. *Marine Biology* 149:1567-1576.

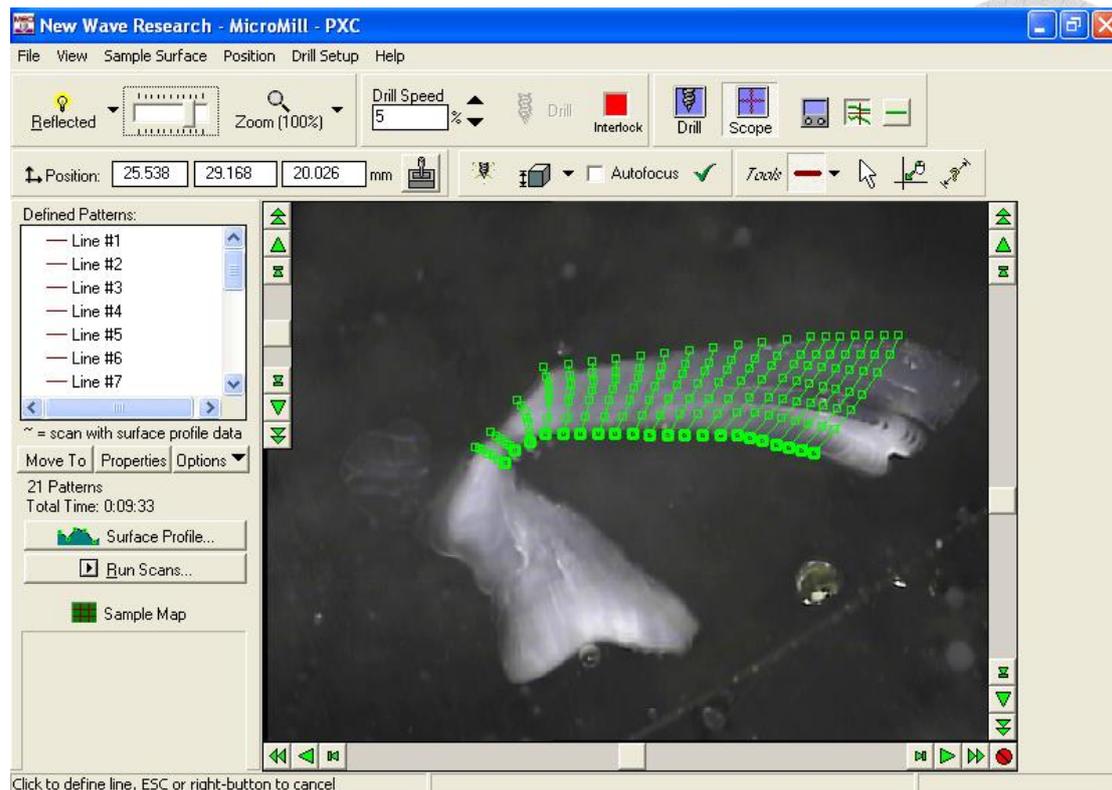
- 
- Lohmann KJ, Putman NF, Lohmann CM (2008) Geomagnetic imprinting: a unifying hypothesis of long-distance natal homing in salmon and sea turtles. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:19096-19101.
- Neilson JD, Campana SE (2008) A validated description of age and growth of western Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65:1523-1527.
- Olsen EM, Heino M, Lilly GR, Morgan MJ, Brattey J, Ernande B, Dieckmann U (2004) Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature* 428:932-935.
- Orange CJ, Fink BD (1963) Migration of a tagged bluefin tuna across the Pacific Ocean. *Calif Fish Game* 49:307-308.
- Pauly D, Munro J (1984) Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte* 2.
- Rooker JR, Secor DH, De Metrio G, Schloesser R, Block BA, Neilson JD (2008a) Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. *Science* 322:742-744.
- Rooker JR, Secor DH, DeMetrio G, Kaufman AJ, Ríos AB, Ticina V (2008b) Evidence of trans-Atlantic movement and natal homing of bluefin tuna from stable isotopes in otoliths. *Marine Ecology Progress Series* 368:231-239.
- Shiao JC, Ložys L, Iizuka Y, Tzeng WN (2006) Migratory patterns and contribution of stocking to the population of European eel in Lithuanian waters as indicated by otolith Sr:Ca ratios. *Journal of Fish Biology* 69:749-769.
- Shiao JC, Wang SW, Yokawa K, Ichinokawa M, Takeuchi Y, Chen YG, Shen CC (2010) Natal origin of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* inferred from otolith oxygen isotope composition. *Marine Ecology Progress Series* 420:207-219.
- Shiels HA, Di Maio A, Thompson S, Block BA (2011) Warm fish with cold hearts: thermal plasticity of excitation-contraction coupling in bluefin tuna. *Proceedings Biological sciences / The Royal Society* 278:18-27.
- Shih CL, Hsu CC, Chen CY (2014) First attempt to age yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the Indian Ocean, based on sectioned otoliths. *Fisheries Research* 149:19-23.
- Shimose T, Ishihara T (2015) A manual for age determination of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Bull Fish Res Agen* 40.
- Shimose T, Tanabe T, Chen KS, Hsu CC (2009) Age determination and growth of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, off Japan and Taiwan. *Fisheries Research* 100:134-139.
- Solomon CT, Weber PK, Cech J, Joseph J, Ingram BL, Conrad ME, Machavaram MV,

- 
- Pogodina AR, Franklin RL (2006) Experimental determination of the sources of otolith carbon and associated isotopic fractionation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63:79-89.
- Svedäng H, Righton D, Jonsson P (2007) Migratory behaviour of Atlantic cod *Gadus morhua*: natal homing is the prime stock-separating mechanism. *Marine Ecology Progress Series* 345:1-12.
- Tanaka Y, Mohri M, Yamada H (2007) Distribution, growth and hatch date of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* in the coastal area of the Sea of Japan. *Fisheries Science* 73:534-542.
- Tanaka Y, Satoh K, Iwahashi M, Yamada H (2006) Growth-dependent recruitment of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* in the northwestern Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 319:225-235.
- Tsai CF, Gibson GR (1971) Fecundity of the yellow perch, *Perca flavescens* Mitchill, in the Patuxent River, Maryland. *Chesapeake Science* 12:270-274.
- Tseng MC, Smith PJ (2012) Lack of genetic differentiation observed in Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) from Taiwanese and New Zealand waters using mitochondrial and nuclear DNA markers. *Marine and Freshwater Research* 63:198-209.
- Weidel BC, Ushikubo T, Carpenter SR, Kita NT, Cole JJ, Kitchell JF, Pace ML, Valley JW (2007) Diary of a bluegill (*Lepomis macrochirus*): daily  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  records in otoliths by ion microprobe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64:1641-1645.
- Wells RJD, Rooker JR, Itano DG (2012) Nursery origin of yellowfin tuna in the Hawaiian Islands. *Marine Ecology Progress Series* 461:187-196.
- Yamada H, Takagi N, Nishimura D (2006) Recruitment abundance index of Pacific bluefin tuna using fisheries data on juveniles. *Fisheries Science* 72:333-341.



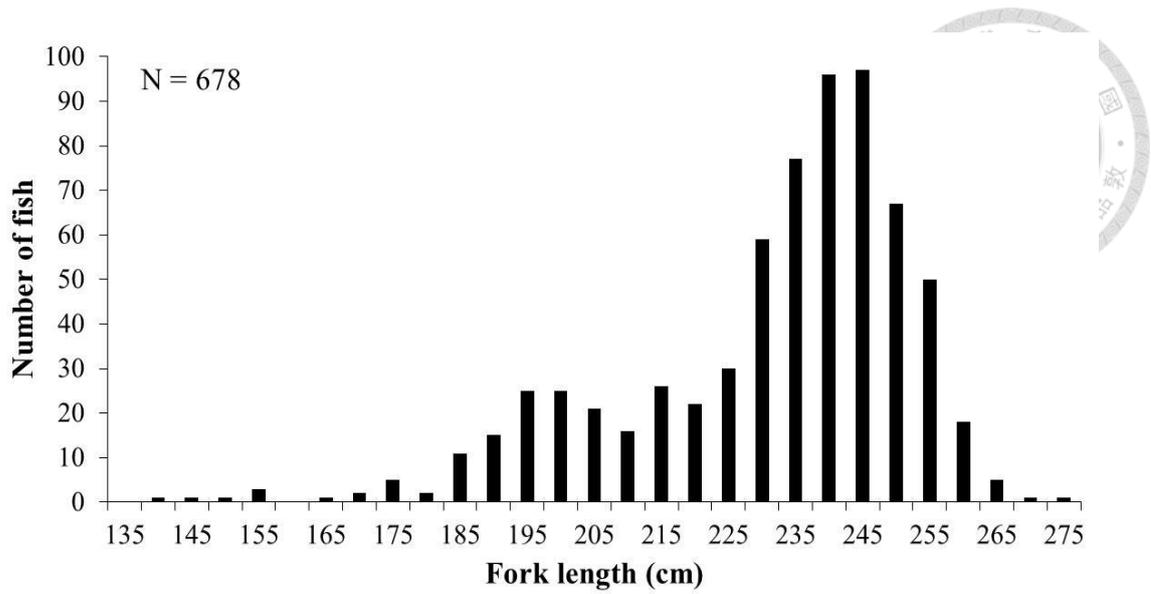
**Figure 1. 採樣地點 (東港與南方澳漁港)**

採樣地點為屏東的東港與宜蘭的南方澳漁港兩地，時間自 2011 年起到 2014 年，連續四年，總共採集了 688 尾太平洋黑鮪的耳石樣本。



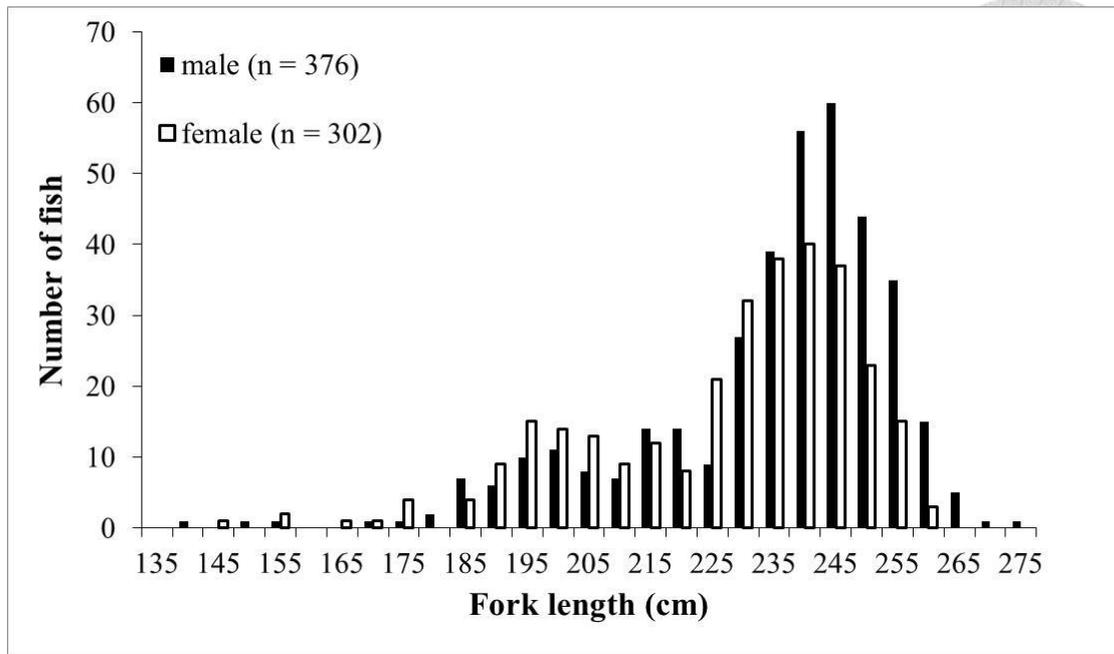
**Figure 2.** 微量刮取器刮取粉末時的介面

以電腦軟體界面控制微量刮取器 (Micromill)，沿著耳石上的成長輪紋規劃鑽頭刮取的路徑。



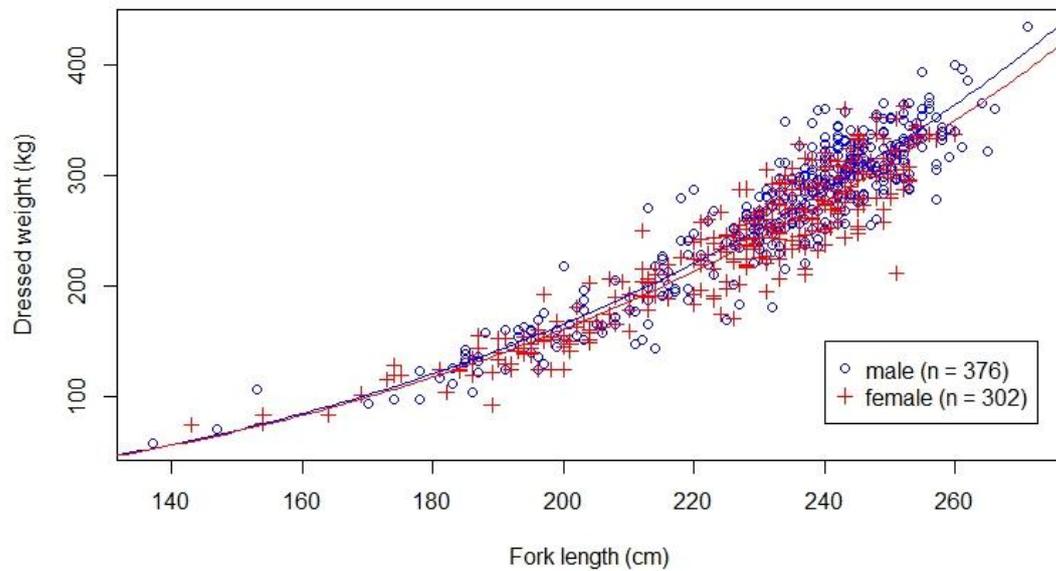
**Figure 3. 太平洋黑鮭之尾叉長頻度分布圖**

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮭之尾叉長頻度分布圖，總樣本數為 678 尾個體，尾叉長範圍為 137-271 cm，平均尾叉長為  $229.3 \pm 21.5$  cm。



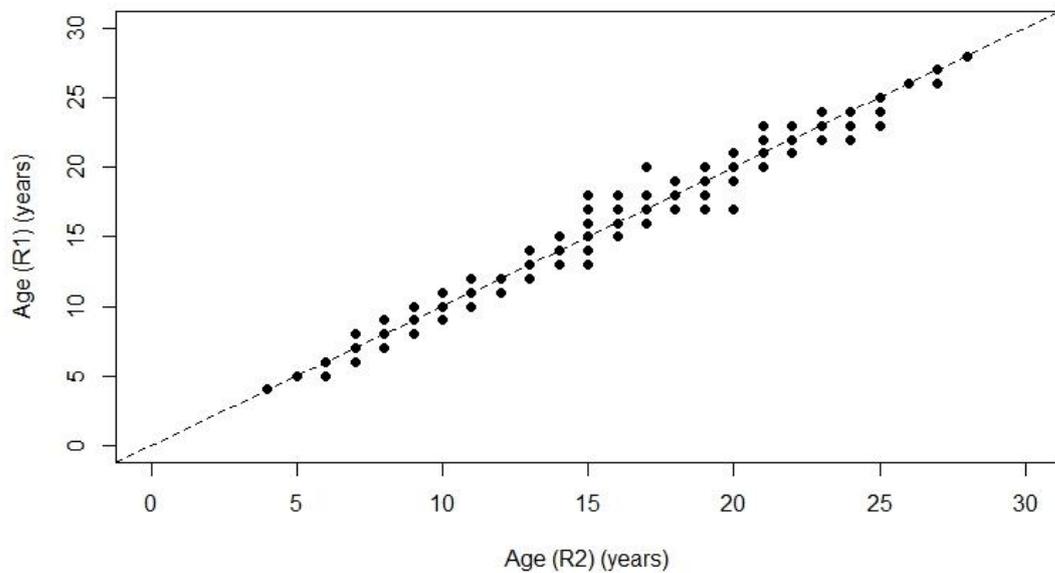
**Figure 4.** 不同性別之太平洋黑鮪尾叉長頻度分布圖

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮪公母魚之尾叉長頻度分布圖，公魚有 376 尾個體，尾叉長範圍為 137-271 cm，平均尾叉長為  $232.6 \pm 21.0$  cm；母魚則有 302 尾個體，尾叉長範圍為 143-260 cm，平均尾叉長為  $225.3 \pm 21.5$  cm。



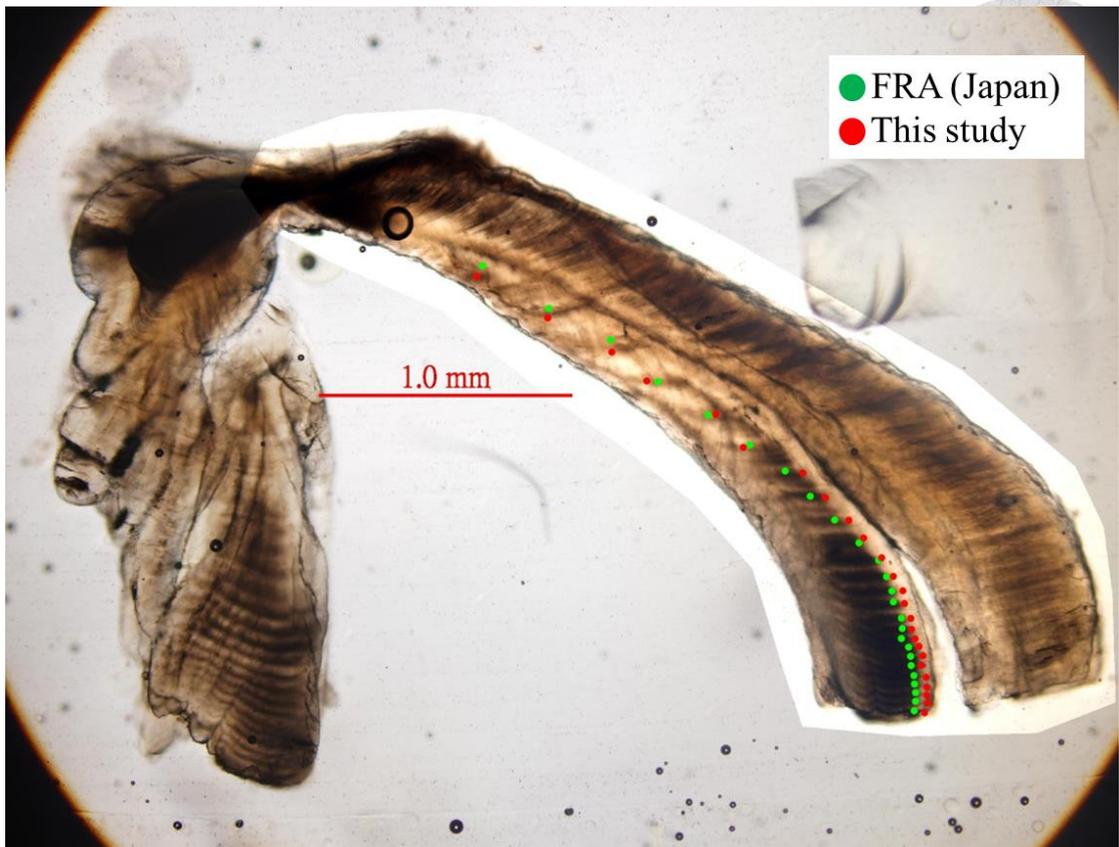
**Figure 5. 太平洋黑鮪公母魚之尾叉長 (FL)與體重 (DW)關係**

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮪公母魚之尾叉長 (FL) 與體重 (DW)關係，公魚有 376 尾個體，其尾叉長與體重之關係為  $DW_{\text{male}} = 2.011 \times 10^{-5} \times FL_{\text{male}}^{3.006}$  ( $r^2 = 0.894$ ); 母魚則有 302 尾個體，其尾叉長與體重之關係為  $DW_{\text{female}} = 2.484 \times 10^{-5} \times FL_{\text{female}}^{2.960}$  ( $r^2 = 0.893$ )。



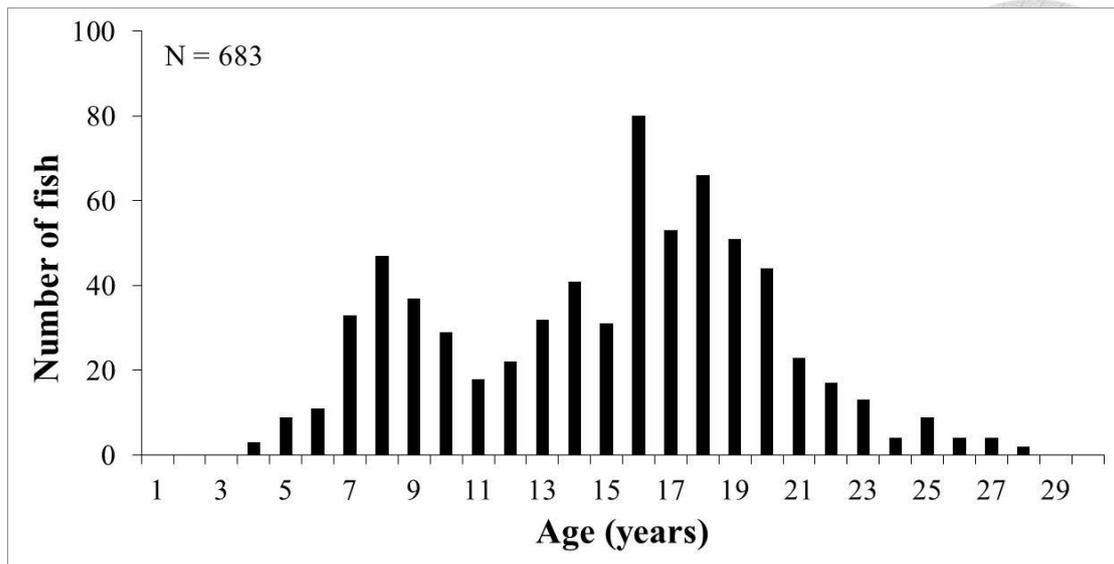
**Figure 6. 第一次與第二次年輪判讀結果比較圖**

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮭耳石樣本之兩次年輪判讀結果比較圖 (Age-bias plot)，縱軸的 R1 代表第一次年齡判讀的結果；橫軸的 R2 則為第二次年齡判讀的結果，共判讀了 683 尾個體的年齡。



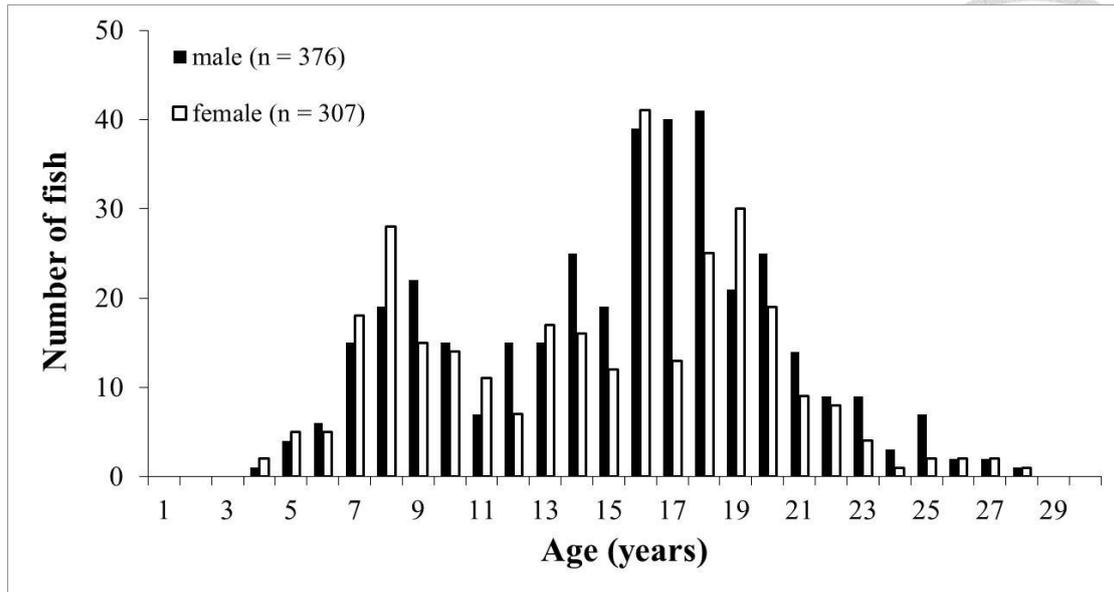
**Figure 7. 與日本學者判讀結果一致的樣本**

與日本遠洋水產研究所的人員交換判讀結果一致的樣本，此樣本標號為 2013-TK-38，判讀出的年齡為 25 歲。



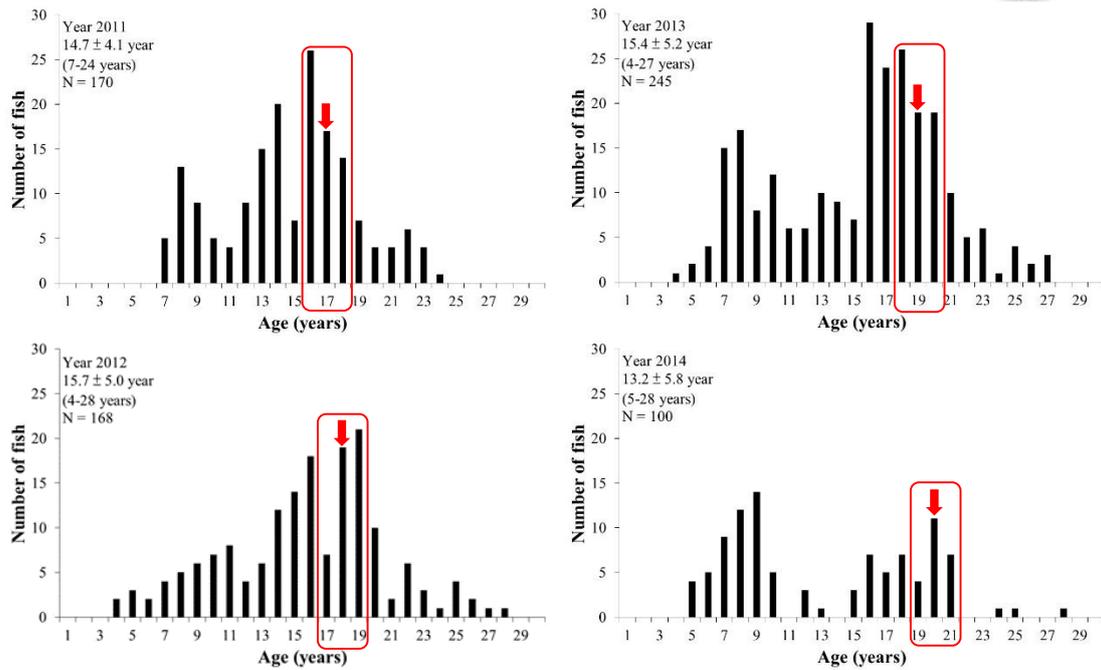
**Figure 8. 太平洋黑鮪年齡頻度分布圖**

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮪個體，根據其年齡判讀結果所得的年齡頻度分布圖，總樣本數為 683 尾個體，年齡的範圍為 4-28 歲，平均為  $15.0 \pm 5.0$  歲。



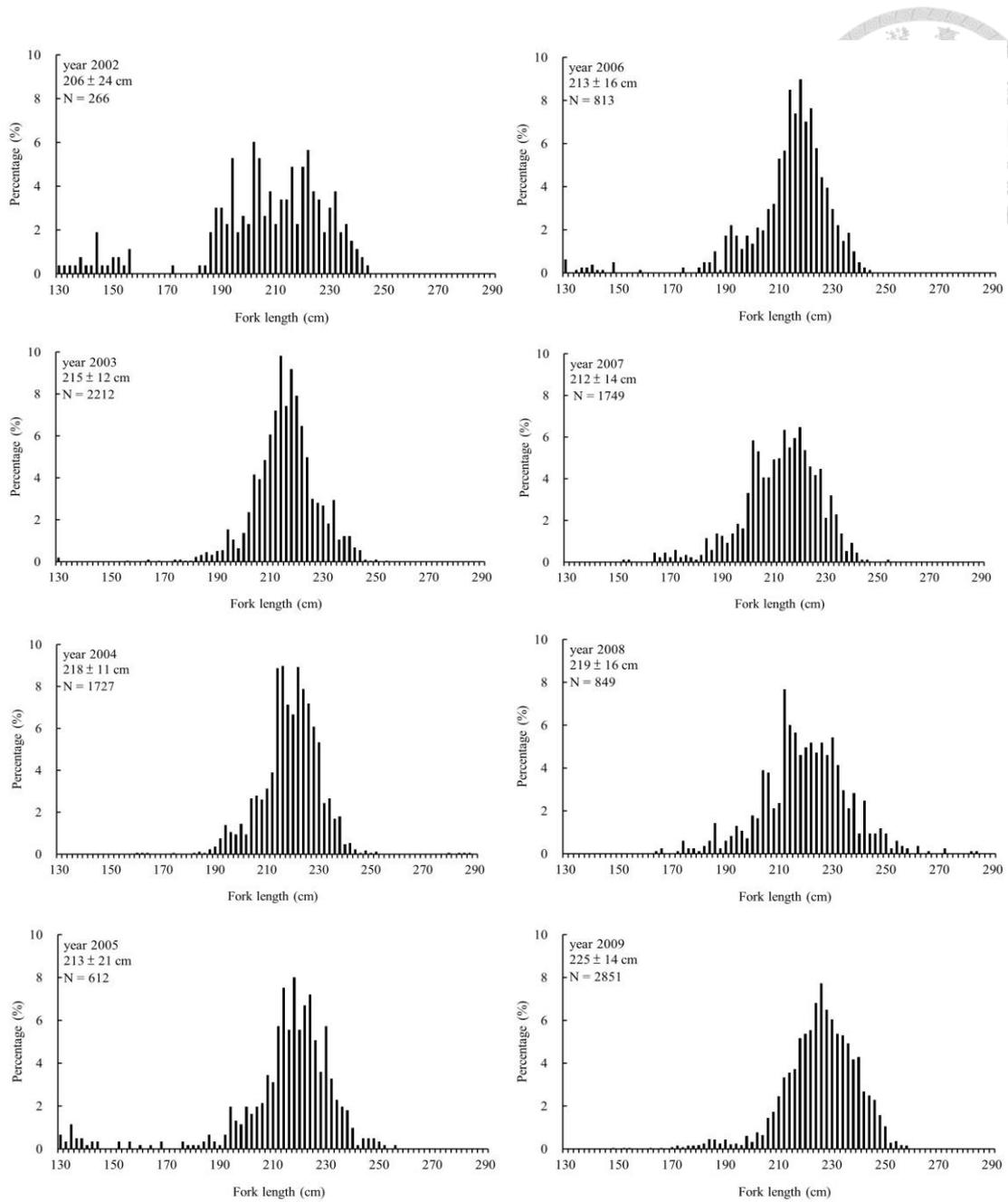
**Figure 9.** 不同性別之太平洋黑鮭年齡頻度分布圖

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮭個體，根據其年齡判讀結果所得的不同性別個體之年齡頻度分布圖，公魚有 376 尾個體，年齡的範圍為 4-28 歲，平均為  $15.4 \pm 4.9$  歲；母魚則有 307 尾個體，年齡的範圍為 4-28 歲，平均為  $14.5 \pm 5.1$  歲。



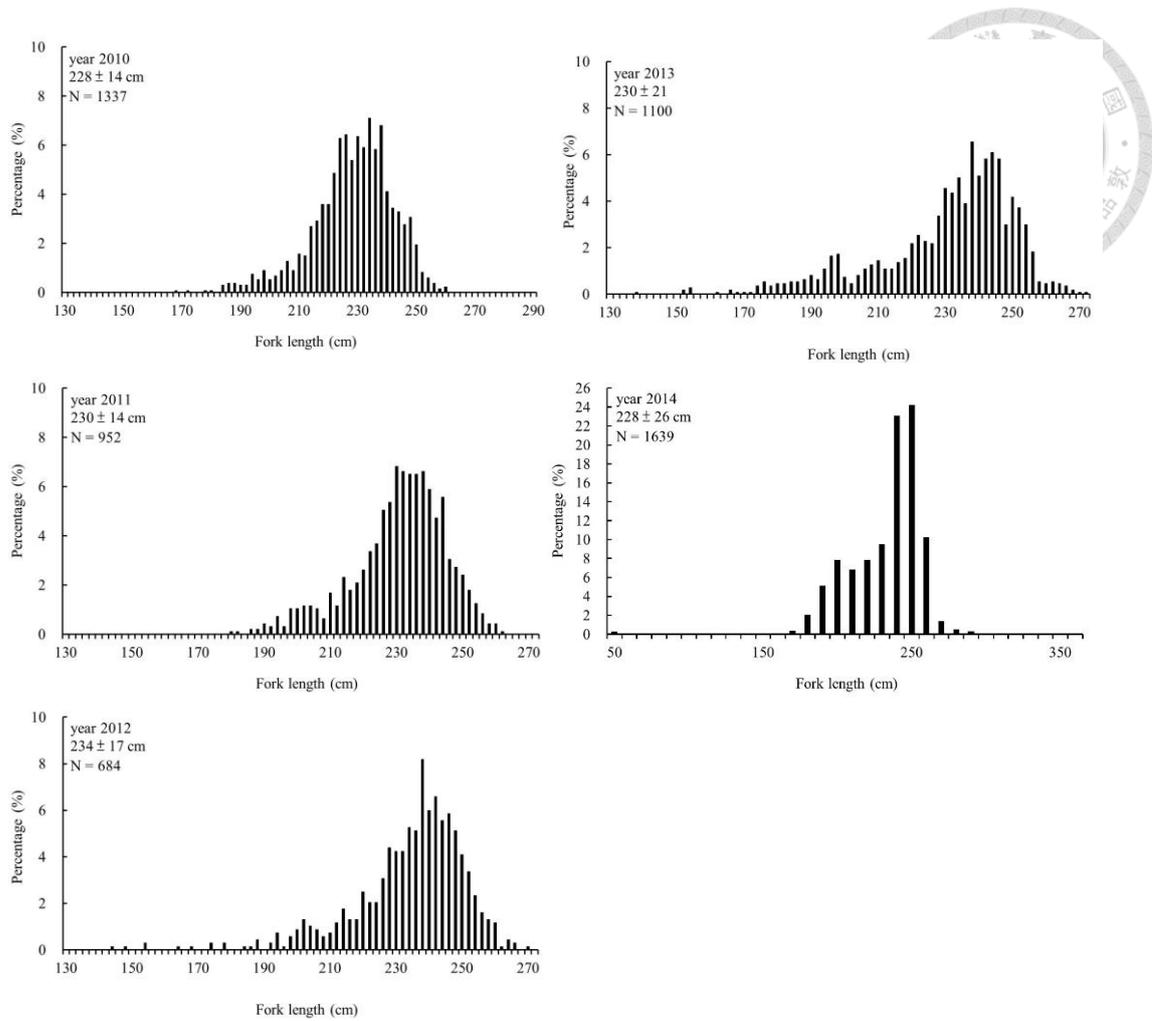
**Figure 10. 不同採集年份之太平洋黑鮭年齡頻度分布圖**

2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮭個體，根據其年齡判讀結果所得的不同採集年份個體之年齡頻度分布圖，2011 年有 170 尾個體，年齡的範圍為 7-24 歲，平均為  $14.7 \pm 4.1$  歲；2012 年有 168 尾個體，年齡的範圍為 4-28 歲，平均為  $15.7 \pm 5.0$  歲；2013 年有 245 尾個體，年齡的範圍為 4-27 歲，平均為  $15.4 \pm 5.2$  歲；2014 年有 100 尾個體，年齡的範圍為 5-28 歲，平均為  $13.2 \pm 5.8$  歲。紅色箭頭所指的是 1994 年出生的 cohort，而紅色線條所框起的部分則為 1994 年出生的 cohort 之個體年齡  $\pm 1$  歲的範圍。



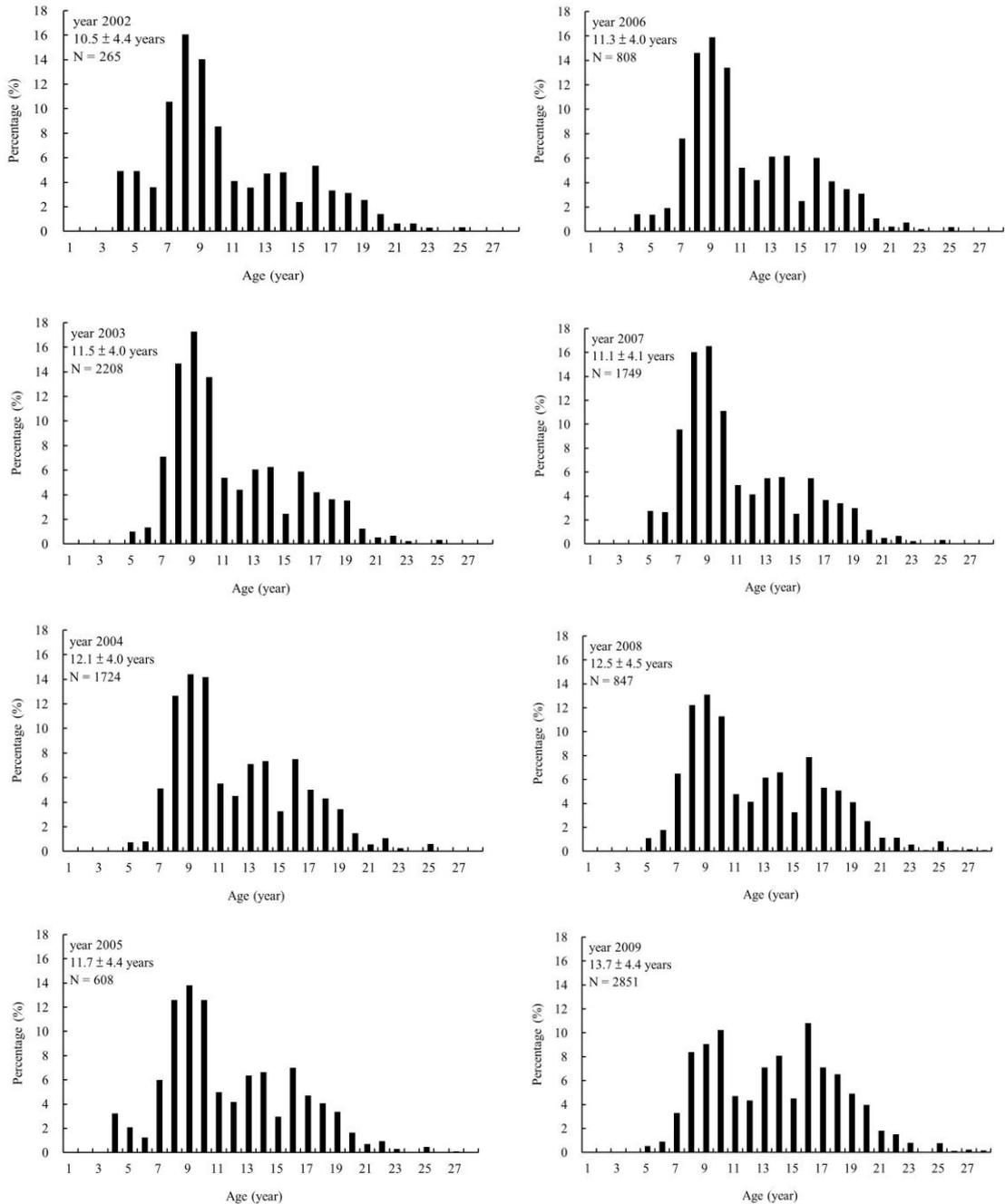
**Figure 11. 2002-2009 年所量測之太平洋黑鮪尾叉長分布圖**

2002-2009 年，港口觀察員於國內各漁港所量測之太平洋黑鮪尾叉長分布圖。



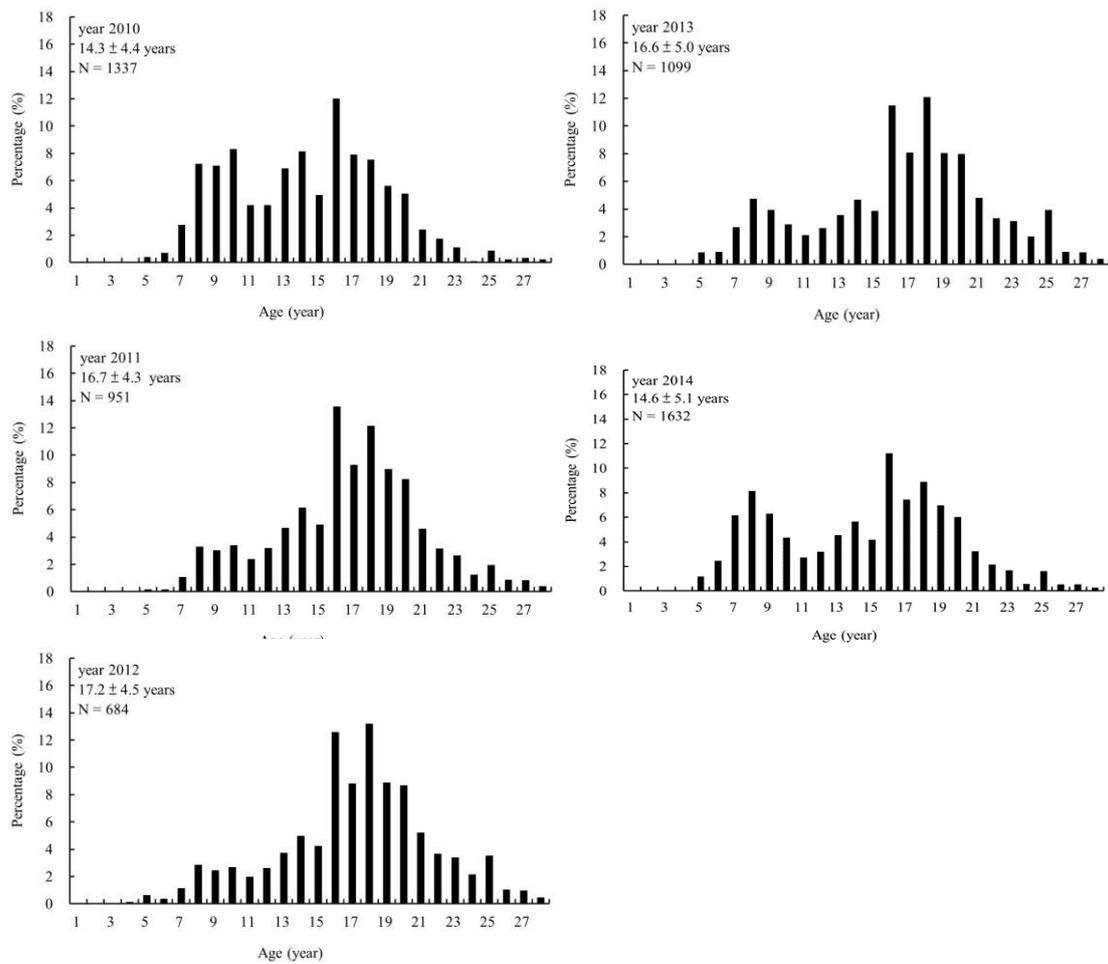
**Figure 12. 2010-2014 年所量測之太平洋黑鮪尾叉長分布圖**

2010-2014 年，港口觀察員於國內各漁港所量測之太平洋黑鮪尾叉長分布圖。



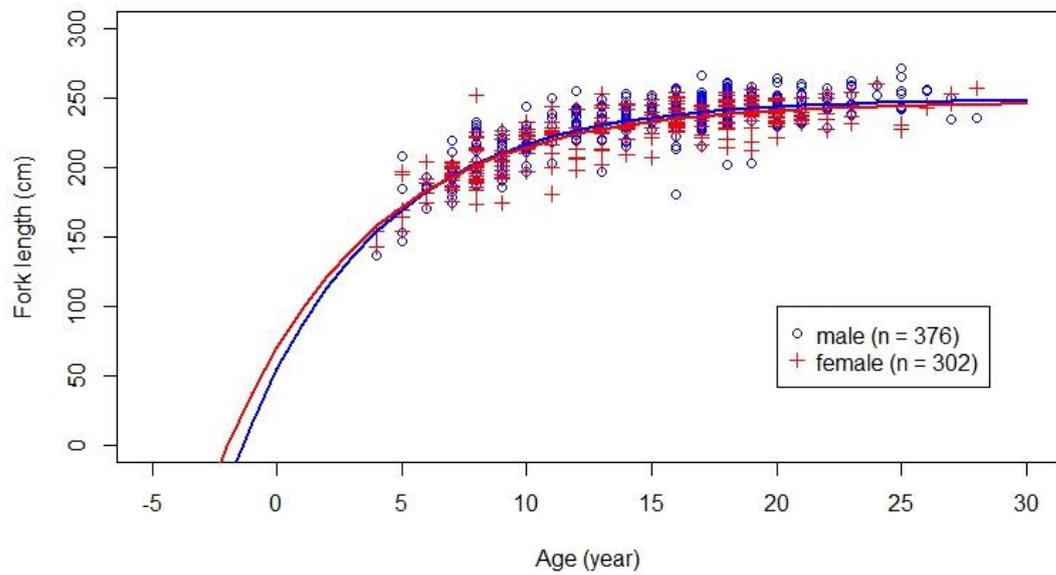
**Figure 13. 2002-2009 年太平洋黑鮪總漁獲年齡組成**

2002-2009 年太平洋黑鮪總漁獲年齡組成，以本研究所建構的 Age-Length Key 將港口觀察員所量測之尾叉長資料轉換成年齡資料。



**Figure 14. 2010-2014 年太平洋黑鮪總漁獲年齡組成**

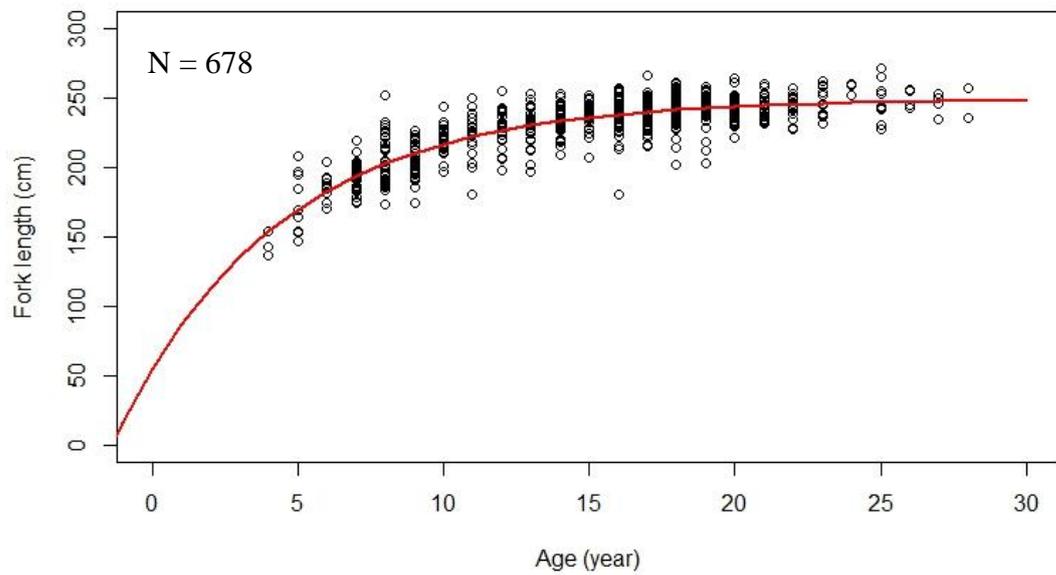
2010-2014 年太平洋黑鮪總漁獲年齡組成，以本研究所建構的 Age-Length Key 將港口觀察員所量測之尾叉長資料轉換成年齡資料。



**Figure 15. 不同性別之太平洋黑鮪的成長曲線**

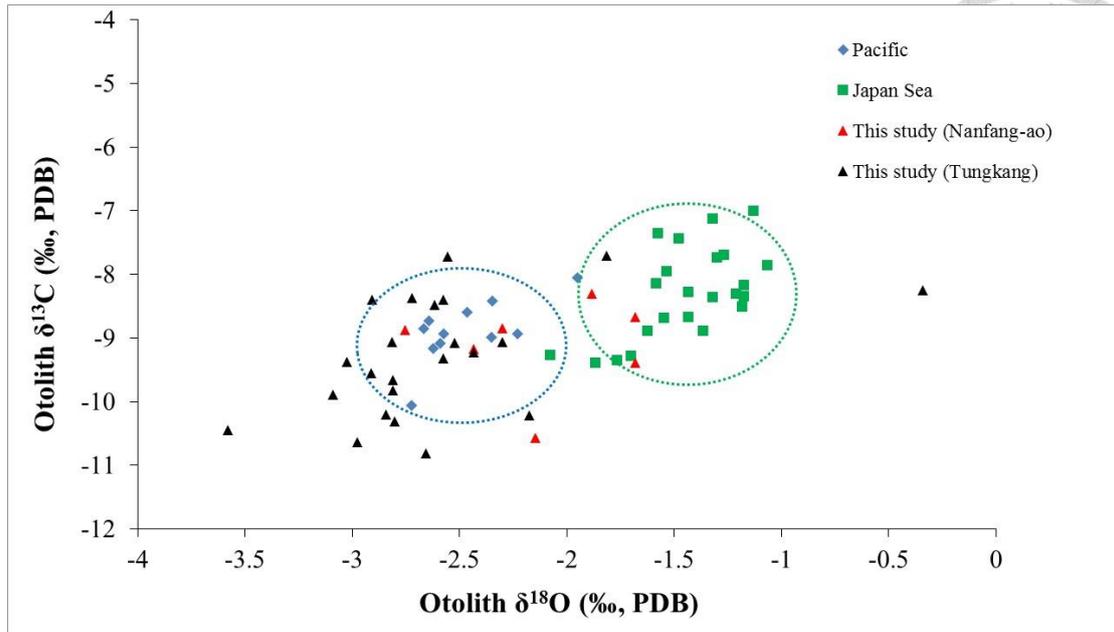
根據 2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮪耳石年輪判讀結果與其對應的尾叉長資料，所建構之不同性別的 VBGE 成長方程式，公魚有 376 尾個體；母魚則有 302 尾個體。公魚的結果為  $L_{\text{male}} = 249.0 \times (1 - e^{(-0.179(t+1.383)})$ ；母魚的結果為  $L_{\text{female}} = 246.8 \times (1 - e^{(-0.170(t+1.975)})$ 。

。



**Figure 16. 太平洋黑鮭的成長曲線**

根據 2011-2014 年，於東港與南方澳兩漁港所採樣的太平洋黑鮭耳石年輪判讀結果與其對應的尾叉長資料，所建構之太平洋黑鮭 VBGE 成長方程式，共有 678 尾個體的資料。結果為  $L_t = 249.0 \times (1 - e^{(-0.179(t+1.383)})$ 。



**Figure 17.** 利用穩定性碳氧同位素數值進行判別分析之結果

利用太平洋黑鮪耳石內距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  的穩定性氧 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ )及碳 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ )同位素數值進行判別分析之結果，共分析 30 個未知的樣本，其中 7 個來自南方澳漁港；23 個來自東港魚港。結果顯示大部分 (76.7 %)黑鮪來自黑潮流域的產卵場。圖內的綠色正方形與藍色菱形為 0<sup>+</sup>歲的幼魚個體，分別孵化自日本海與西北太平洋黑潮流域的產卵場；紅色三角形為本研究中採集自南方澳港口的黑鮪成魚個體，黑色三角形則為本研究中採集自東港漁港的黑鮪成魚個體。



**Figure 18.** 使用 Crystal bond 封片的情況

使用 Crystal bond 封片時會產生小氣泡，可能會影響耳石年輪的判讀準確度。

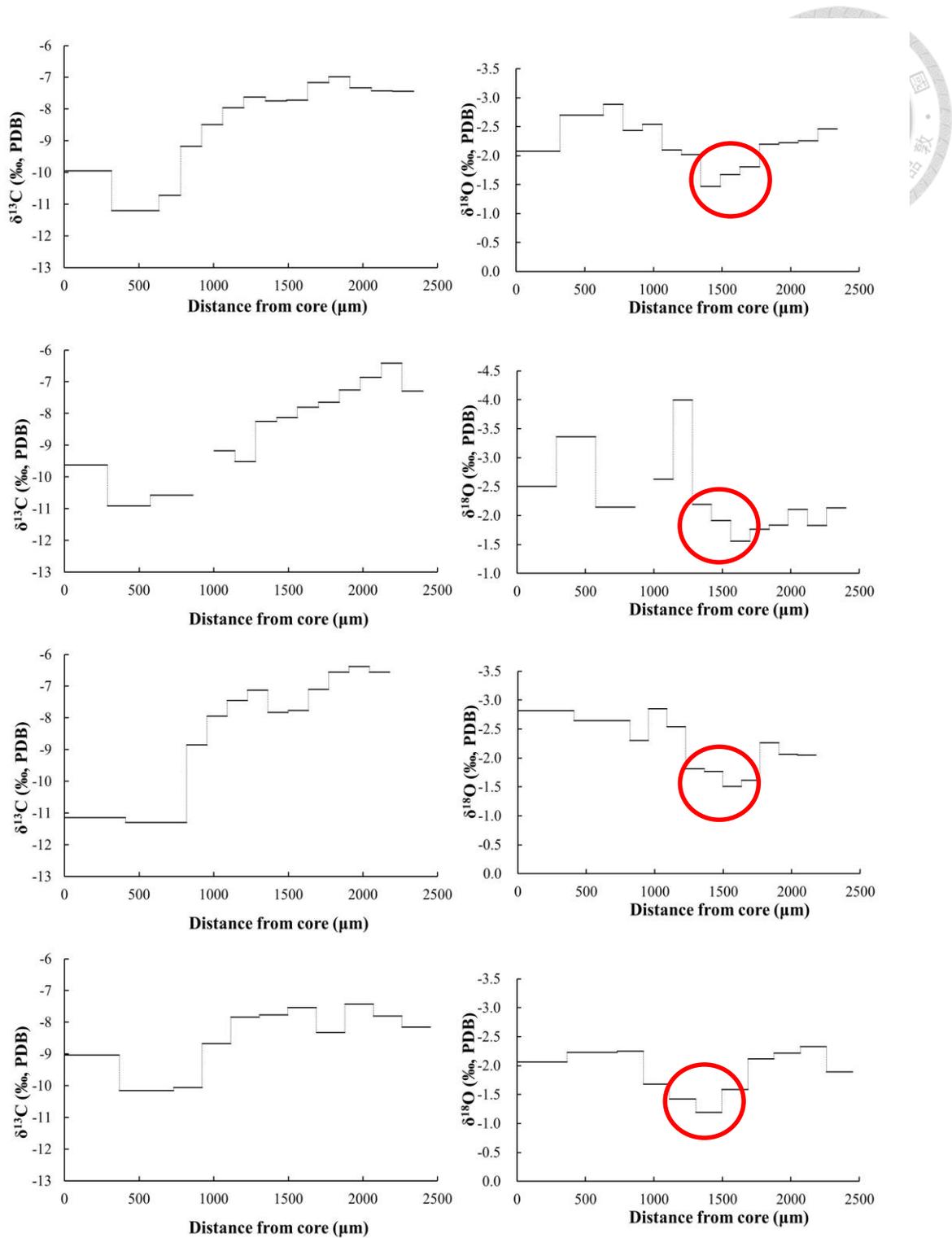


Figure 19. 樣本 SO-2、SO-4、SO-7、SO-8，由核心至距核心 2500  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化

由上到下依序為樣本 SO-2、SO-4、SO-7、SO-8，由核心至距核心 2500  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。

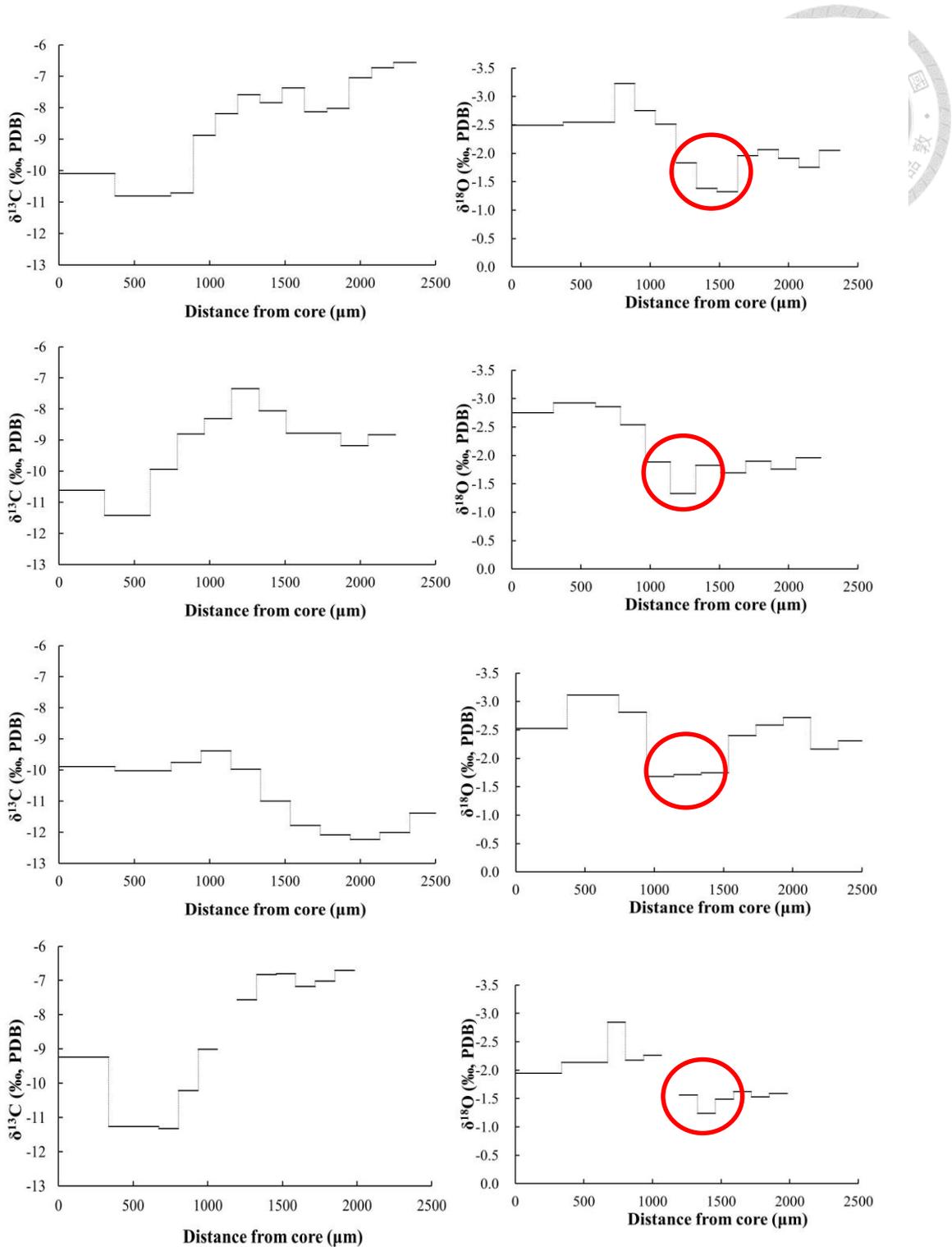
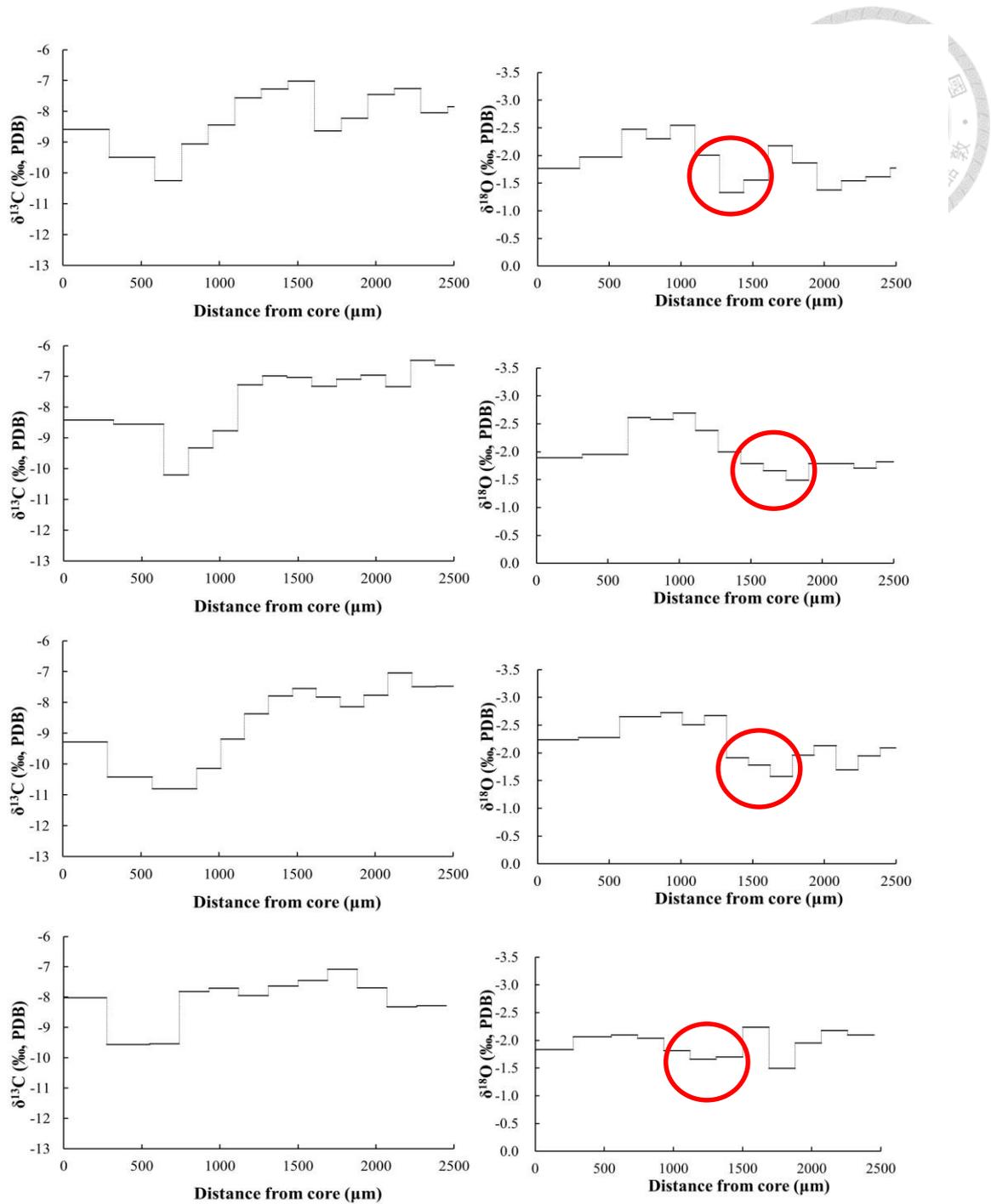


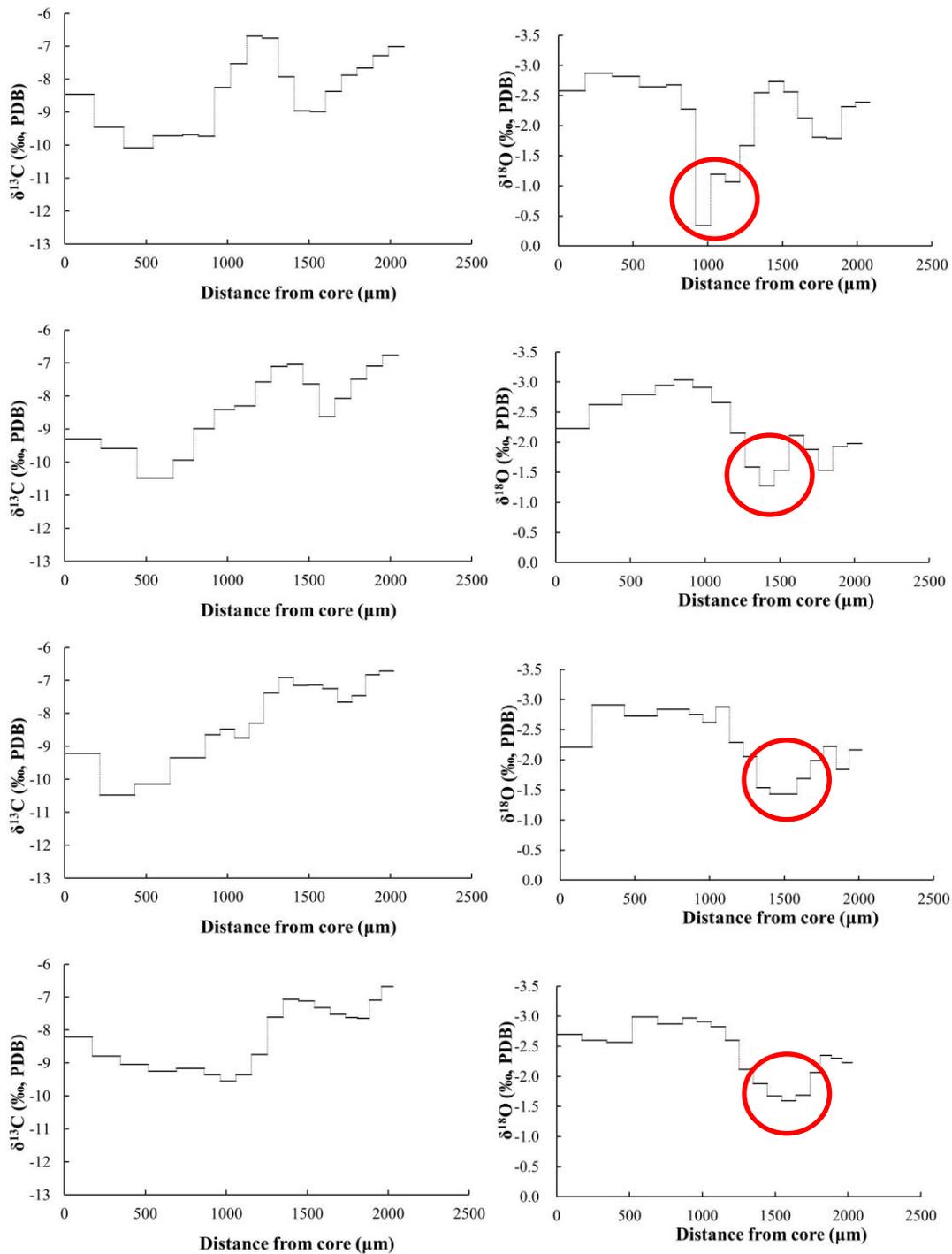
Figure 20. 樣本 SO-11、SO-13、SO-15、TK-5，由核心至距核心 2500  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化

由上到下依序為樣本 SO-11、SO-13、SO-15、TK-5，由核心至距核心 2500  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。



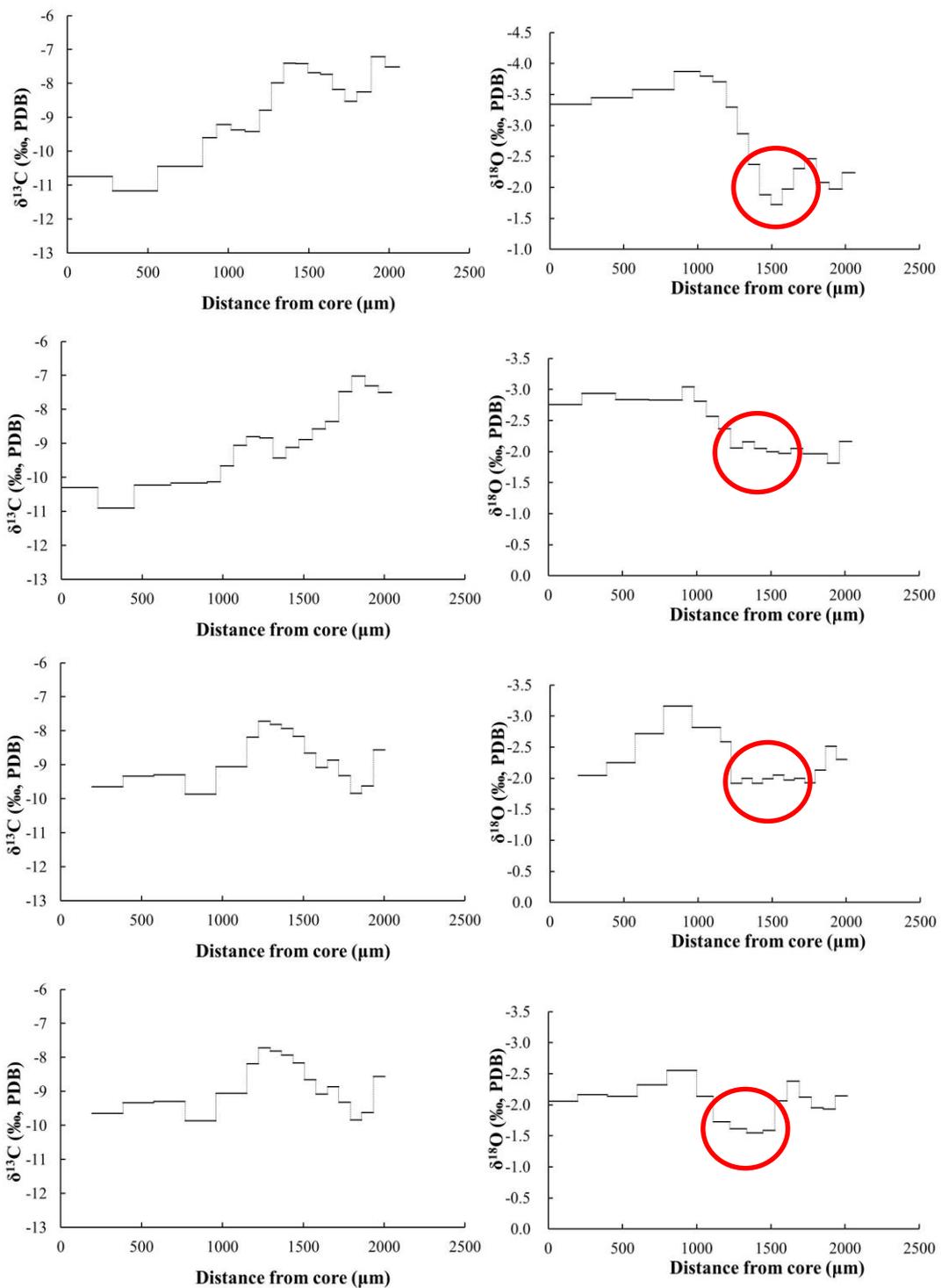
**Figure 21. 樣本 TK-6、TK-8、TK-9、TK-12，由核心至距核心 2500  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化**

由上到下依序為樣本 TK-6、TK-8、TK-9、TK-12，由核心至距核心 2500  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。



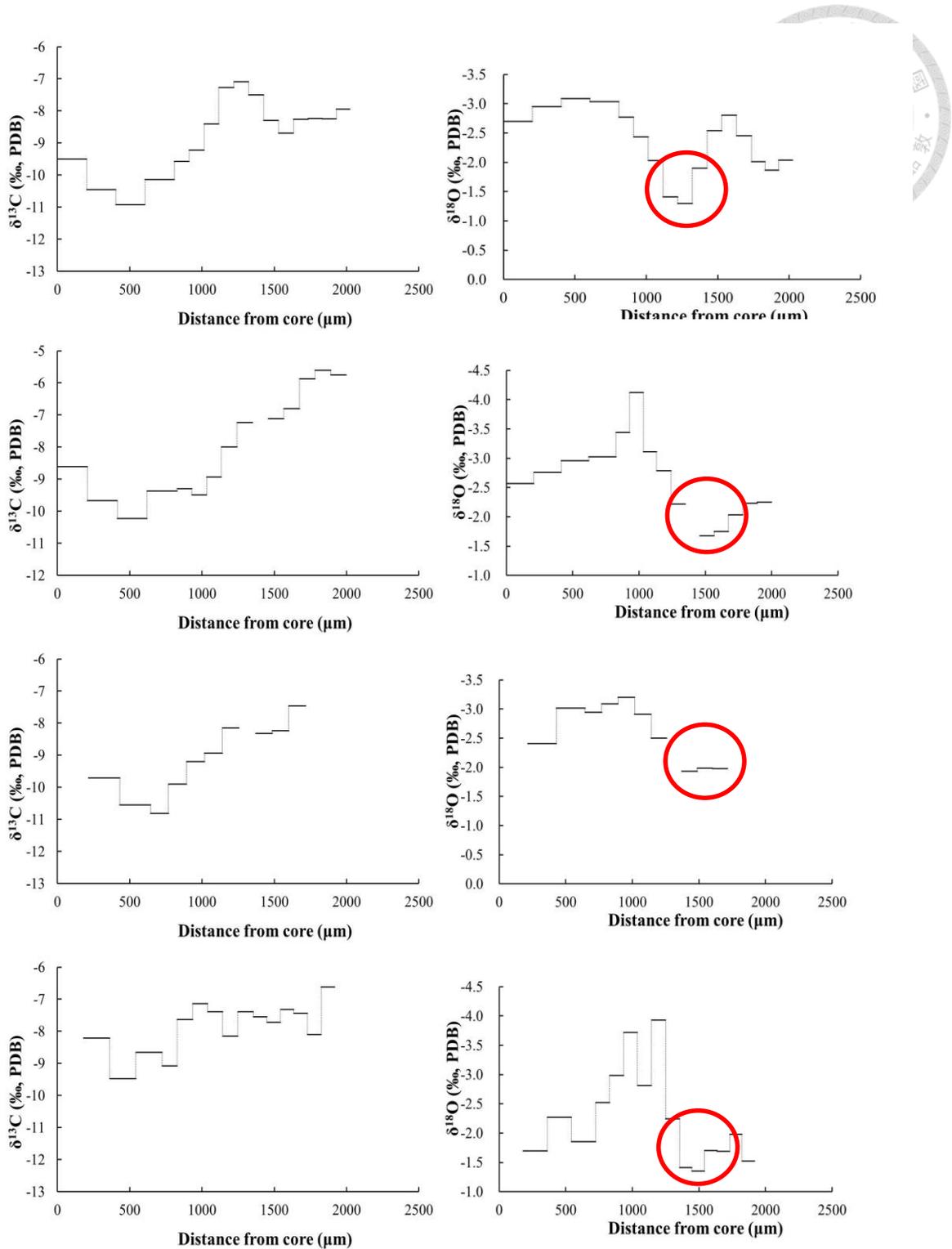
**Figure 22. 樣本 NBT-173、NBT-174、NBT-175、NBT-176，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化**

由上到下依序為樣本 NBT-173、NBT-174、NBT-175、NBT-176，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。



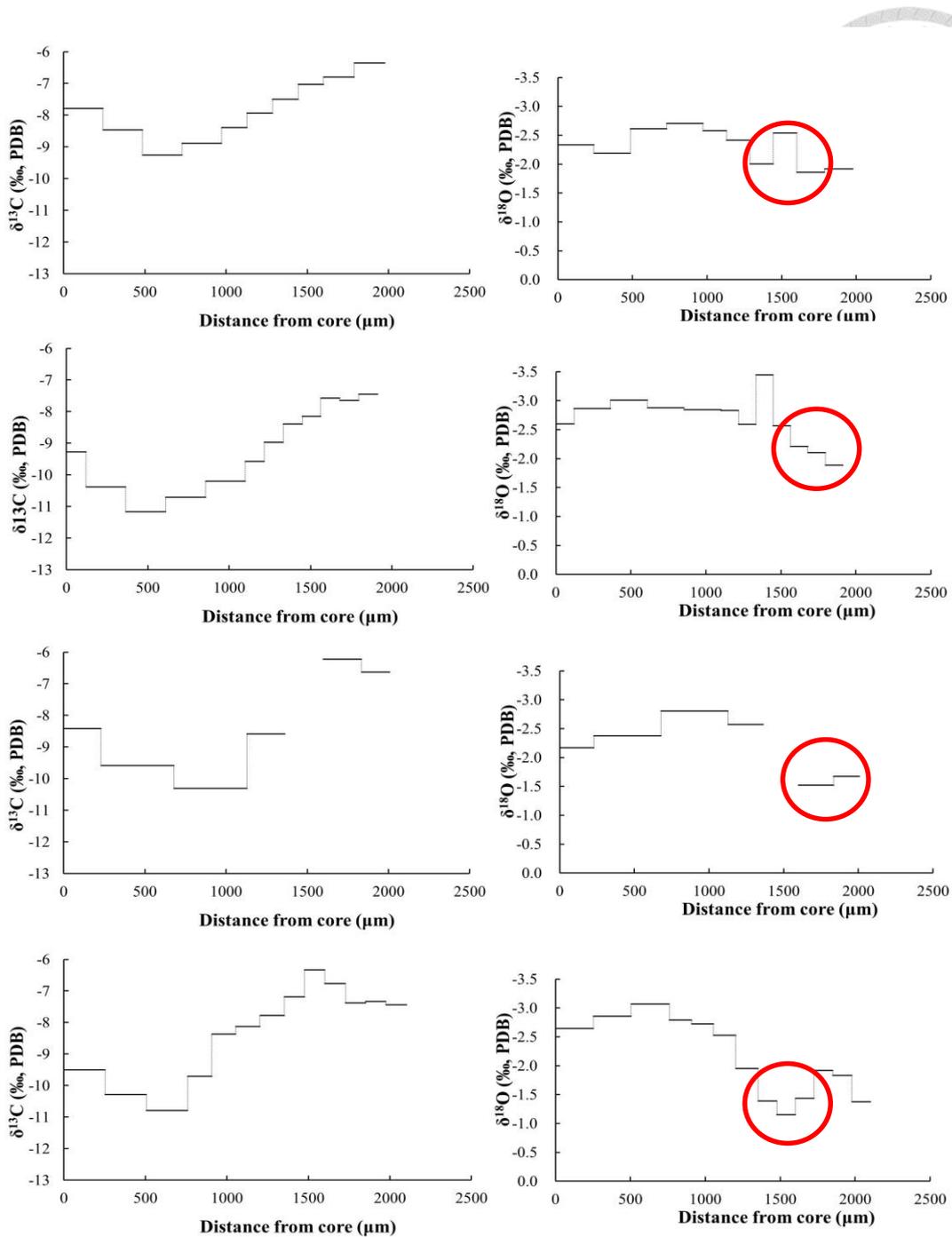
**Figure 23. 樣本 NBT-177、NBT-178、NBT-179、NBT-180，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化**

由上到下依序為樣本 NBT-177、NBT-178、NBT-179、NBT-180，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。



**Figure 24. 樣本 NBT-181、NBT-182、NBT-2、NBT-4，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化**

由上到下依序為樣本 NBT-181、NBT-182、NBT-2、NBT-4，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。



**Figure 25. 樣本 PBT-13、PBT-14、PBT-16、PBT-18，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$**

**左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化**

由上到下依序為樣本 PBT-13、PBT-14、PBT-16、PBT-18，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。

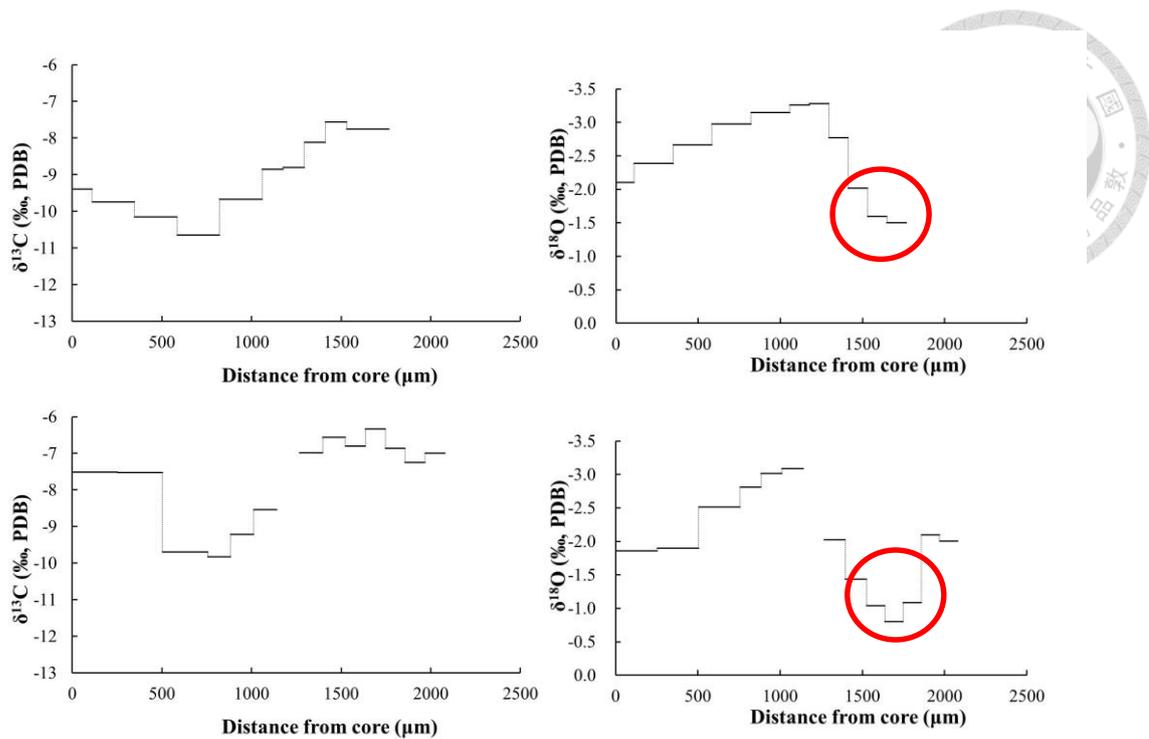
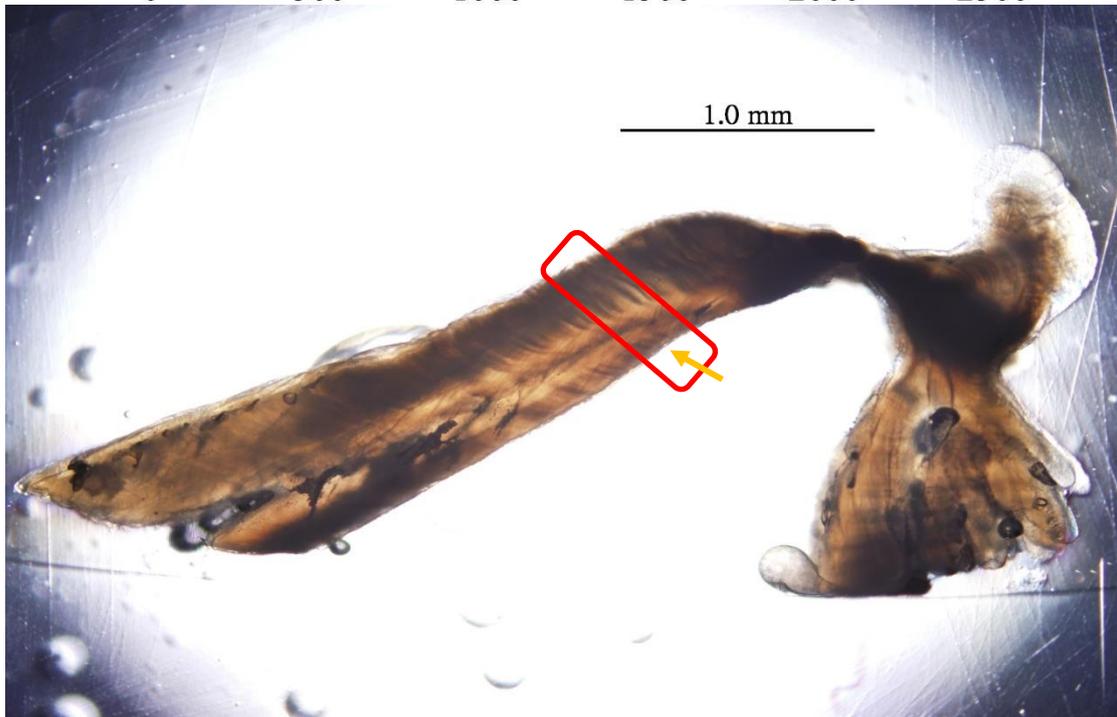
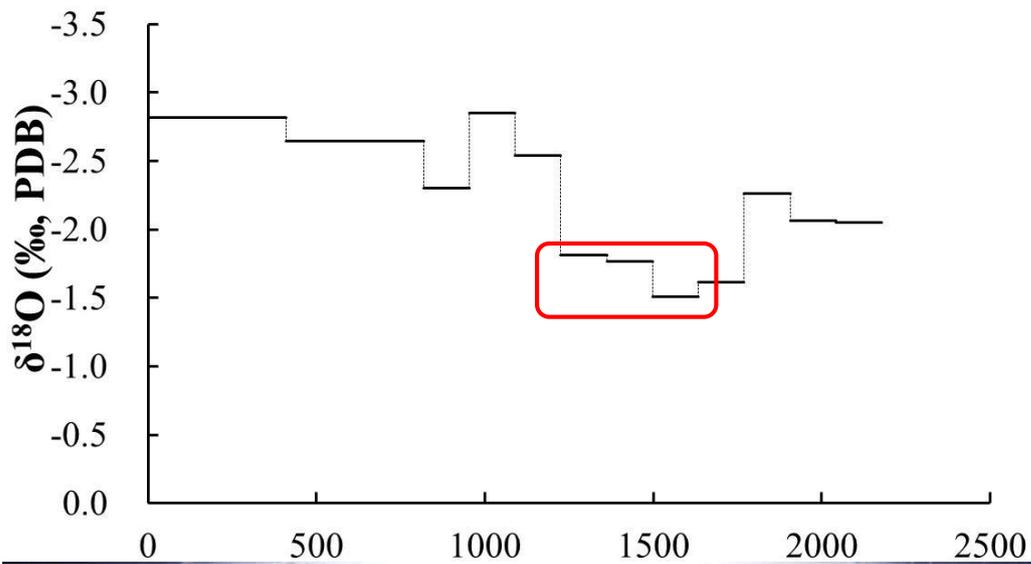


Figure 26. 樣本 PBT-36 與 PBT-87，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的

$\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化

由上到下依序為樣本 PBT-36、PBT-87，由核心至距核心 2000  $\mu\text{m}$  左右處的

$\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$  與  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  變化，紅色圈起處可能為冬天的訊號。



**Figure 27. 耳石中  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值大幅上升的位置**

$\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值大幅上升的區段 (紅色圈起處)與第一個暗帶出現的位置(橘色箭頭)有重疊的現象，此樣本為 2013-S0-7。

**Table 1. 不同年間之太平洋黑鮪採集樣本數**

不同年間所採集之樣本數差異情況，括號內為缺失尾叉長資料的尾數。

Year	Nanfang-ao		Tungkang	
	male	female	male	female
2011	57	46	48 (2)	23
2012	48	27	39	54 (2)
2013	62	49 (2)	70 (1)	65 (3)
2014	55	45	0	0
Total	222	167 (2)	157 (3)	142 (5)



**Table 2. 三種不同的封片方式的平均 APE 與 CV 值之比較**

二次包埋後再研磨至年輪清晰、利用 Crystal bond 來進行封片與利用 Permout  
來進行封片三種不同的方式的平均 APE 與 CV 值之比較。

<b>Year</b>	<b>Preparation</b>	<b>n</b>	<b>Mean APE</b>	<b>Mean CV</b>
2011	Grinding	170	0.69	0.97
2012	Grinding	168	0.73	1.03
2013	Crystal bond	145	0.86	1.21
2013	Permout	100	0.71	1.01
2014	Permout	100	0.72	1.02
Total		683	0.74	1.05





**Table 3. 以 2011-2014 年，於東港和南方澳兩漁港所採樣之個體所建立的年齡體長關係表 (Age-Length Key)**  
 利用百分比表示，FL 為尾叉長，N-FL 為每 10 cm 間隔樣本數，N-age 為每歲樣本數，總樣本數為 673 為個體。

FL/age	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	N-FL	
40-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100-110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130-140	0	0	0	100.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
140-150	0	0	0	50.0	50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
150-160	0	0	0	33.3	66.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
160-170	0	0	0	0	100.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
170-180	0	0	0	0	0.0	25.0	50.0	12.5	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
180-190	0	0	0	0	4.5	27.3	31.8	22.7	4.5	0	4.5	0	0	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
190-200	0	0	0	0	4.3	4.3	26.1	34.8	19.6	6.5	0	2.2	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
200-210	0	0	0	0	2.6	2.6	15.4	25.6	28.2	2.6	5.1	5.1	2.6	2.6	2.6	0	0	2.6	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
210-220	0	0	0	0	0	0	4.3	12.8	21.3	23.4	6.4	4.3	6.4	6.4	0	4.3	4.3	2.1	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
220-230	0	0	0	0	0	0	0	7.8	6.5	14.3	6.5	5.2	10.4	10.4	6.5	11.7	6.5	6.5	2.6	1.3	0	2.6	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	77
230-240	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0	1.3	3.1	4.4	7.5	11.3	6.3	18.1	11.9	8.1	5.6	10.0	5.6	1.3	2.5	0	0.6	0	0.6	0.6	0	0	160	
240-250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	2.8	3.4	4.5	6.7	15.2	11.8	16.9	15.2	10.7	3.9	2.8	1.7	0	1.7	1.1	0.6	0	0	0	178	
250-260	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0	0	1.3	1.3	1.3	2.6	2.6	15.4	6.4	15.4	11.5	6.4	7.7	9.0	5.1	3.8	2.6	2.6	2.6	1.3	0	0	78	
260-270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.1	22.2	0	22.2	11.1	0	11.1	11.1	11.1	0	0	0	0	0	9	
270-280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	0	0	0	0	0	1	
<b>N-FL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>47</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>80</b>	<b>53</b>	<b>64</b>	<b>50</b>	<b>43</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>673</b>	



**Table 4.** 利用 likelihood ratio test 來比較公、母太平洋黑鮪的不同成長參數 ( $L_{\infty}$ ,  $k$ ,  $t_0$ ) 是否有差異

<b>Hypothesis</b>	$\chi^2$	<i>d. f.</i>	<i>P</i> value
$L_{\infty\text{male}} = L_{\infty\text{female}}$	0.00	1	1.000
$k_{\text{male}} = k_{\text{female}}$	4.15	1	0.042
$t_{0\text{male}} = t_{0\text{female}}$	5.88	1	0.015
$L_{\infty\text{male}} = L_{\infty\text{female}}, k_{\text{male}} = k_{\text{female}}, t_{0\text{male}} = t_{0\text{female}}$	10.61	3	0.014



Table 5. 不同年間的成長表現參數 ( $\Phi'$ )之比較

Year	$L_{\infty}$ (cm)	k (year <sup>-1</sup> )	$t_0$ (years)	$\Phi'$
2011	256.38	0.097	-9.01	3.805
2012	246.61	0.207	-0.40	4.100
2013	249.79	0.200	-0.41	4.096
2014	256.75	0.133	-3.49	3.943



**Table 6. 不同年間利用 bootstrapping 的方式重複採樣 1000 次後，套適成長方程式所得之結果**

Year	Mean $L_{\infty}$ (95 % confidence interval)	Mean $k$ (95 % confidence interval)	Mean $t_0$ (95 % confidence interval)
2011	262.79 (242.42~328.56)	0.100 (0.025~0.183)	-10.63 (-30.10~-2.19)
2012	246.82 (243.48~250.94)	0.207 (0.164~0.253)	-0.50 (-2.36~-0.91)
2013	250.03 (246.74~254.51)	0.200 (0.156~0.243)	-0.48 (-2.49~0.79)
2014	260.66 (243.59~304.89)	0.141 (0.050~0.245)	-3.90 (-13.18~0.80)



Table 7. 用於建立判別函數的個體之基本資料，共 34 尾個體 (Shiao et al. 2010)

Lot ID	n	Sampling ports	Fishing area	Catch date	Otolith $\delta^{18}\text{O}$	Otolith $\delta^{13}\text{C}$
P4	4	Kanno-ura	Tosa Bay, Pacific	27 Nov 2003	$-2.65 \pm 0.06$	$-9.25 \pm 0.55$
P5	7	Saga	Tosa Bay, Pacific	17 Dec 2003	$-2.37 \pm 0.23$	$-8.69 \pm 0.36$
J2	6	Hagi	Near Mishima, Japan Sea	19 Dec 2002	$-1.50 \pm 0.35$	$-8.56 \pm 0.57$
J3	7	Himi	Toyama Bay, Japan Sea	24 Jan 2003	$-1.51 \pm 0.27$	$-8.61 \pm 0.62$
J4	10	Himi	Toyama Bay, Japan Sea	5 Feb 2004	$-1.36 \pm 0.17$	$-7.90 \pm 0.69$



**Table 8.** 利用前人研究的資料 (Shiao et al. 2010)所建立的判別分析函數結果,以太平洋黑鮪耳石距核心 800-1000  $\mu\text{m}$  內的穩定性氧 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$ )及碳 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$ )同位素數值進行分析

Natal origin	n	Classification success (%)		
		Both	$\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{otolith}}$
Pacific Ocean	11	100	95.7	82.6
Japan Sea	23	100	90.9	18.2
Total	34	100	94.1	61.8

**Table 9. 未知的樣本利用距耳石核心 800-1000  $\mu\text{m}$  處之穩定性氧與碳同位素數值進行判別分析之結果 (利用 Statistica 7.0 所得之結果)**

<b>ID</b>	<b>Sampling ports</b>	<b>year</b>	<b>Otolith <math>\delta^{18}\text{O}</math></b>	<b>Otolith <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Classification result</b>
SO-2	Nanfang-ao	2013	-2.43	-9.18	Pacific Ocean
SO-4	Nanfang-ao	2013	-2.15	-10.57	Japan Sea
SO-7	Nanfang-ao	2013	-2.30	-8.85	Pacific Ocean
SO-8	Nanfang-ao	2013	-1.68	-8.67	Japan Sea
SO-11	Nanfang-ao	2013	-2.75	-8.88	Pacific Ocean
SO-13	Nanfang-ao	2013	-1.88	-8.30	Japan Sea
SO-15	Nanfang-ao	2013	-1.68	-9.39	Japan Sea
TK-5	Tungkang	2013	-2.18	-10.21	Japan Sea
TK-6	Tungkang	2013	-2.30	-9.06	Pacific Ocean
TK-8	Tungkang	2013	-2.58	-9.33	Pacific Ocean
TK-9	Tungkang	2013	-2.66	-10.81	Pacific Ocean
TK-12	Tungkang	2013	-1.82	-7.71	Japan Sea
NBT-173	Tungkang	2007	-0.34	-8.24	Japan Sea
NBT-174	Tungkang	2007	-2.91	-8.40	Pacific Ocean
NBT-175	Tungkang	2007	-2.62	-8.48	Pacific Ocean
NBT-176	Tungkang	2007	-2.91	-9.55	Pacific Ocean
NBT-177	Tungkang	2007	-3.58	-10.45	Pacific Ocean
NBT-178	Tungkang	2007	-2.81	-9.66	Pacific Ocean
NBT-179	Tungkang	2007	-2.81	-9.06	Pacific Ocean
NBT-180	Tungkang	2007	-2.55	-7.72	Pacific Ocean
NBT-181	Tungkang	2007	-2.43	-9.22	Pacific Ocean
NBT-182	Tungkang	2007	-3.03	-9.38	Pacific Ocean
NBT-2	Tungkang	2007	-3.09	-9.90	Pacific Ocean
NBT-4	Tungkang	2007	-2.52	-9.08	Pacific Ocean
PBT-13	Tungkang	2007	-2.58	-8.39	Pacific Ocean
PBT-14	Tungkang	2007	-2.84	-10.20	Pacific Ocean
PBT-16	Tungkang	2007	-2.80	-10.31	Pacific Ocean
PBT-22	Tungkang	2007	-2.72	-8.37	Pacific Ocean
PBT-36	Tungkang	2007	-2.98	-10.64	Pacific Ocean
PBT-87	Tungkang	2007	-2.81	-9.83	Pacific Ocean

**Table 10. 未知的樣本利用距耳石核心 800-1000  $\mu\text{m}$  處之穩定性氧同位素數值進行判別分析之結果 (利用 Statistica 7.0 所得之結果)**

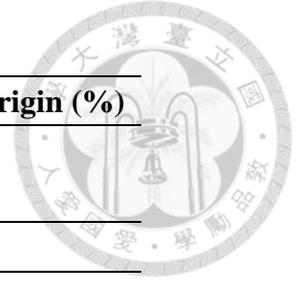
<b>ID</b>	<b>Sampling ports</b>	<b>year</b>	<b>Otolith <math>\delta^{18}\text{O}</math></b>	<b>Classification result</b>
SO-2	Nanfang-ao	2013	-2.43	Pacific Ocean
SO-4	Nanfang-ao	2013	-2.15	Pacific Ocean
SO-7	Nanfang-ao	2013	-2.30	Pacific Ocean
SO-8	Nanfang-ao	2013	-1.68	Japan Sea
SO-11	Nanfang-ao	2013	-2.75	Pacific Ocean
SO-13	Nanfang-ao	2013	-1.88	Japan Sea
SO-15	Nanfang-ao	2013	-1.68	Japan Sea
TK-5	Tungkang	2013	-2.18	Pacific Ocean
TK-6	Tungkang	2013	-2.30	Pacific Ocean
TK-8	Tungkang	2013	-2.58	Pacific Ocean
TK-9	Tungkang	2013	-2.66	Pacific Ocean
TK-12	Tungkang	2013	-1.82	Japan Sea
NBT-173	Tungkang	2007	-0.34	Japan Sea
NBT-174	Tungkang	2007	-2.91	Pacific Ocean
NBT-175	Tungkang	2007	-2.62	Pacific Ocean
NBT-176	Tungkang	2007	-2.91	Pacific Ocean
NBT-177	Tungkang	2007	-3.58	Pacific Ocean
NBT-178	Tungkang	2007	-2.81	Pacific Ocean
NBT-179	Tungkang	2007	-2.81	Pacific Ocean
NBT-180	Tungkang	2007	-2.55	Pacific Ocean
NBT-181	Tungkang	2007	-2.43	Pacific Ocean
NBT-182	Tungkang	2007	-3.03	Pacific Ocean
NBT-2	Tungkang	2007	-3.09	Pacific Ocean
NBT-4	Tungkang	2007	-2.52	Pacific Ocean
PBT-13	Tungkang	2007	-2.58	Pacific Ocean
PBT-14	Tungkang	2007	-2.84	Pacific Ocean
PBT-16	Tungkang	2007	-2.80	Pacific Ocean
PBT-22	Tungkang	2007	-2.72	Pacific Ocean
PBT-36	Tungkang	2007	-2.98	Pacific Ocean
PBT-87	Tungkang	2007	-2.81	Pacific Ocean

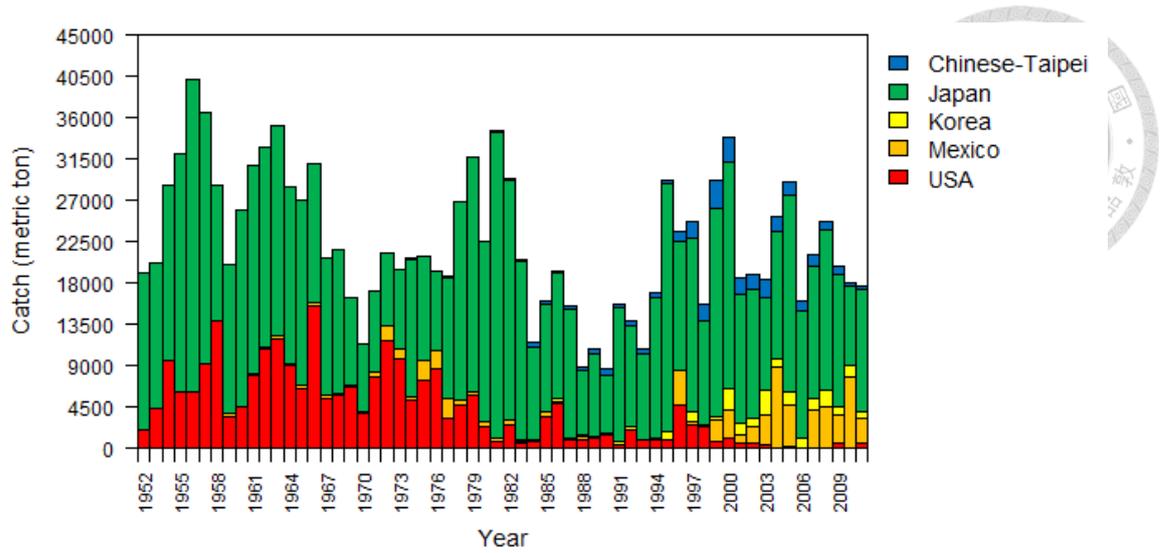
Table 11. 未知的樣本利用距耳石核心 800-1000  $\mu\text{m}$  處之穩定性氧與碳同位素數值進行判別分析之結果 (利用 QDFA 所得之結果)

ID	Sampling ports	year	Classification result	Probability (%)
SO-2	Nanfang-ao	2013	Pacific Ocean	> 99
SO-4	Nanfang-ao	2013	Japan Sea	> 99
SO-7	Nanfang-ao	2013	Pacific Ocean	> 99
SO-8	Nanfang-ao	2013	Japan Sea	> 99
SO-11	Nanfang-ao	2013	Pacific Ocean	> 99
SO-13	Nanfang-ao	2013	Japan Sea	74.5
SO-15	Nanfang-ao	2013	Japan Sea	> 99
TK-5	Tungkang	2013	Japan Sea	> 99
TK-6	Tungkang	2013	Pacific Ocean	> 99
TK-8	Tungkang	2013	Pacific Ocean	> 99
TK-9	Tungkang	2013	Pacific Ocean	83.2
TK-12	Tungkang	2013	Japan Sea	65.8
NBT-173	Tungkang	2007	Japan Sea	100
NBT-174	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
NBT-175	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
NBT-176	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
NBT-177	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
NBT-178	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
NBT-179	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
NBT-180	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
NBT-181	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
NBT-182	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
NBT-2	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
NBT-4	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
PBT-13	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
PBT-14	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
PBT-16	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
PBT-22	Tungkang	2007	Pacific Ocean	100
PBT-36	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99
PBT-87	Tungkang	2007	Pacific Ocean	> 99

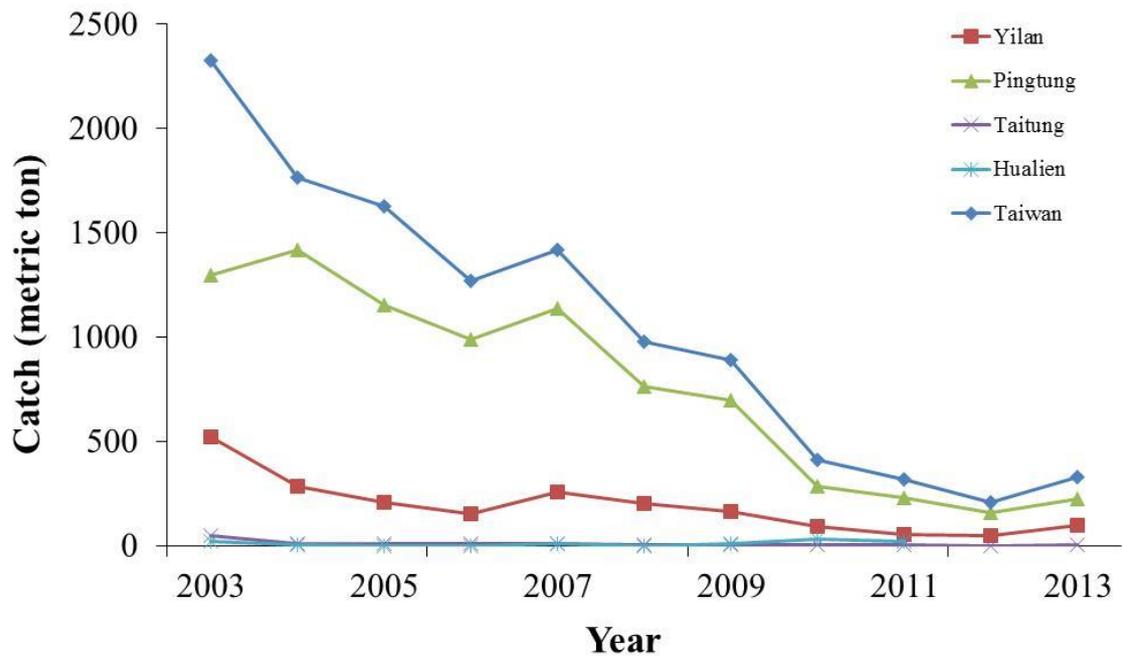
Table 12. 不同產卵場對我國黑鮪漁業的貢獻程度

Sampling ports	n	Japan Sea origin (%)	Pacific Ocean origin (%)
Nanfang-ao	7	57.1	42.9
Tungkang	23	13.0	87.0
Total	30	16.7	83.3

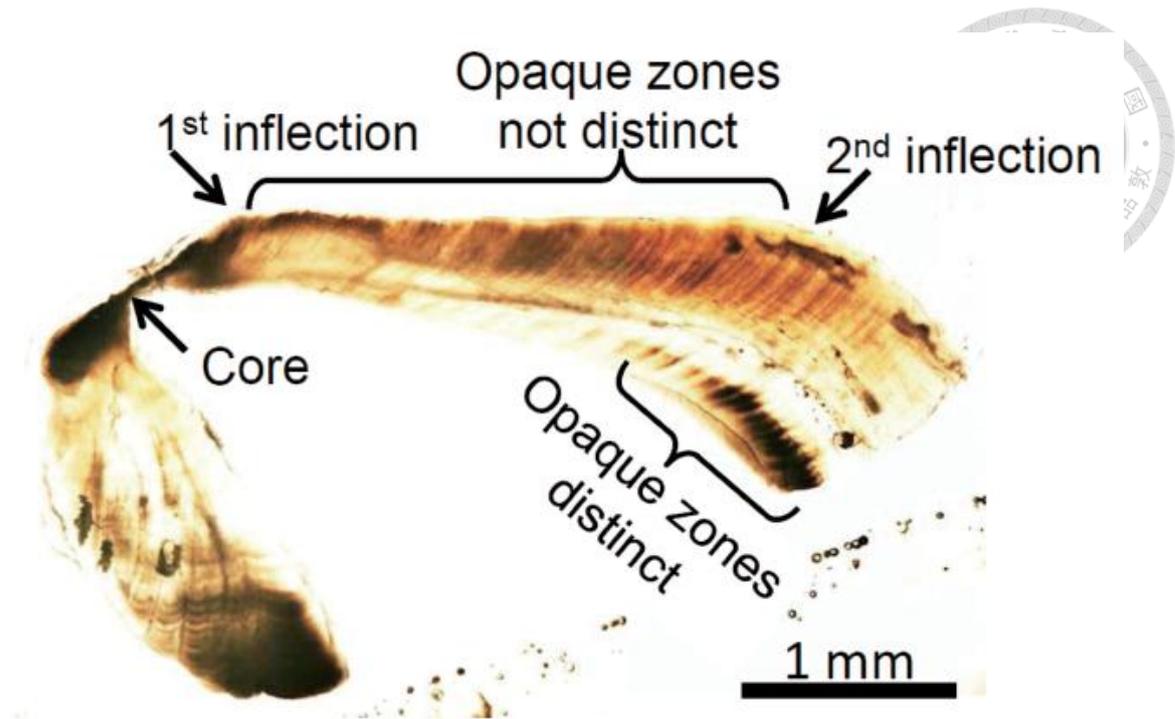




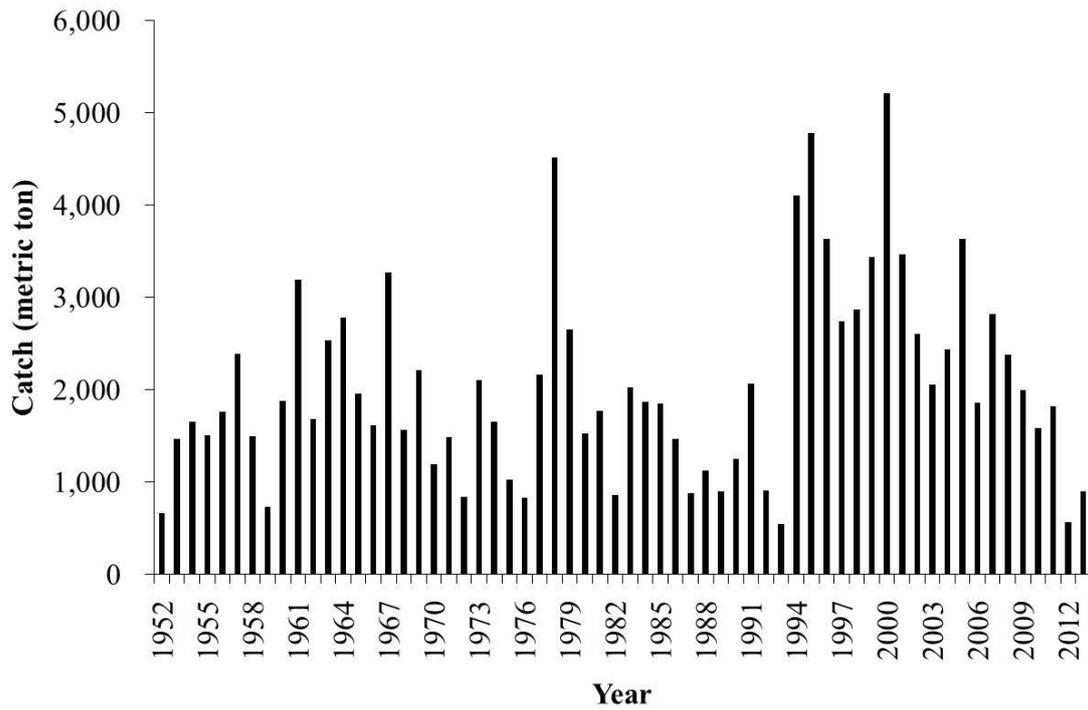
附錄 1. 1952-2011 年，北太平洋鮭類及似鮭類國際科學委員會 (ISC)會員國於北太平洋的逐年太平洋黑鮭漁獲量 (ISC, 2012)。



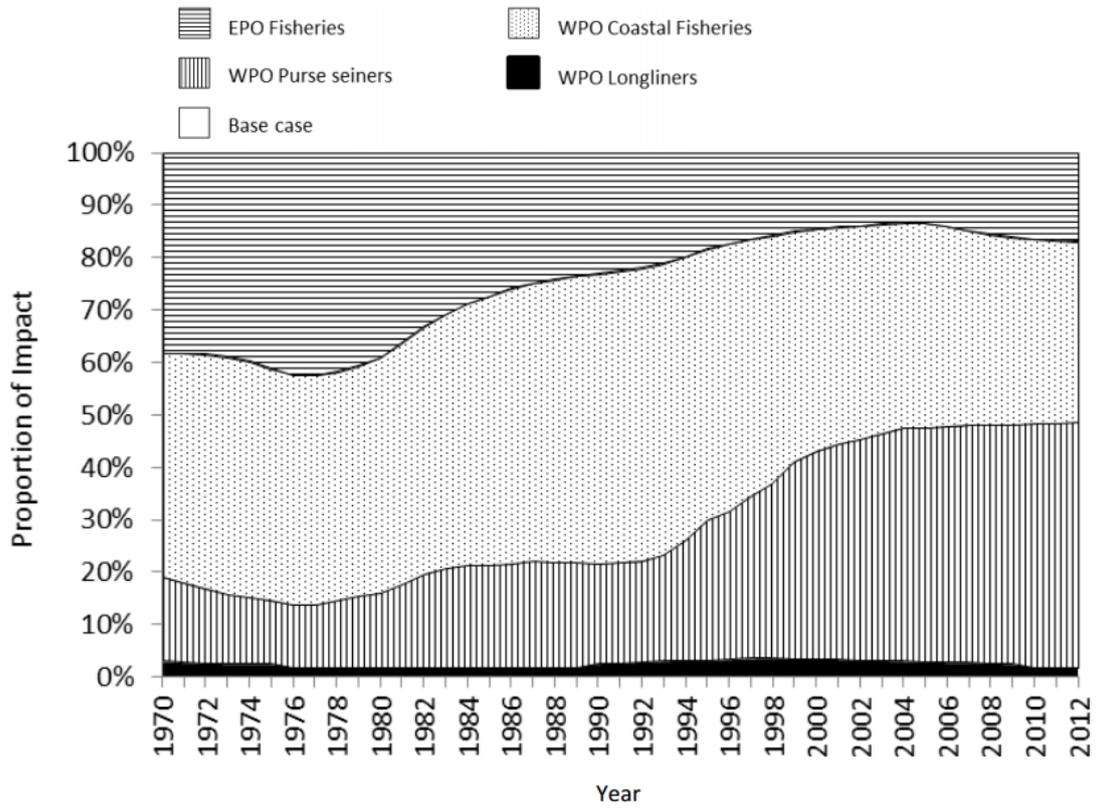
附錄 2. 2003-2013 年，臺灣各縣市的太平洋黑鮪魚獲量 (漁業署，2014)。



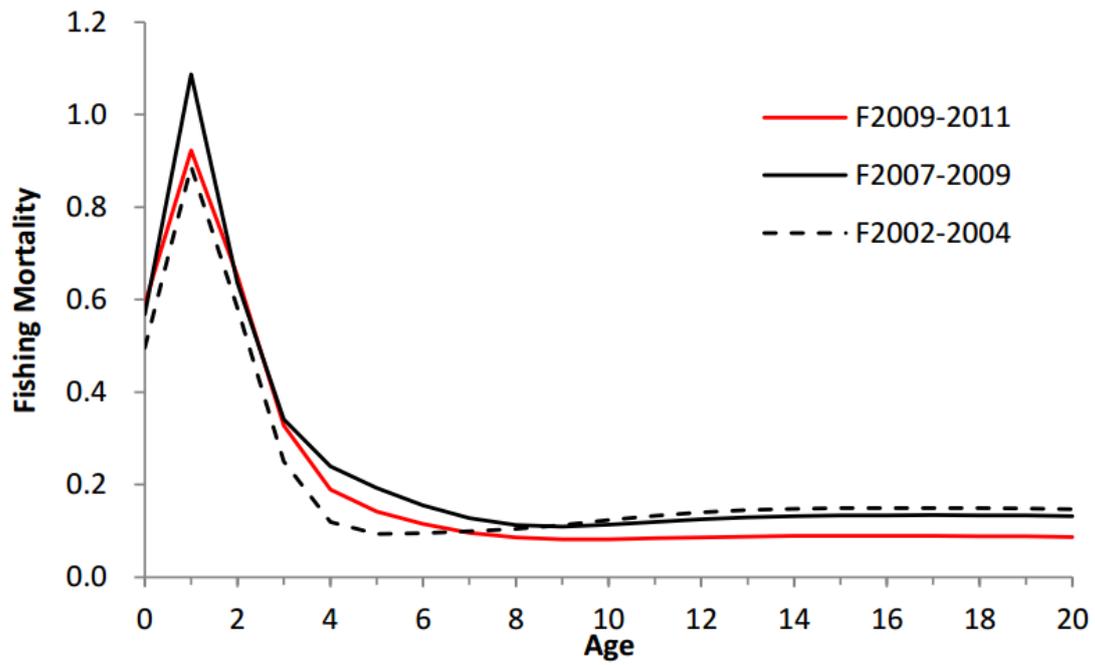
附錄 3. 太平洋黑鮪耳石切片示意圖 (Shimose and Ishihara, 2015)，呈現不對稱的”V”型，以核心為中心，會出現一長軸與一短軸，主要利用長軸的第一轉折後之暗帶來判讀其年齡。



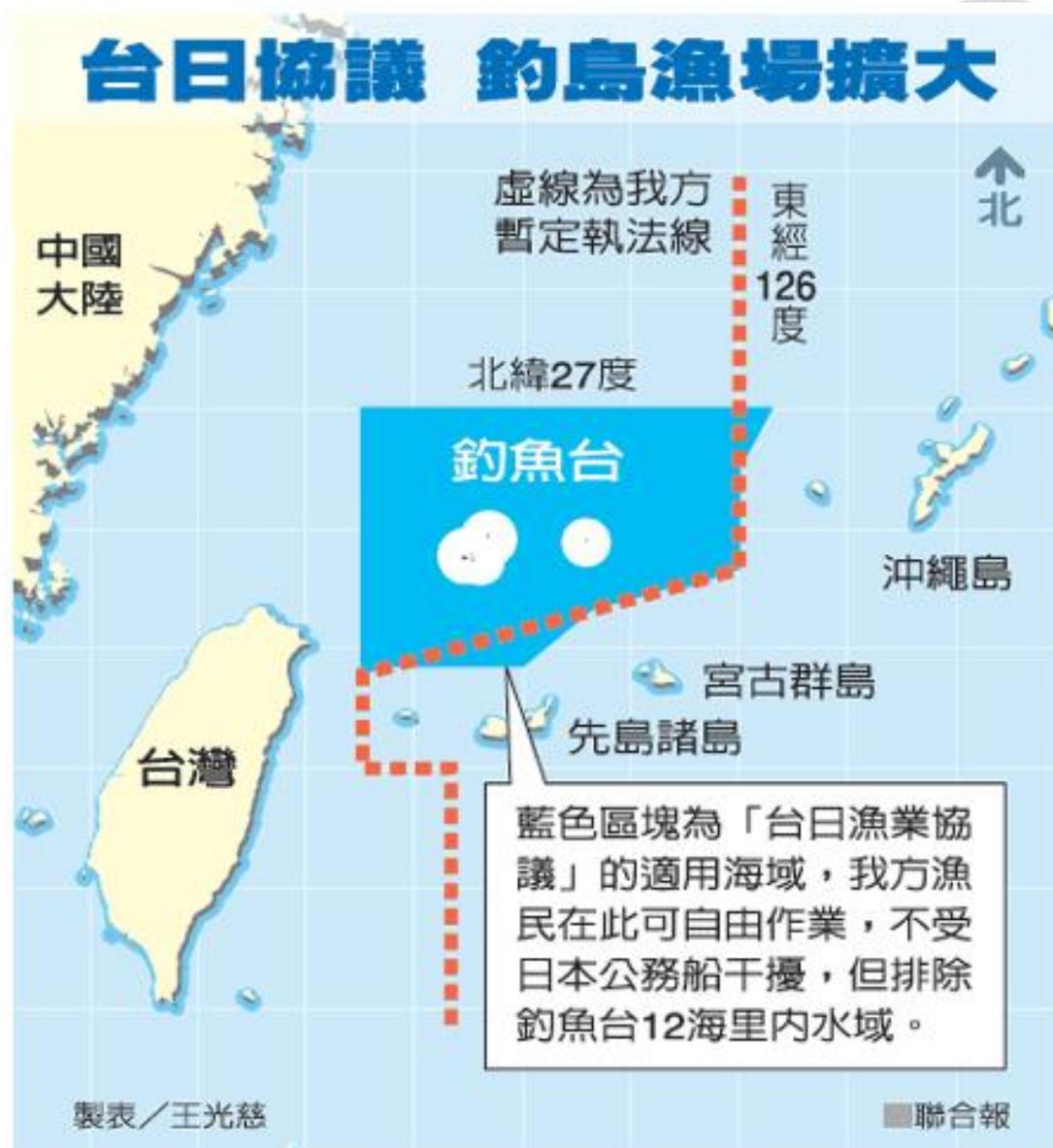
附錄 4. 1952-2013 年日本每年黑鮪曳繩釣產量變化，資料來源由 ISC 網站上所下載 (<http://isc.ac.affrc.go.jp/index.html>)。



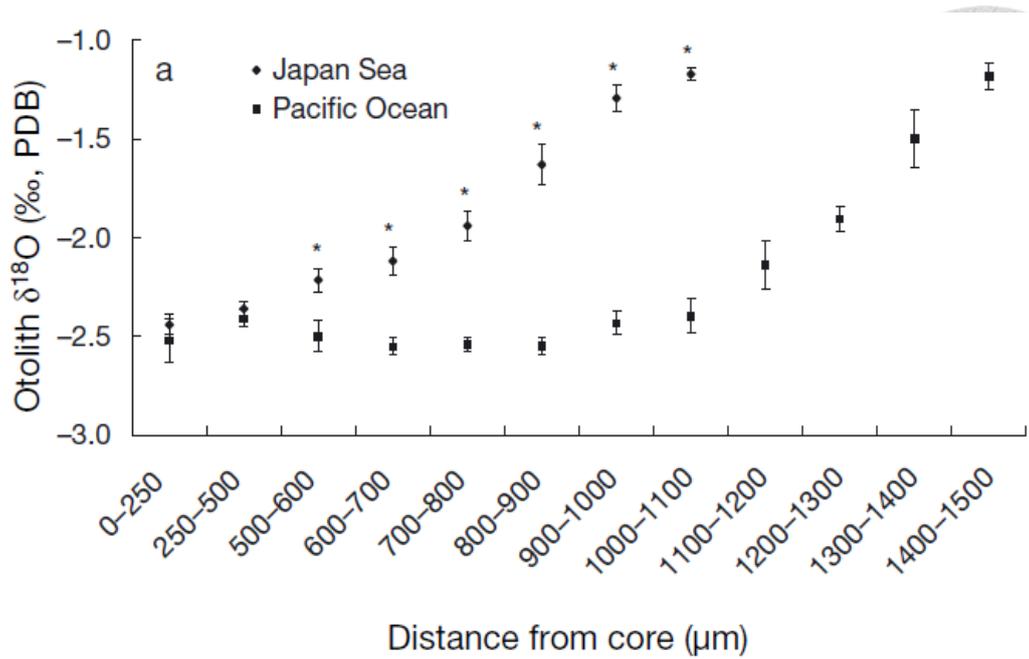
附錄 5. 不同漁業方式對太平洋黑鮪 spawning stock biomass 的影響程度 (ISC 2014)。



附錄 6. 漁業對不同年齡的太平洋黑鮪造成之死亡率，2002-2004 年的情況為黑色虛線，2007-2009 年的情況為黑色實線，2009-2011 年的情況為紅色實線 (ISC 2014)。



附錄 7. 台日漁業協定的內容 (聯合報，2014)。



附錄 8. 太平洋黑鮪由核心至距離核心 1500  $\mu\text{m}$  之  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值變化，由此圖可看出，來自日本產卵場的個體其  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  數值在距離核心 1000  $\mu\text{m}$  左右會達到最大值，但來自西北太平洋黑潮流域產卵場的個體則在 1500  $\mu\text{m}$  左右才會出現  $\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith}}$  的最大值 (Shiao et al. 2010)。