2014 年臺灣國際科學展覽會
優勝作品專輯

作品編號　**050013**

參展科別　動物學

作品名稱　以魚類耳石探討 ***A.MAMORATA*** 的生長和迴游特性

得獎獎項　大會獎：四等獎

就讀學校　臺北市立建國高級中學

指導教師　李文禮、曾萬年

作者姓名　湯升墉、謝沅伸、莊承翰

關鍵字　***A. mamorata***、耳石、鍶鈣比

作者簡介

(左)我是湯升墉，目前就讀建國高級中學二年級。平時喜歡打球和閱讀，尤其是一些科學雜誌和推理小說。個性活潑開朗，遇到團體事務還滿喜歡參與其中，去年在班上的服務學習競賽扮演領導人的其中之一。我為這次能參加臺灣國際科展感到十分榮幸，希望可以拿下個不錯的成績。

(中)我是謝沅伸，目前就讀臺北市立建國高級中學二年級。我覺得科學一直是我自小至今從未放棄，並且依舊充滿興趣的學科。我覺得從國小到高中、到踏入研究，學習的領域越來越艱深、越來越單一化。在追逐這些細節的過程中，我覺得我看到的、摸到的，是一些大自然中極為微小但又極為神奇的事物。有了這次經驗，我覺得這條路我會繼續走下去。也在此感謝一路走來相互扶持的朋友。

(右)我是莊承翰，就讀建國中學二類組，在科學研習社擔任行政，喜歡打球。一年級時，由學校地球科學科李老師引薦，開始投入科展當中。有幸有同組的湯同學和謝同學的幫忙，讓我在社團活動之餘能順利的參與科展，希望參與國際科展能為高中生活留下美好的回憶。

摘要

鱸鰻(*Anguilla marmorata*)曾經是台灣的保育類動物，雖然於 2009 年解除其保育類身分，但對於其生活史目前所知仍然非常有限，相關論文也很少。本研究欲藉由鱸鰻耳石上出現的年輪、日周輪以及微量元素之分析，來重建鰻魚的生長及洄游環境史。我們利用台灣大學漁業科學研究所採自菲律賓的野生鱸鰻和海南島的養殖鱸鰻進行分析，並且和已經發表的日本鰻(*A. japonica*) 文獻比對，以期歸納出鱸鰻的生活史以及棲地利用的特性。本研究的耳石測量在台灣大學漁業科學研究所進行，魚類耳石鍶鈣比則利用中央研究院地球科學研究所的電子微探儀(EPMA) 進行分析。結果發現鱸鰻自海中孵化後約莫經過 130 天會回到陸地的淡水環境成長，這與日本鰻回到陸地鹹淡水環境成長的特性有很大差別。這項發現對今後鱸鰻保育工作的環境管理措施，具有參考價值。

Abstract

The motled eel (*Anguilla marmorata*) has been considered as endangered species and the fishing and aquaculture of this eel is illegal until the ban was lifted in 2009. Because of this ban, few studies have been conducted on its basic biology information that is important for conservation. Our research aims to establish the information of its life history and migratory environmental history by analyzing annulus, daily growth increment and Sr/Ca ratios on its otolith to reconstruct the past migratory environmental history of the eel. The *A. marmorata* samples were collected from the Philippines and Hai-Nan Island of southern China. The results obtained were compared with the published data of Japanese eel (*A. japonica*). The experiment was conducted at the Institute of Fisheries Science, National Taiwan University and the otolith Sr/Ca ratios were measured by EPMA (Electron Probe Micro-Analyzer) in the Institute of Earth Science, Academic Sinica, Taipei. It was found that *A. marmorata* preferred freshwater environment that is different from *A. japonica* that preferred brackish water. This finding is useful to manage the environment for the conservation of the different eel species.

一、 前言

(一) 、研究動機

有一次老師在課堂中提到了「魚類耳石」，它們對於魚類的生長過程提供了寶貴的訊息，頓時我們眼睛為之一亮，魚類耳石原來有這種功能！

為什麼魚類耳石能像日記一般，無時無刻記錄著魚類的一言一行？不同的環境是如何對魚類耳石的化學元素成份產生影響？我們想了解其中的秘密，於是找了生活環境差異大的魚類——鱸鰻(*Anguilla marmorata*)作分析。希望藉由鱸鰻耳石化學元素變化過程來探索其生活史秘密背後的真相。

真骨魚類的耳石(Otolith)位於內耳的膜性迷路內，總計有三對，分別為矢狀石(Sagitta)、星狀石(Asteriscus)以及礫石(Lapillus) (圖 1-1a)。耳石主要的生理功能為聽覺以及平衡。耳石由碳酸鈣($CaCO_3$)及非膠原性的有機基質(non-collagenous organic matrix)交互堆積而成。鰻魚成長具有年週期及日週期的規律性。因此會在耳石出現年輪(annulus)及日周輪(daily growth increment)的構造(Pannella, 1971)。所以耳石可用來判定魚類的年齡及日齡(Campana and Neilson, 1985)。

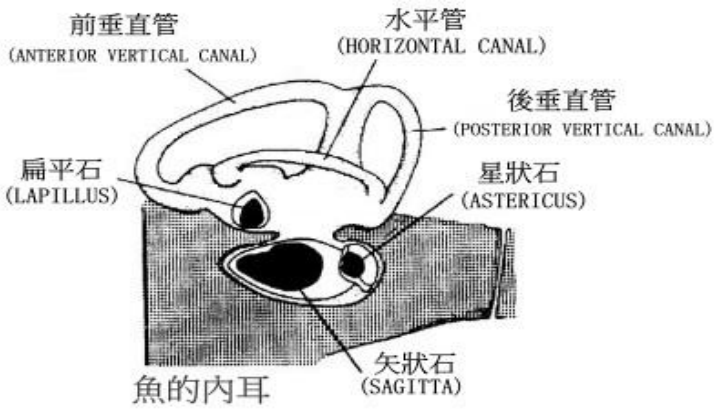


圖 1-1a 魚的內耳及三對耳石位置

耳石中可偵測到的元素約有 31 種，其中主要的元素(major elements, >100 ppm)為構成碳酸鈣的鈣(Ca)、氧(O)及碳(C)；次要元素(minor elements, 1-100 ppm)為鈉(Na)、鍶(Sr)、鉀(K)及構成有機基質的硫(S)、氮(N)、氯(Cl)及磷(P)等；微量元素(trace elements, <1 ppm)則有 20 種以上，包括鎂(Mg)、鋅(Zn)、硼(B)、鐵(Fe)、汞(Hg)、錳(Mn)、鋇(Ba)、銅(Cu)等。就重量組成而言，碳酸鈣約佔 96.2%，有機質 3.1%，剩下的次要及微量元素合起來還不到 1%，雖然比例極低，但卻提供很多相關的環境訊息(Campana, 1999)。

耳石中的微量元素，來自外在水體環境，經由鰓或是消化道吸收之後進入血液及內淋巴系統，然後才沉積在耳石上，而耳石上的微量元素組成的變化可反應魚類棲息環境的特徵。因為不同環境中微量元素差異很大，各個地點間的元素組成特性也不同，因此耳石微量元素的分析可用在魚類的洄游環境史(migration environmental history)、族群鑑定(stock identification)、環境污染(pollution)及生理指標(physiological indicators)等之研究(Campana, 1999; Campana et al., 1995; Gillanders and Kingsford, 1996)。

(二) 、研究目的及問題點

鱸鰻(*Anguilla marmorata*)，俗名花鰻，為兩側洄游型魚類(catadromous fishes)，在河川、湖泊、河口與沼澤中棲息成長，成熟後洄游到海洋中產卵，產完卵後就死亡(圖 1-1b)。鱸鰻在分類學上屬於鰻鱺目(Anguilliformes)、鰻鱺科(Anguillidae)，是台灣的特有種，直至 2009 年都屬於台灣的保育類動物，所以至目前為止台灣對於此生物的生活史研究可說是少之又少。因此我們利用耳石中紀錄的元素訊息(例如耳石鍶/鈣比，Sr/Ca concentration ratio)以及耳石的日周輪、年輪來重建其在河川的生活史，以便了解鱸鰻代代繼承的洄游規律性和棲地利用特徵，提供鱸鰻棲地保育之參考。

圖 1-1b 鰻魚的生活史

具體的研究目的及邏輯列舉如下：

1. 海水中的鍶(Sr)濃度是淡水者的 100 倍，由於無法測得絕對值，故以 Sr/Ca 比 將耳石的鍶(Sr)濃度標準化，再來探討耳石 Sr/Ca 比變化的意義。耳石中的鍶元素是魚類從海水環境中吸收而來，因此利用耳石中的鍶鈣比之時序列變化，可以了解鱸鰻的洄游模式及棲息成長環境，藉此判斷牠是屬於「不必溯河的海水鰻(seawater contingent)」或「典型的淡水鰻(Freshwater contingent)」或「河口型鰻(Estuary eel)」(Tzeng et al. 2002)。

2. 耳石年輪可以推算鱸鰻的年齡、日周輪可以推算其日齡及孵化日，綜合上述鍶鈣比之時序列變化、年輪及日周輪等資訊，可以計算其成長率和棲地利用的時間範圍，進而完整歸納出鱸鰻的生活史。

3. 鱸鰻屬於食補的中藥材，因稀有容易受到過度捕撈，若能確切掌握其生活史，即能進行保育，並有效規劃鱸鰻資源的永續利用。

二、 材料及研究方法

(一) 、樣本採集

我們利用臺灣大學漁業科學研究所採自菲律賓和海南島的鱸鰻標本(圖1-2)，進行耳石標本的製備。利用中央研究院地球科學研究所的

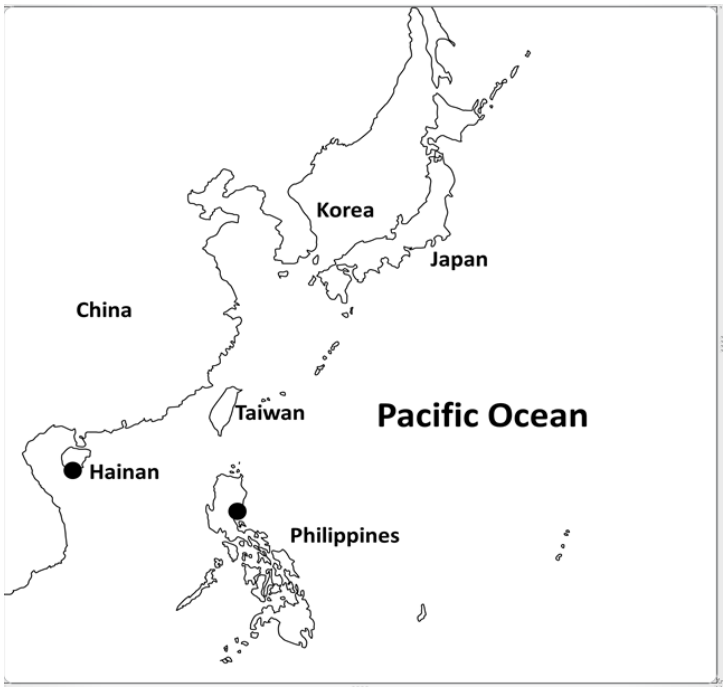


圖 1-2、鱸鰻樣本採集地點(菲律賓與海南島，黑色點

電子微探分析儀(Electron Probe Micro Analyser, EPMA)進行鱸鰻耳石中的鍶、鈣濃度之測量，然後藉由耳石中鍶鈣比值的時序列變化和年輪的比對，推測鱸鰻何時游到河裡或海水中，進而瞭解鱸鰻的洄游生活史。並且與台灣河流的鱸鰻和日本鰻之研究結果 (Shiao et al. 2003) 做比較，最後歸納鱸鰻洄游生活史的通則。菲律賓的鱸鰻標本是 2012 年 6 月 8 日採自菲律賓 Ditela Dumpina River 上游的淡水環境。海南島的鱸鰻標本則是採自海南島北部三亞的一個室外養殖池，養殖用水來自附近的淡水水庫，實驗之前則蓄養在 1.5% 海水。海南島的鱸鰻標本經歷不同的鹽度環境，正好用來驗證耳石中的鍶鈣比值與鱸鰻棲息環境的鹽度之關係。本研究共測量七尾菲律賓的野生鱸鰻和

兩尾海南島的養殖鱸鰻，標本的捕獲日期、鱸鰻全長和頭部長度以及耳石長度和重量分別如表一、二所示。

編號	捕獲日期	鱸鰻全長 (mm)	鱸鰻頭部長度 (mm)	耳石長度 (mm)	耳石重量 (g)
1A	2012/8/6	541.13	81.17	3.52	0.0084
2A	2012/8/6	553.86	83.08	3.67	0.0059
3A	2012/8/6	553.73	83.06	3.53	0.0071
10A	2012/8/6	391.33	58.67	2.49	0.0032
11A	2012/8/6	378.06	56.71	2.38	0.0029
12A	2012/8/6	344.06	51.61	2.47	0.0032
13A	2012/8/6	392.60	58.89	2.52	0.0049

表二、海南島鱸鰻的耳石樣本

編號	捕獲日期	魚頭長度(mm)	耳石重量
B08	2009/3/29	913	0.0089
A15	2009/3/28	775	0.0091

(二) 、耳石的製備

本研究以三對耳石中最大的矢狀石(Sagitta，以下稱之為耳石)進行年齡查定及元素組成分析。在解剖顯微鏡(SMZ-10; Nikon)下將耳石自魚體取出後，先浸泡在 1%氫氧化鉀水溶液(KOH)中，用以除去附著在耳石上的殘餘組織。耳石經過純水清理乾淨和自然風乾後，用電動游標尺測量頭長和其長度(圖 2-1)，用電子磅秤測量其重量(2-2)，然後再將耳石封埋於環氧樹脂 (Epofix, Struers)中(圖 2-3)，在攝氏 70 度的烤箱中靜置 40 至 60 分鐘使其硬化。耳石試樣經樹酯封埋硬化後，先以慢速切割機(圖 2-6)切割成適當大小，利用平置轉盤式研磨機(圖 2-9)以粗細程度不等的砂紙及 0.05 μm 的氧化鋁粉(Al2O3)，沿

著縱切面研磨至耳石中心點(Primordium)出現。耳石經過研磨拋光後，再以表面光拍照(圖 2－12～2－19)。

耳石經由 EPMA 進行 Sr, Ca 元素分析之後，再以清水將耳石試樣表面拋光，然後以 5%的 EDTA(ethylenediaminetetraacete acid)蝕刻 1 分鐘，再以光學顯微鏡或掃描式電子顯微鏡(Scanning Electronic Microscopy, SEM; JSM-6360LV, JEOL)觀察耳石上的年輪或日週輪構造來判定鰻魚的年齡和日齡。最後由耳石鍶鈣比隨年齡的變化，重建鰻魚洄游環境史及微棲地利用的時間變化

圖 2-1 電動游標尺

圖 2-2 電子磅秤

圖 2-3 耳石塑形容器，環氧樹脂

圖 2-4 熱熔膠槍和空氣球

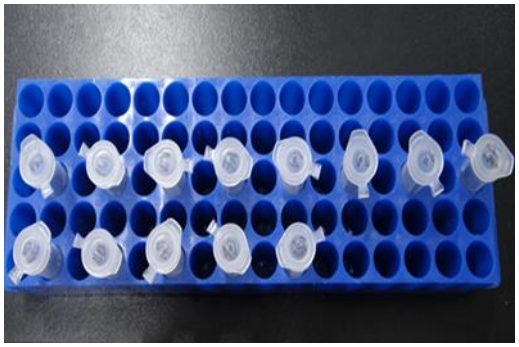


圖 2-5 放置耳石的離心管

圖 2-6 慢速切割機

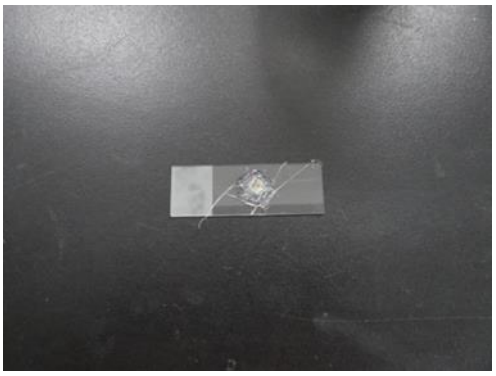


圖 2-7 利用熱融膠固定有環氧樹脂包覆的耳石

圖 2-8 研磨耳石的砂紙

圖 2-9 耳石研磨機

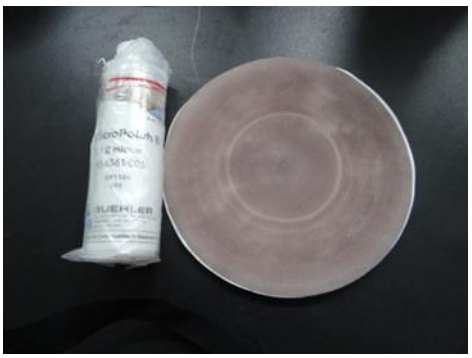
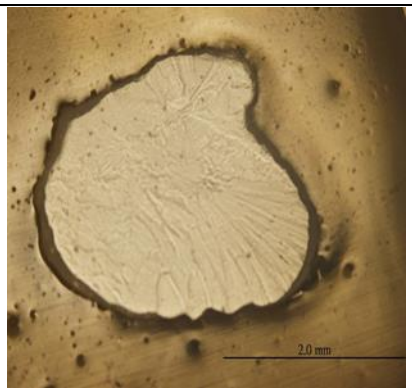
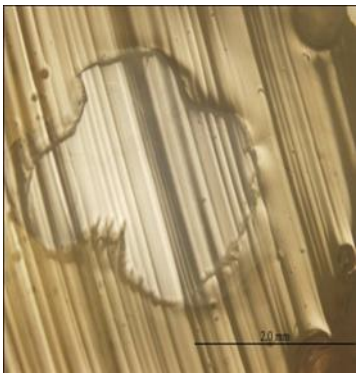
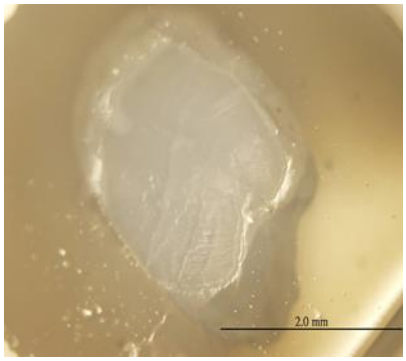
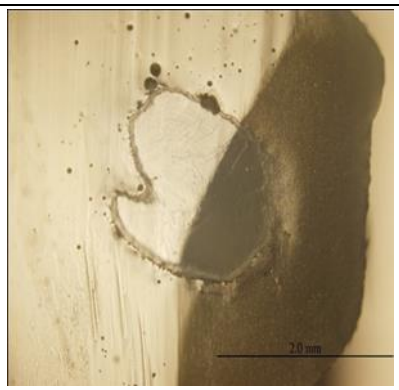
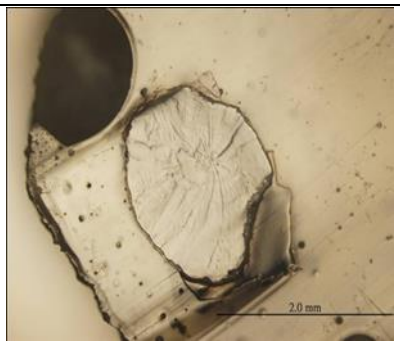
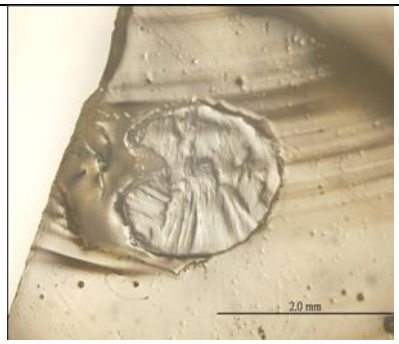
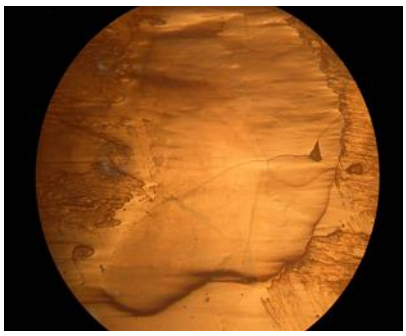
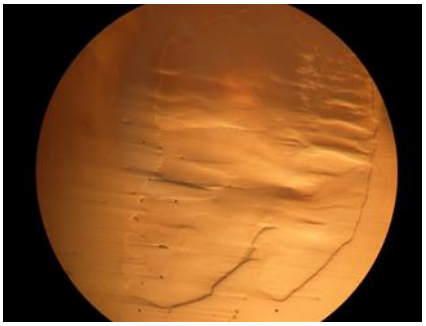


圖 2-10 研磨耳石的氧化鋁粉和絨布

圖 2-11 利用顯微鏡搭配電腦設備觀察研磨情形

 圖 2-12 研磨完成的菲律賓鱸鰻的耳石 1A	 圖 2-13 研磨完成的菲律賓鱸鰻的耳石 2A
 圖 2-14 研磨完成的菲律賓鱸鰻的耳石 3A	 圖 2-15 研磨完成的菲律賓鱸鰻的耳石 10B
 圖 2-16 研磨完成的菲律賓鱸鰻的耳石 11A	 圖 2-17 研磨完成的菲律賓鱸鰻的耳石 12A
 圖 2-18 研磨完成的海南鱸鰻的耳石 A15	 圖 2-19 研磨完成的海南鱸鰻的耳石 B08

(三) 、利用 EPMA 分析耳石元素組成

進行耳石元素分析前，先將耳石放入烤箱中去除多餘的水分，再放入真空的保存箱中，確保完全乾燥。經過耳石表面鍍炭後便可進行鍶及鈣的含量測定。鍶鈣比的測定是利用電子微探儀(Electron probe Micro Analyzer, EPMA;JXA-8900R, JEOL)的波長散射儀(Wavelength dispersive spectrometer, WDS)，偵測鈣 Kα 及鍶 Lα 的特性 X-ray 訊號，然後分別以碳酸鈣(Calcite, $CaCO_3$; NMNH 136321)及碳酸鍶(Strontianite, $SrCO_3$.NMNH R10065)的標準試片檢量，再以 ZAF 方法(Z: atomic number, A: absorption, F: fluorescence correction)計算得之(Tzeng 1996)。

測量鍶及鈣時是自耳石核心至邊緣，每隔 10μm 打點的穿越線的方式測定之(Chang et al., 2004)。耳石中鍶和鈣含量時間變化之測定，乃採用穿越線的方式，由耳石核心掃描至邊緣以 10 或 20μm 的等距離測定之(Chang et al. 2003)。根據 Tzeng (1996)的實驗結果，若耳石 Sr/Ca 小於 4.0×10^{-3}，則表示鰻魚在淡水水域移動；若高於 4.0×10^{-3}，則表示在海水移動；若在 4.0×10^{-3} 上下變動，則表示在河口附近移動。

因此，可以利用耳石的鍶和鈣的變化，將鰻魚分為不同洄游類型。同時也針對已知環境的養殖鰻進行耳石鍶和鈣與鹽度的關係之驗證，提高利用耳石鍶和鈣來重建野生鰻的洄游環境史的可靠性。

三、 結果與討論

(一) 、耳石與魚體的相對成長

由圖 3-1 和圖 3-2，得知耳石長度和重量與頭長之間呈現正相關關係，而頭長又隨體長增大。由此可印證耳石隨魚類生長會越來越大的預測。因此耳石大小即代表魚體的生長。

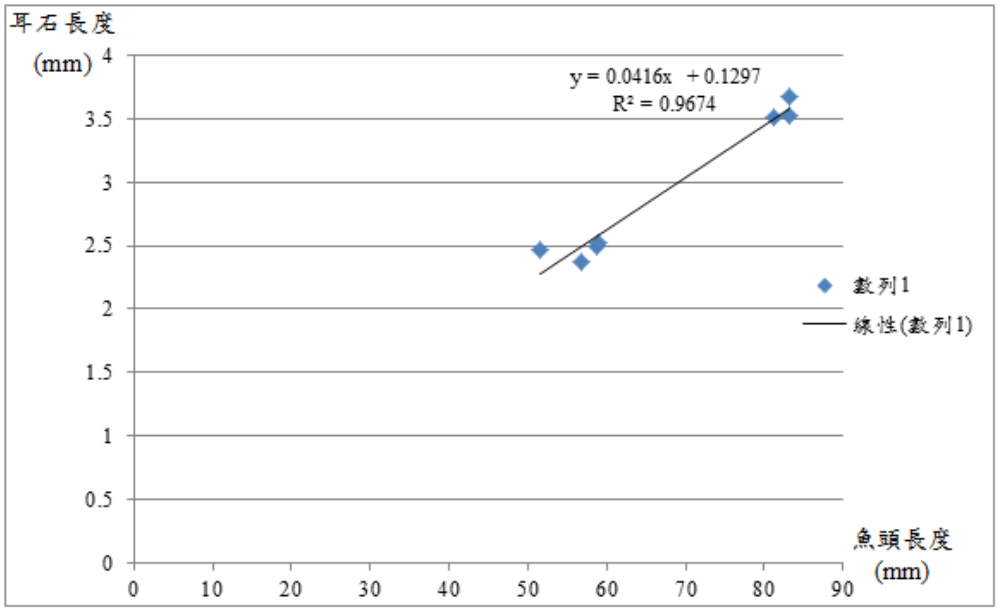


圖 3-1 菲律賓鱸鰻耳石長和頭長的相對成長關係圖

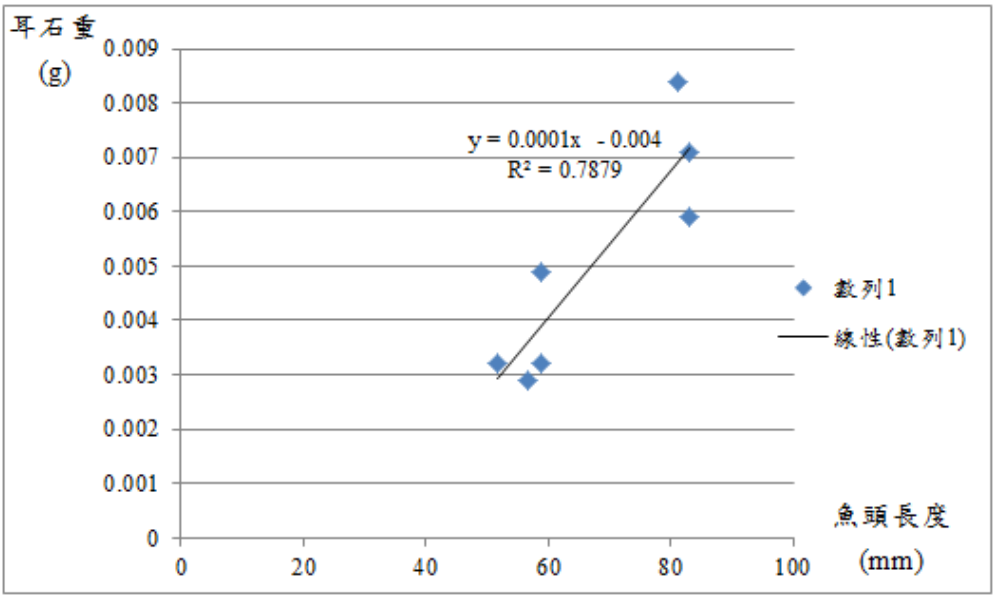


圖 3-2 菲律賓鱸鰻耳石重和頭長的相對成長關係圖

(二) 、耳石鍶鈣比(Sr/Ca ratio)與鹽度變化的關係

由養殖資料得知，海南島鱸鰻的養殖用水是來自附近的淡水水庫，養殖實驗結束之前則蓄養在 1.5% 海水。兩尾海南島鱸鰻的耳石的 EPMA 分析結果，也顯示其耳石鍶鈣比分別在距離耳石核心 900um 和 1200um 的地方，有大於千分之四的情形(圖 4-1～4-2)。黃色直線的鍶鈣比為 0.004，黃線上方代表鱸鰻養在海水，黃線下方則代表鱸鰻養在淡水。海南島的養殖鱸鰻，可以驗證以鍶鈣比推測鱸鰻在海中或是淡水的判斷。由此可見，耳石鍶鈣比可以反映鱸鰻外在海水和淡水環境。

(三) 、菲律賓野生鱸鰻的耳石鍶鈣比變化

圖 5 是菲律賓鱸鰻的耳石鍶鈣比的時間變化圖。以圖 52 的菲律賓鱸鰻耳石鍶鈣比為例來說明;縱軸代表鍶對鈣的比值,橫軸代表耳石核心(core) 到 耳石邊緣的距離(微米) ，藍色折線代表鍶鈣比的變化，而黃色直線的鍶鈣比為 0.004,黃線上方代表鱸鰻在海洋活動,黃線下方則代表鱸鰻在河川(淡水)活動。有些 EPMA 分析並沒有一開始急遽升高的一段，是因為過度研磨耳石導致耳石中心點損壞或是尚未磨到中心點而無法讀取。

由菲律賓的野生鱸鰻的耳石 Sr/Ca 比的變化(圖 5-1~圖 5-6)，由於鱸鰻在海洋中誕生,故耳石核心部分,亦即 leptocephalus 階段的鍶鈣比 (詳圖 1-1b，life cycle of the eel)急遽飆高,glass eel 進入淡水後(亦即 距離耳石核心 100 um 之後)耳石鍶鈣比則一直維持在千分之四以下,可見鱸鰻在黃鰻階段(yellow eel, 圖 1-1b)到被捕為止，幾乎所有時間都生活在淡水環境，屬於典型的淡水鰻 (Typical freshwater eel , freshwater contingent)。

(四)、菲律賓野生鱸鰻與台灣野生鱸鰻以及日本鰻的耳石鍶鈣比之比較

國立台灣大學曾萬年教授的研究團隊曾於 2003 年發表台灣野生鱸鰻以及日本鰻的耳石鍶鈣比論文**"Disparities in habitat use and migratory behavior between tropical eel *Anguilla marmorata* and temperateeel *A. japonica* in four Taiwanese rivers"(Shiao et al. 2003)**，其中有關台灣野生鱸鰻以及日本鰻(台灣兩大優勢鰻種)的鍶鈣比分析結果，分別如圖 6-1~6-4 和 7-1~7-4 所示 。發現台灣鱸鰻跟菲律賓鱸鰻相同，都屬於典型的淡水鰻(Freshwater contingent): 而日本鰻則以「河口型鰻(Estuary eel)居多(佔 75)，其次才是「典型的淡水鰻(Freshwater contingent)」(約 25%), 以及少數的海水鰻(seawater contingent)」(Tzeng et al. 2002)。由此可見，台灣的鱸鰻和日本鱸鰻在黃鰻階段的棲息寒環境有很大的區別。亦即鱸鰻在河川的成長期限偏向往河川上游發展，然而日本鱸鰻卻停留在下游河口附近。這樣的環境區隔，推測應該是為了降低互相競爭棲地和食物的演化現象。

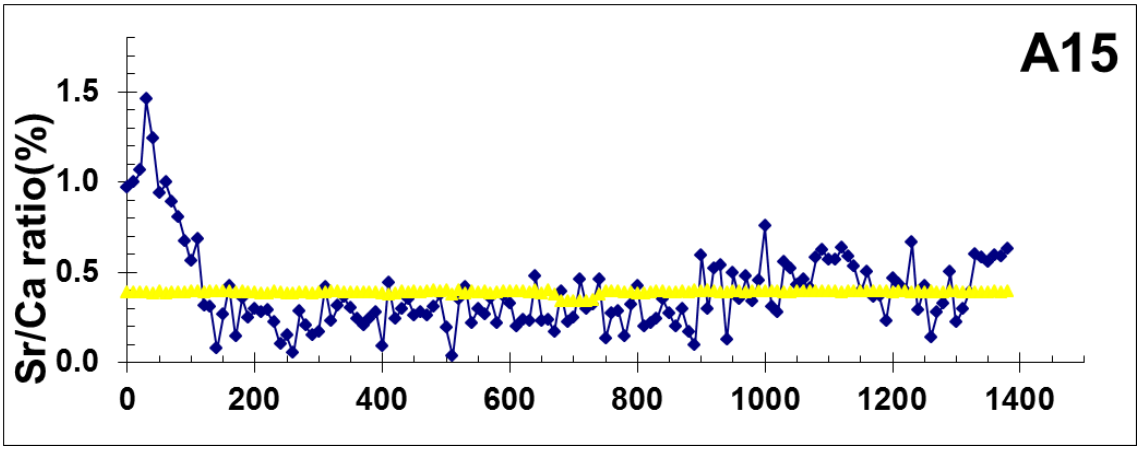


圖 4-1 海南島鱸鰻(A15) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

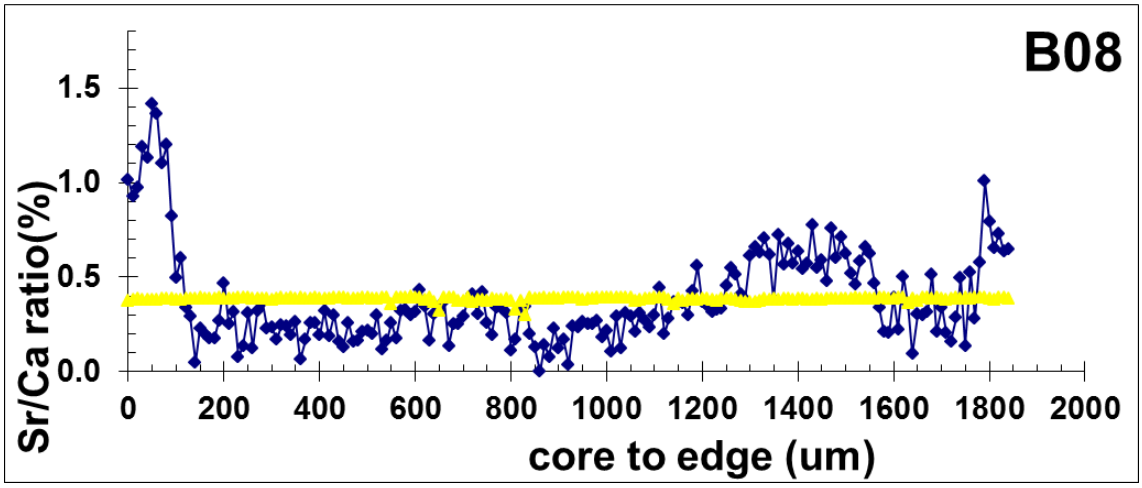


圖 4-2　海南島鱸鰻(B08) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

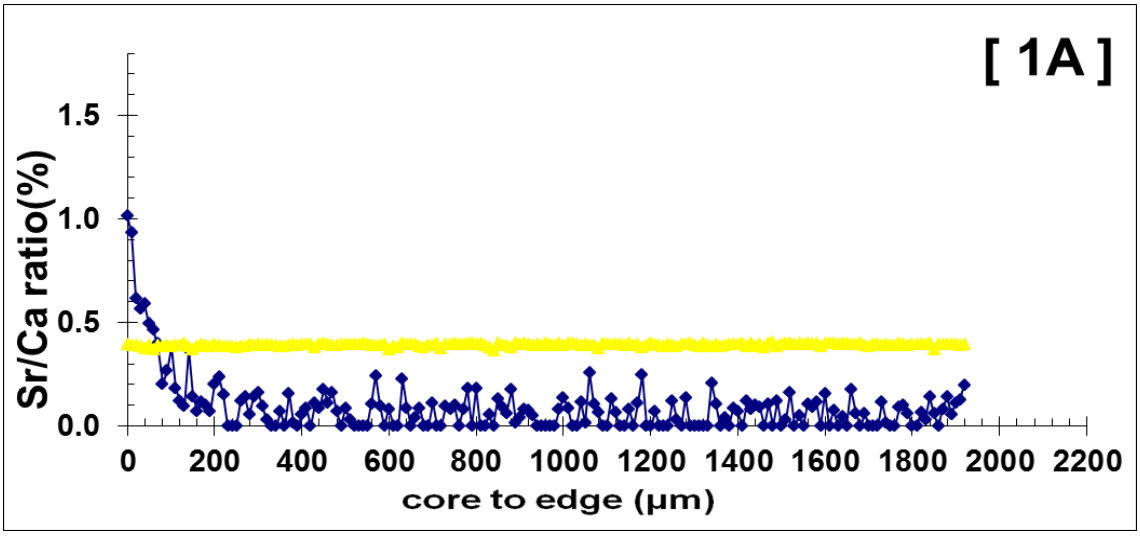


圖 5-1 菲律賓鱸鰻(1A) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

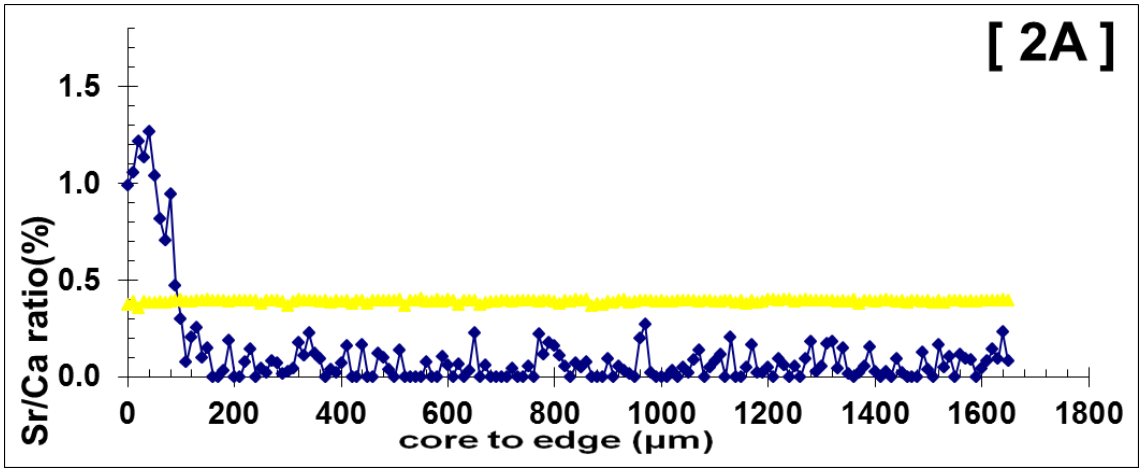


圖 5-2 菲律賓鱸鰻(2A) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

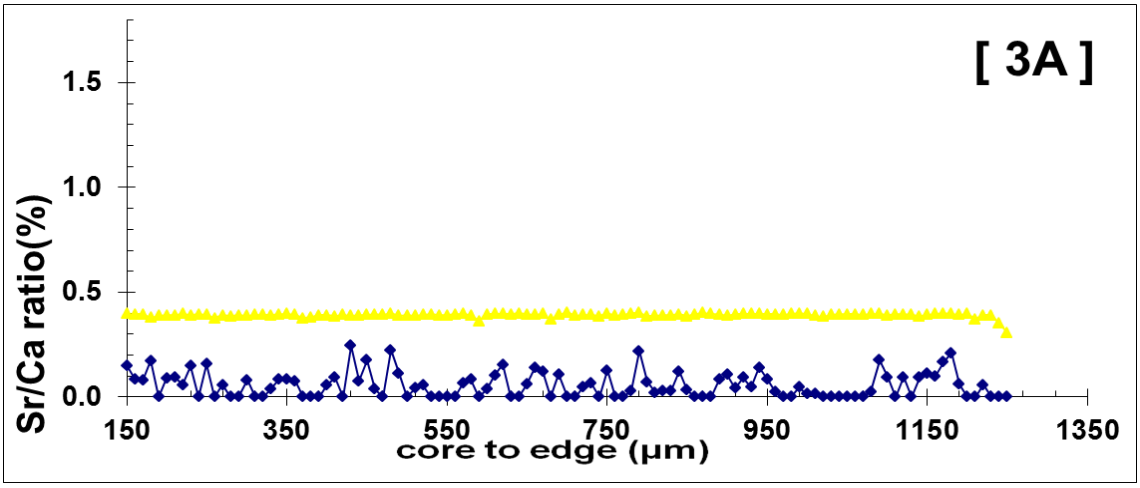


圖 5-3 菲律賓鱸鰻(3A) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

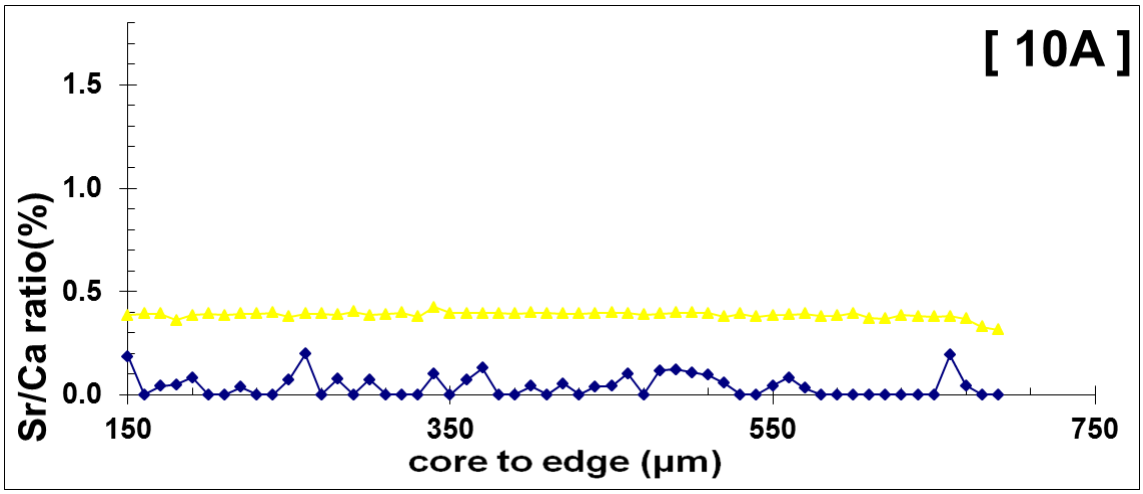


圖 5-4 菲律賓鱸鰻(10A) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

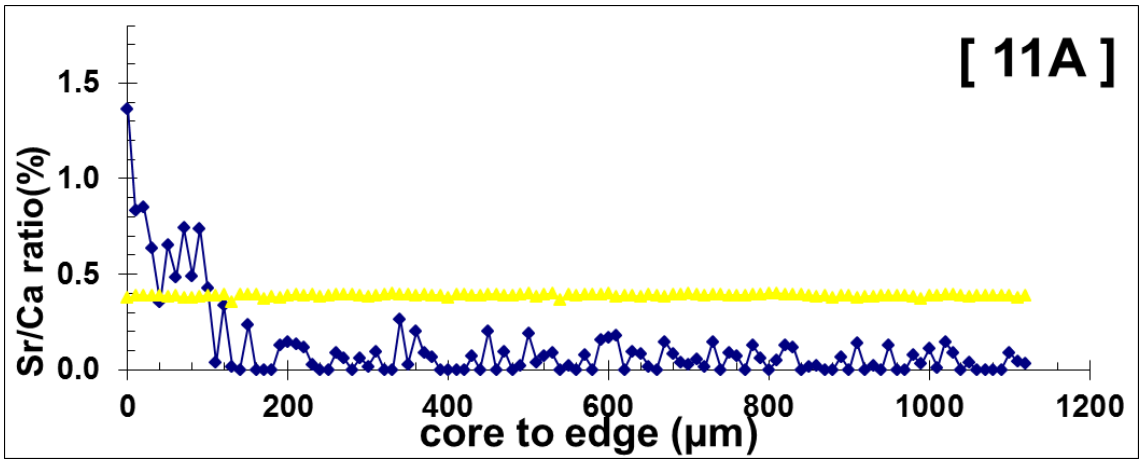


圖 5-5 菲律賓鱸鰻(11A) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$)表示海水和淡水的界限

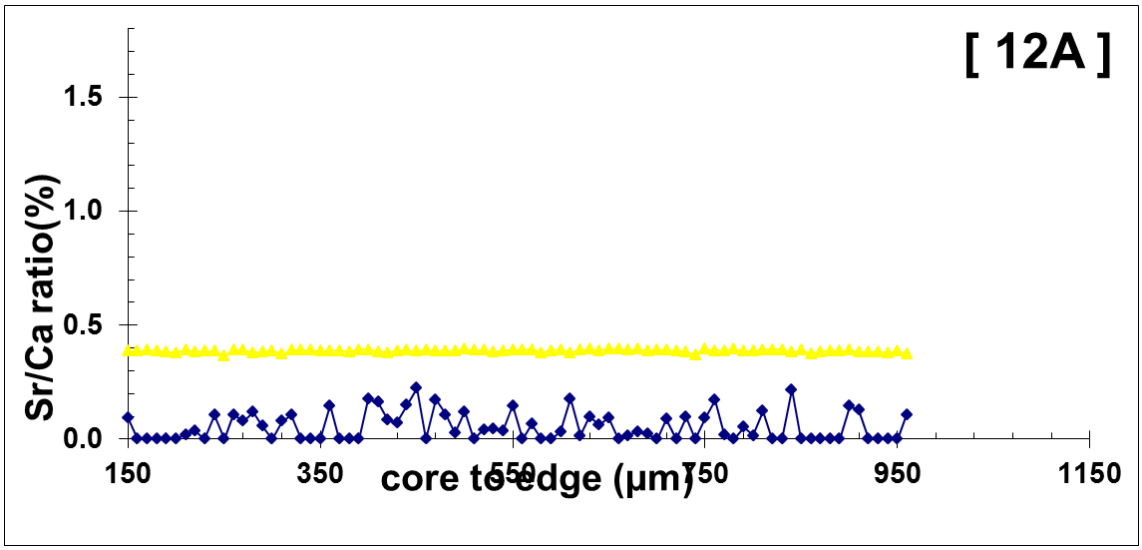


圖 5-6 菲律賓鱸鰻(12A) 從耳石核心(core) 到 邊緣的時間變化。黃色線(Sr/Ca 比為 $0.4x10^{-2}$) 表示海水和淡水的界限

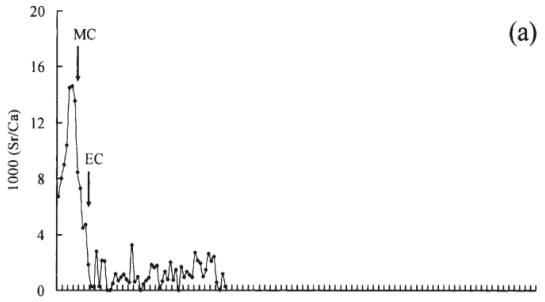


圖 6-1 臺灣鱸鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石邊緣的變化(之一)

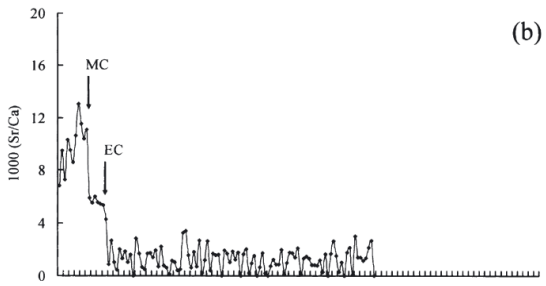


圖 6-2 臺灣鱸鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石邊緣的變化(之二)

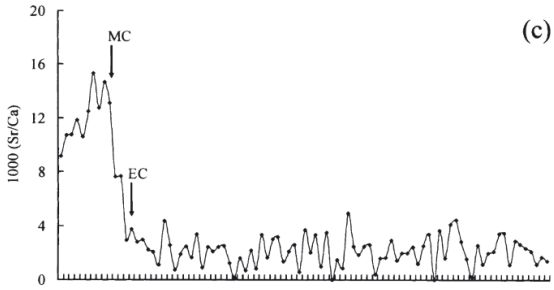


圖 6-3 臺灣鱸鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石邊緣的變化(之三)

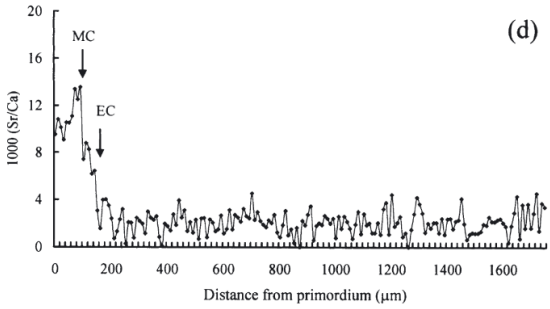


圖 6-4 臺灣鱸鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石邊緣的變化(之四)

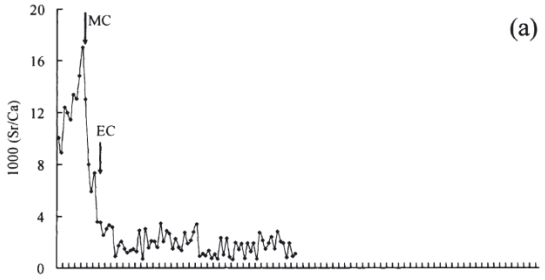


圖 7-1 日本鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石邊緣的變化(之一)

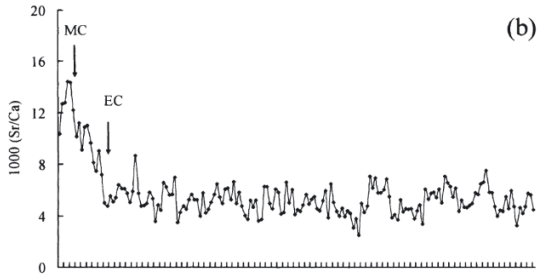


圖 7-2 日本鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石 緣的變化(之二)

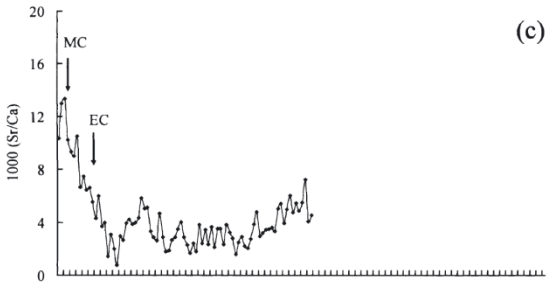


圖 7-3 日本鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石邊緣的變化(之三)

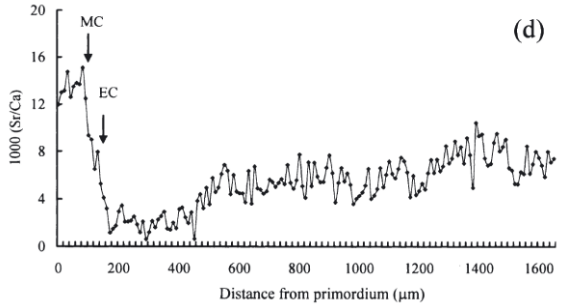


圖 7-4 日本鰻耳石鍶鈣比從耳石核心(primordium) 到耳石 緣的變化(之四)

(五) 、耳石年輪和鍶鈣比的對照

圖 8-1 是海南島鱸鰻耳石的年輪和鍶鈣比的對照圖。圖 8-2 和 8-3 是菲律賓鱸鰻耳石年輪和鍶鈣比的對照圖。海南島和菲律賓都是熱帶地區，溫度的季節性變化不明顯，因此年輪不是很清楚，這和溫帶性的日本鰻有清楚的年輪是不同的。但是還是可以約略看到年輪，以圖 8-2 的樣本 11A 來說明，紫色線條在輪上那一點為 x 天，而那點離中心點 0.1mm(100 微米)，而第一年的年輪離中心點 0.279mm(279 微米)，估算得 x/365=0.1/0.279，x=130.8，則可以得知鱸鰻自孵化後到回到淡水環境約莫經過 131 天。而以相同的方法對 2A 進行檢驗，發現它約莫 135 天回到淡水河流。由以上兩項可以得知，菲律賓鱸鰻約孵化 130 多天左右可以回到河流之中。

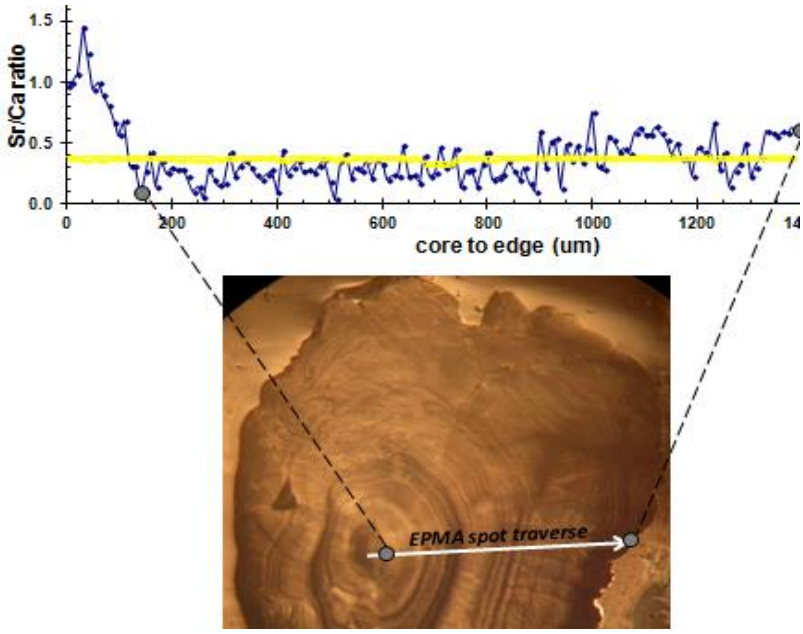


圖 8-1 海南島鱸鰻耳石 EPMA 測量軸上的鍶鈣比變化

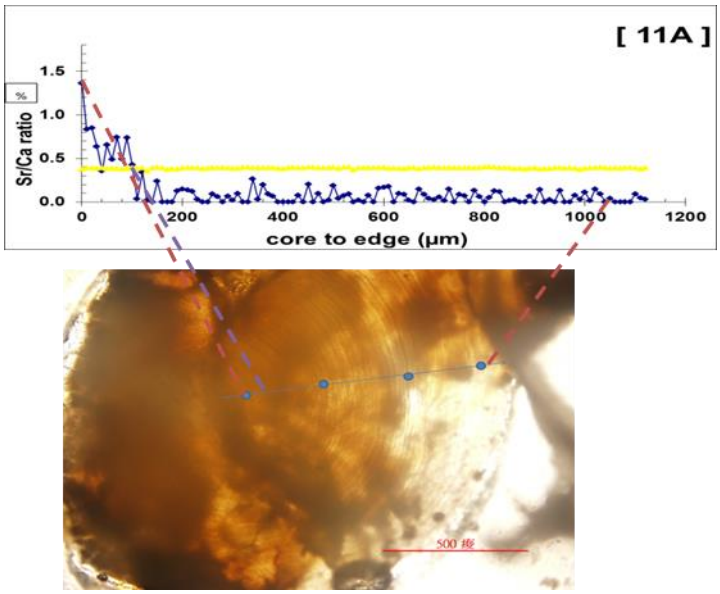


圖 8-2 菲律賓耳石(11A) EPMA 測量軸上的鍶鈣比變化

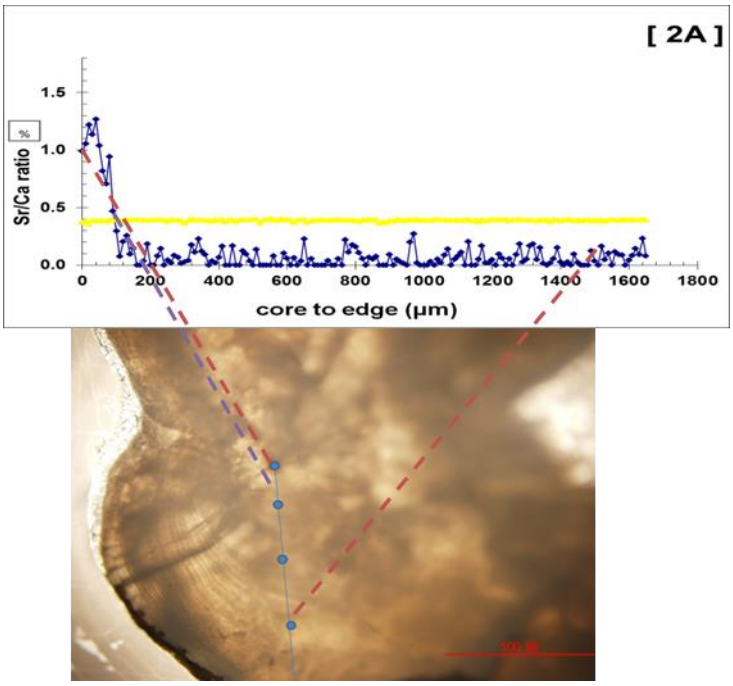


圖 8-3 菲律賓鱸鰻耳石(2A) EPMA 測量軸上的鍶鈣比變化

四、 結論與應用

(一)、 耳石的長度和頭長有正相關關係，兩者的相關係數(R2=0.9674)十分接近 1: 耳石重量和頭長也成高度相關(R2=0.7879)。這項結果應證了耳石隨鱸鰻生長的正向關係。

(二)、 海南島鱸鰻先養殖在淡水，而後在養殖在海水中，證明了耳石 Sr/Ca 為千分之四時，可以作為鱸鰻生活在淡水和海水的分界線。

(三)、 菲律賓鱸鰻的耳石 Sr/Ca 分析結果，證明鱸鰻屬於典型的淡水鰻(freshwater contigent)，出生在海水中，但在淡水中成長。

(四)、 台灣的鱸鰻和菲律賓鱸鰻一樣，都屬於典型的淡水鰻(freshwater contingent)。

(五)、 鱸鰻和日本鱸鰻在黃謾階段的棲息地之喜好性不同,鱸鰻偏向往上游發展，日本鱸鰻卻停留在下游甚至河口附近，推測可能和降低棲地和食物競爭有關。

(六)、 因鱸鰻和日本鰻在黃謾階段的棲地喜好性不同，建議棲地保育和資源管理時，鱸鰻和日本鰻應分開管理。

五、 參考文獻

(一)、 曾萬年 (1995) 會寫日記的魚類-從鰻魚耳石的日週輪及微化學分析談起。中國水產月刊 第 515 期 19-25 頁。

(二)、 曾萬年 (2009)隱藏在內耳裡的魚類生活史秘密。臺大校友雙月刊第 62 期 14-19 頁。

(三)、 Campana SE (1999) Chemistry and composition of fish otolith : pathways, mechanisms and application. Mar. Ecol. Prog. Ser.188:263-297

(四)、 Campana SE and Neilson JD (1985) Microstructure of fish otolith.Can. J. Fish. Aquat. Sci.41:1014-1032

(五)、 Campana SE, Fowler AJ, Jones CM, Thorrold SR (1995) Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otoliths using solution-based ICPMS . CAN. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 1421-1430

(六)、 Chang CW, Lin SH, Iizuka Y and Tzeng WN (2004) The relationships between Sr:Ca ratios in the otoliths of great mullet Mugil cephalus and ambient salinity: validation, mechanism and application. Zool. Stud. 43(1):74-85

(七)、 Gillanders BM and Kinsford MJ (1996) Elements in otoliths may elucidate the contribution of estuarine recruitment to sustaining coastal reef population of a temperate reef fish. Mar. Ecol. Prog. Ser. 201:273-286

(八)、 Pannella G (1971) Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. Science 173:1124-1127

(九)、 Shiao JC, Iizuka Y, Chang CW and Tzeng WN (2003) Disparities in habitat use and migratory behavior between tropical eel Anguilla marmorata and temperate eel A. japonica in four Taiwanese rivers. Mar. Ecol. Prog. Ser. 261: 233-242

(十)、 Tzeng WN (1996) Effects of salinity and ontogenetic movements on strontium: calcium ratios in the otoliths of the Japanese eel, Anguilla japonica Temminck and Schlegel. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 199: 111-122

(十一)、 Tzeng WN, Shiao JC and Iizuka Y (2002) Use of otolith Sr:Ca ratios to study the riverine migratory behaviours of Japanese eel Anguilla japonica. Mar. Ecol. Prog. Ser. 245: 213-221

評語

本研究擬藉由魚類耳石年輪的型態與成份來了解魚產後的迴游環境的過程，尤其針對菲律賓及海南島的野生及養殖種進行探討。研究成果發現鱸鰻孵化後的130 天會回到淡水棲地成長，有相當清楚的詮釋，一篇具學術價值的發現，非常難能可貴。