

池堰式魚道中臺灣石鱚之溯游行爲分區

Zoning of Pool-Weir Type Fishway by Upstream Migration Behaviors of *Acrossocheilus Formosanus*

國立台灣大學農業工程學系所助理教授
兼水工試驗所助理研究員

吳富春

Fu-Chun Wu

國立台灣大學農業工程學系
研究助理

鄭武慎

Wu-Shen Cheng

摘要

本文針對池堰式魚道中臺灣石鱚之溯游行爲分區進行探討。本研究以無線電量測系統監測魚隻在魚道中溯游之軌跡，並利用此資料分析魚隻在魚道溯游過程中泳速及加速度之變化，並根據魚隻泳速及加速度之大小進行運動型態之分類，進而統計魚隻在魚道各位置上出現各種運動型態之次數，繪製魚道運動型態分區圖，最後將各組實驗之運動型態分區圖重疊合併而得到魚隻溯游行爲分區圖。研究結果顯示池堰式魚道之水池可區分為(1)減速→休息區，(2)休息→加速區及(3)加速→減速區等三個溯游行爲區，其中第一及第三分區亦為魚隻處於高速狀態之區域。採用本研究發展之方法分析所得之溯游行爲分區具有相當之聯貫性與一致性，充分反映臺灣石鱚在池堰式魚道中之溯游行爲模式，可供後續魚道設計之參考。

關鍵詞：池堰式魚道，溯游行爲，分區，無線電量測系統，臺灣石鱚。

ABSTRACT

This paper investigates the zoning of pool-weir type fishway by upstream migration behaviors of *Acrossocheilus Formosanus*. This study uses telemetry system for monitoring fishery migration in the fishway. The recorded data are used to analyze the swimming speed and acceleration of the fish. Based on the magnitudes of swimming speed and acceleration, the upstream migration patterns can be categorized. The occurrence frequencies of various migration patterns are evaluated at the corresponding locations of the fishway, and the zones of various migration patterns are plotted along the fishway. These plots are overlapped for zoning of the upstream migration behaviors. The

results reveal that the pool of the fishway can be divide into three zones, namely: (1) decelerating-to-resting zone, (2) resting-to-accelerating zone, and (3) accelerating-to-decelerating zone, of which the first and the third are also categorized as high-speed zone. The proposed methodology results in a continuous and consistent zoning that sufficiently reflects the upstream migration behaviors of *Acrossocheilus Formosanus* in the pool-weir type fishway. The results of the present study provide guidelines for future fishway design.

Keywords: Pool-weir type fishway, Upstream migration, Zoning, Telemetry system, *Acrossocheilus Formosanus*.

一、前言

近年來魚道(Fishway)已被廣泛使用於河川生態之保育及魚類棲地之復育上，魚道之主要目的是在水工結構物中開闢魚類之通道，使魚隻之遷移及運動不因河川中擋水結構物之存在而受到阻絕。魚道之種類繁多，例如池堰式(Pool-weir type)、豎孔式(Vertical slot type)及丹尼爾式(Denil type)等均為常用之魚道型式。由於各式魚道之結構不盡相同，其適用之條件亦有所差異，一般而言池堰式魚道適用於流量較為穩定之河川，豎孔式魚道則可應用在流量不穩且水位變化較大之河川，而丹尼爾式魚道則適用於坡度較陡之河段。除此之外，由於各式魚道內部隔板(Baffle)裝設之不同，亦造成其內部水理條件之差異。根據加拿大之實驗結果(Colavecchia et al., 1998)顯示，魚隻在魚道溯游之過程中會隨時調整泳速以節省體力，達到完成溯游之目的，同時亦會根據魚道之水流速度而改變其溯游泳速。由此可知魚道之水理特性會影響魚類之溯游行為，因此瞭解其相互間之關係無論對於設計有效而實用之魚道或改善既有之魚道均能提供莫大助益。

有鑑於此，筆者乃利用無線電量測系統(Telemetry system)監測魚隻之溯游軌跡，以探討臺灣石鱸(*Acrossocheilus Formosanus*)之溯游行為模式(吳富春等，1998，1999)。根據筆者研究分析之結果初步顯示池堰式魚道之每一水池大致可區分為三個區域，即靠近下游隔板之休息區、靠近上游隔板之跌水渦流區、以及介於兩者

間之加速區(吳富春等，1999)。然而此種分區方式乃是根據實驗觀察及溯游行為分析所概略歸納出來之結果，對於若干溯游行為並無法完全合理地解釋，例如在中間加速區常會出現魚隻休息之情況，而在休息區則常有魚隻高速移動之行為出現。由於分析所用之資料已經過嚴格篩選之步驟(吳富春等，1999)，而這些無法解釋之行為出現次數亦頗高，因此一般相信這些行為並非資料之錯誤或偶發之現象。本研究之目的在建立一套有系統之分析方法，利用無線電量測系統監測所得到之魚隻溯游記錄並根據分析所得之溯游泳速及加速度等資料，將臺灣石鱸在池堰式魚道中之溯游行為做較精確之歸納與分區(zoning)。

二、分析方法

本研究利用無線電量測系統探討臺灣石鱸在池堰式魚道中之溯游行為模式，有關實驗儀器之說明及實驗步驟之細節請參閱筆者前文(吳富春等，1998，1999)。本實驗藉由裝設在魚隻身上之發報器所發出之無線電訊號，透過水中天線、訊號接收器及數位頻譜處理器接收及轉換後，其資料可用以監測魚隻所在位置，並可針對此資料分析其相關位置上之泳速及加速度，進而透過有系統之歸納方法將魚隻之溯游運動型態進行分類，並根據各類運動型態之出現頻率繪製魚道中魚隻之運動型態分區圖，最後將這些圖合併即得到一綜合之魚道溯游行為分區圖。上述分析之流程如圖1所示，以下針對各分析步驟進行說明。

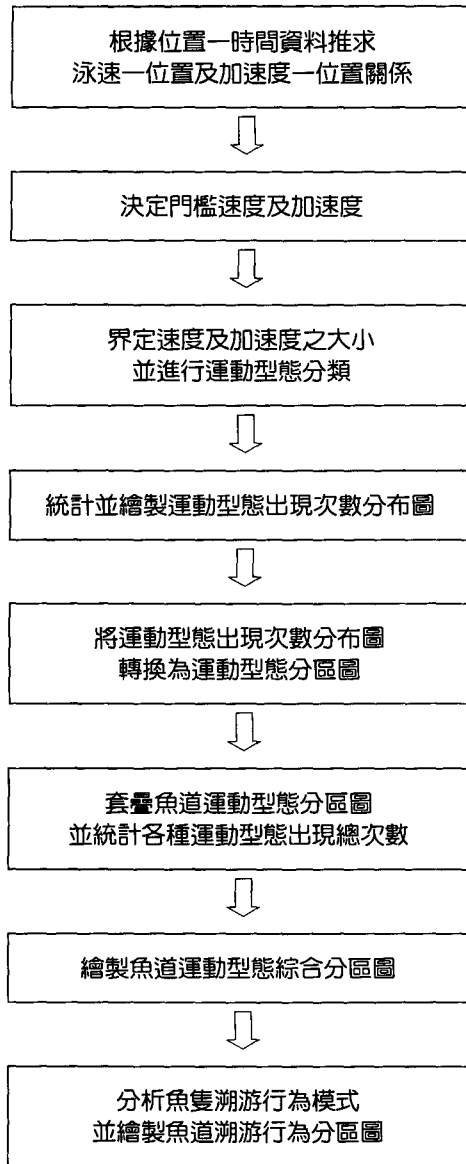


圖 1 魚道溯游行為分區流程圖

2.1 計算各相關位置之泳速及加速度

無線電量測系統所接收之訊號經過一系列篩選步驟後，所得到之位置-時間($d-t$)資料可用以計算各相關位置之泳速及加速度(吳富春等，1999)。泳速(V)及加速度(a)分別以下式求之：

$$V_n = \frac{d_{n+1} - d_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} ; a_n = \frac{V_{n+1} - V_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} \dots\dots\dots(1)$$

式中 d_{n+1} 及 d_{n-1} 分別為魚隻在時間 t_{n+1} 及 t_{n-1} 之相關位置， V_n 及 a_n 則為魚隻在相關位置 d_n 之泳速及加速度。透過此計算，便可將原始之位置-時間資料轉換為泳速-位置($V-d$)及加速度-位置($a-d$)等資料。值得注意的是，由式(1)計算所得之泳速為相對於地面(或魚道底床)之速度，然因魚隻是逆水流而游，故式(1)計算之泳速須加上魚道水流速度方為魚隻之絕對泳速，本研究為使所有泳速之比較能在同一基準之上進行，故排除魚道水流速度之因素，而以式(1)計算之泳速及加速度進行各項分析。

2.2 界定泳速及加速度之大小

為進行魚隻之運動型態分類，首先須界定魚隻之泳速及加速度是屬於較大或較小之值，而為了界定魚隻泳速及加速度之大小，便須找出區隔大小值之門檻速度與加速度，此門檻值可根據魚隻溯游速度及加速度分布之統計資料而求得。圖 2 及圖 3 乃根據本研究之所有實驗數據(共六組實驗)計算所得之泳速及加速度分布百分比圖(總樣本數：369)，圖 2 顯示魚隻在溯游過程中大部分時間處於低速之休息徘徊狀態(泳速介於-4~4cm/s 者佔 60.4%)，待適當時機以較大之泳速溯游而上，故可知魚隻之高速狀態並非一常態之現象。圖 2 顯示在 4cm/s 以上之泳速範圍內以 6cm/s 之出現百分比最高(佔 14.1%)，而 8cm/s 以上之泳速出現百分比便呈現遞減之趨勢，由此可判斷 4~8cm/s 為較正常之泳速範圍，而 8cm/s 以上便屬於較為罕見之高速狀態，本研究據此選定 8cm/s 為門檻速度，以此值做為判斷泳速大小之依據。同理在負泳速部份亦可判斷-4~-8cm/s 為較常見之泳速範圍，而-8cm/s 亦可做為判斷負泳速大小之門檻速度。

圖 3 亦同樣顯示魚隻休息徘徊之狀態佔較高之百分比(加速度介於-0.4~0.4cm/s² 者佔 46.3%)，而 0.4~0.8cm/s² 及-0.4~-0.8cm/s² 則屬於較常見之加速度範圍，大於 0.8cm/s² 及小於

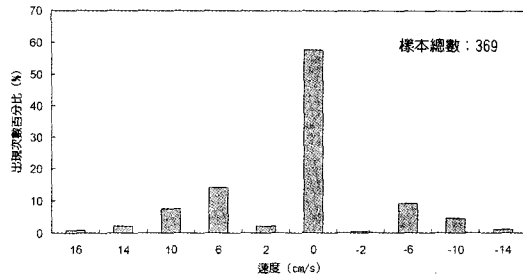


圖 2 溯游速度分布圖

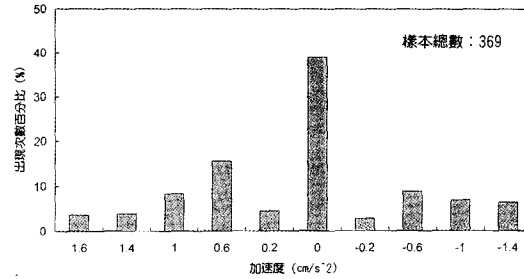


圖 3 溯游加速度分布圖

-0.8cm/s^2 之加速度所佔百分比均呈現遞減之趨勢，因此本研究選定 0.8cm/s^2 及 -0.8cm/s^2 為界定正、負加速度大小之門檻值。

2.3 運動型態之分類

2.3.1 速度及加速度之歸納與分類

本研究利用魚隻泳速及加速度之大小，針對魚隻在魚道中之運動型態做有系統之分類。速度及加速度之歸納分類除須根據上述門檻值界定其大小之外，尚須考慮其值之正負、魚首之朝向及是否為自主性運動等因素(詳細分類如表 1 所列)，以下針對速度及加速度之歸納分類進行說明。

(1) 正值加速度 ($a>0$)

若計算所得之加速度為正值，即表示魚隻之運動存在一往上游之加速度，此時可根據其泳速之情況分為下列三種情形：

A. 正值泳速 ($V>0$)

此種情形屬於魚隻往上游加速前進之運動狀況，若其魚首朝上游方向，則屬合理且可能之運動，但若魚首朝下游方向，則其可能性相當低。前者又可根據其速度及加速度之大小分為 a 大 V 大、 a 大 V 小、 a 小 V 大、 a 小 V 小四種情況。

B. 零泳速 ($V=0$)

此種情形魚隻處於靜止狀態，但存在一往上游之加速度，可能係魚隻在休息徘徊時加速前進之運動狀況。若其魚首朝上游，則屬合理且可能之運動，但魚首朝下游之

可能性則相當低。前者又可根據其加速度分為 a 大及 a 小兩種情況。

C. 負值泳速 ($V<0$)

此種情形魚隻往下游移動，但存在一往上游之加速度，若其魚首朝下游，則屬於向下順游減速之動作，但若魚首朝上游，則又可根據其速度及加速度大小區分為 a 大 $|V|$ 大、 a 小 $|V|$ 大、 a 大 $|V|$ 小及 a 小 $|V|$ 小四種情況。其中前兩者因魚首朝上游方向且魚隻往下游移動之速度又大，故推測其屬於被水流沖往下游之非自主性動作。

(2) 零加速度 ($a=0$)

若計算所得之加速度為零，即表示魚隻處於定速移動(或靜止)之狀態，此時亦可根據其泳速區分為下列三種情形：

A. 正值泳速 ($V>0$)

此為魚隻定速前進之情況，若其魚首朝上游，則可分為 V 大與 V 小兩種情況，若魚首朝下游，則其可能性相當低。

B. 零泳速 ($V=0$)

此種情況因魚隻之速度與加速度均為零，故無論魚首朝上游或下游，可推測魚隻均處於休息狀態。

C. 負值泳速 ($V<0$)

此為魚隻定速後退之情況，若其魚首朝下游，則為向下順游之運動，若魚首朝上游，則可分為 $|V|$ 大與 $|V|$ 小兩種情形，其中 $|V|$ 大者推測其屬於被水流沖往下游之非自主性動作。

表 1 速度及加速度分類表

加速度	速度	運動狀況	魚首朝向	可能發生情況
$a > 0$	$V > 0$	往上游加速前進	上游	a 大、 V 大 a 大、 V 小 a 小、 V 大 a 小、 V 小
			下游	可能性低
	$V = 0$	靜止，但存在一往上游之加速度	上游	a 大 a 小
			下游	可能性低
	$V < 0$	往下游移動，但存在一往上游之加速度	上游	a 大、 $ V $ 大(非自主) a 大、 $ V $ 小 a 小、 $ V $ 大(非自主) a 小、 $ V $ 小
			下游	向下順遊(減速)
$a = 0$	$V > 0$	定速前進	上游	V 大 V 小
			下游	可能性低
	$V = 0$	靜止	上游或下游	休息
	$V < 0$	定速退後	上游	$ V $ 大(非自主) $ V $ 小
下游			向下順遊	
$a < 0$	$V > 0$	往上游減速前進	上游	$ a $ 大、 V 大 $ a $ 大、 V 小 $ a $ 小、 V 大 $ a $ 小、 V 小
			下游	可能性低
	$V = 0$	靜止，但存在一往下游之加速度	上游	可能性低
			下游	向下順遊(加速)
	$V < 0$	往下游加速移動	上游	可能性低
			下游	向下順遊(加速)

(3) 負值加速度 ($a < 0$)

若計算所得之加速度為負值，即表示魚隻往上游方向減速或往下游方向加速，可根據其泳速區分為下列三種情形：

A. 正值泳速 ($V > 0$)

此種情形魚隻往上游減速前進，若其魚首朝上游方向，則可根據其速度及加速度區分為 $|a|$ 大 V 大、 $|a|$ 大 V 小、 $|a|$ 小 V 大及 $|a|$ 小 V 小四種情況，若魚首朝下游方向，則其可能性相當低。

B. 零泳速 ($V = 0$)

此種情形魚隻處於靜止狀態，但存在一往下游之加速度，若其魚首朝下游方向，則可能係魚隻開始向下順游加速之運動，但若魚首朝上游，則其可能性甚低。

C. 負值泳速 ($V < 0$)

此為魚隻往下游加速移動之情形，若其魚首朝下游，則為魚隻向下順游加速之情況，若魚首朝上游方向，則其可能性相當低。

2.3.2 魚隻運動型態之分類

前述之速度及加速度分類中，有三種情況並非魚隻自主性之溯游行為或因不太可能發生，故

不在本研究討論之範圍內，可加以排除之，此三種情況分別為：(1)魚隻向下順游運動，(2)魚隻非自主性運動，及(3)發生之可能性甚低之運動。排除此三種運動狀況後，所剩下之十五種情況可按照其運動特性(即速度及加速度)區分為四種運動型態，分別為(1)高速狀態，(2)減速運動，(3)加速運動，及(4)徘徊休息，如表 2 所列。以下分別針對此四種運動型態所涵括之各種情況進行說明：

1. 高速狀態 (包括四種情況)

魚隻溯游之高速狀態即其正值泳速 V 被歸類為大之情況，此時無論其加速度為正值(往上游加速)、負值(往上游減速)、或為零(等速前進)，魚隻均處於高速移動之狀態。惟一例外者為 $a < 0$ 且 $|a|$ 大之情況，此種情況因魚隻減速之動作十分明顯，故可將之歸類為減速運動。

2. 減速運動 (包括兩種情況)

魚隻之減速運動即魚隻往上游移動時其負值加速度被歸類為大之情況(即 $V > 0$ ， $a < 0$ 且 $|a|$ 大之情況)，此時無論泳速 V 值為大或小，其減速之動作均十分明顯，因此將之歸類為減速運動。

表 2 魚隻運動型態分類表

代號	運動型態	速度及加速度之大小
1	高速狀態	$a > 0$ ， $V > 0$ ，且 a 大、 V 大 $a > 0$ ， $V > 0$ ，且 a 小、 V 大 $a = 0$ ， $V > 0$ ，且 V 大 $a < 0$ ， $V > 0$ ，且 $ a $ 小、 V 大
2	減速運動	$a < 0$ ， $V > 0$ ，且 $ a $ 大、 V 大 $a < 0$ ， $V > 0$ ，且 $ a $ 大、 V 小
3	加速運動	$a > 0$ ， $V > 0$ ，且 a 大、 V 小 $a > 0$ ， $V = 0$ ，且 a 大 $a > 0$ ， $V < 0$ ，且 a 大、 $ V $ 小
4	徘徊休息	$a > 0$ ， $V > 0$ ，且 a 小、 V 小 $a > 0$ ， $V = 0$ ，且 a 小 $a > 0$ ， $V < 0$ ，且 a 小、 $ V $ 小 $a = 0$ ， $V > 0$ ，且 V 小 $a = 0$ ， $V < 0$ ，且 $ V $ 小 $a < 0$ ， $V > 0$ ，且 $ a $ 小、 V 小

3. 加速運動 (包括三種情況)

魚隻之加速運動包括三種 $a > 0$ 且 a 大之情況，雖其泳速 V 可為正值、負值或為零，但泳速(V 或 $|V|$)必須被歸類為小時方可視之為加速運動，否則便屬於高速狀態(即 V 大)或為非自主性之運動型態(即 $|V|$ 大)。

4. 徘徊休息 (包括六種情況)

當魚隻之泳速 V 及加速度 a 均被歸類為小(或為零)時，可將之歸類為徘徊休息之運動型態。此時無論其泳速及加速度為正值、負值、或為零，因其值甚小，故可視為魚隻在徘徊休息時，移動過程中所產生之微小速度及加速度。

2.4 運動型態分區圖

2.4.1 運動型態出現次數分布圖

根據 2.1 節計算所得魚道各相關位置之魚隻泳速及加速度資料(即 $V-d$ 與 $a-d$ 資料)，配合 2.3 節之運動型態分類，便可統計魚道各相關位置上出現各種運動型態之次數，繪製運動型態出現次數分布圖(如圖 4(a)所示範例)。圖 4(a)顯示在距離魚道入口 120cm 及 160cm 處均出現兩次高速狀態及兩次減速運動，而在 120cm 處(即隔板處)曾出現三次加速運動，在 80cm 及 160cm 處亦分別出現兩次加速運動，至於徘徊休息之情況則主要出現在隔板上游處，如 0cm、40cm 及 80cm 處即分別出現三次、四次及一次徘徊休息之運動型態。

2.4.2 運動型態分區圖

根據上述之運動型態次數分布圖，可進一步繪製魚道運動型態分區圖(如圖 4(b)所示範例)。由於 $V-d$ 及 $a-d$ 資料乃根據水中天線所接收到之訊號分析計算而得，故此等速度及加速度資料乃至於上述之運動型態出現次數分布圖，均僅能反映天線位置上之資訊，本研究為進行魚道分區，須根據前後兩天線之資料判斷劃分各種運動型態在魚道中出現之區域。例如在圖 4(a)中，高速狀態連續出現在前後兩天線(120cm 及 160cm)位置上，故可判斷 120-160cm 區間屬於高速狀態區域(如圖 4(b)所示)；同時根據減速運動之出現次

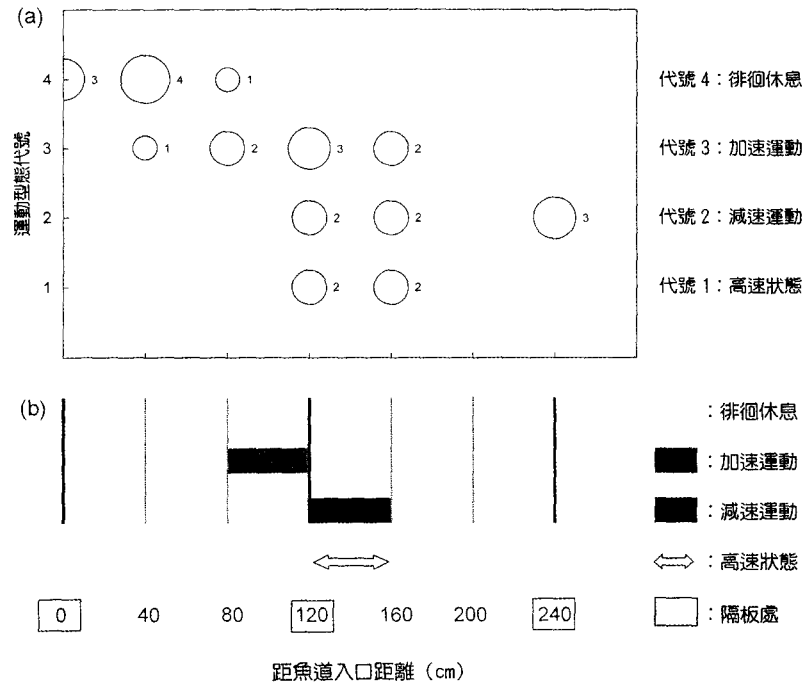


圖 4 (a)運動型態次數分布圖；(b)運動型態分區圖

數分布判斷此一區間亦屬於減速運動區；雖在 240cm 處曾出現三次減速運動，但因沒有前後資料可供輔佐，故無法劃分其運動型態區域。加速運動之出現次數分布顯示在 120cm(隔板)處其出現次數最高(三次)，而其上下游則均出現兩次，但在下游之 40cm 處則有出現一次加速運動，因此據以判斷 80-120cm 區間屬於加速運動區之可能性較高；而徘徊休息之出現次數分布顯示在 40cm 處其出現次數最高(四次)，雖然其上下游均有出現此種運動型態，但因下游(即 0cm 處)出現之次數(三次)較上游出現之次數(一次)為高，因此判斷 0-40cm 屬於徘徊休息區域。

2.5 魚隻溯游行為分區

透過前述方法可劃分魚道中各種運動型態之分布區域，進而繪製各組實驗之魚道運動型態分區圖。然而根據各組實驗數據所得之運動型態分區圖會因受試魚隻個體之差異或每次溯游狀況之差異而有不盡相同之結果，因此本研究為

求分析結果之完整及週全性，乃將各組實驗之運動型態分區圖重疊而得一綜合之運動型態分布統計，進而根據此綜合統計資料研判魚隻在魚道中溯游之行為模式，最後得到具有一致性與聯貫性之溯游行為分區圖。

三、結果與討論

3.1 運動型態分區圖

圖 5 至圖 10 所示為根據本研究六組溯游實驗數據分析所得之運動型態次數分布圖及運動型態分區圖。其中圖 5、圖 7 及圖 8 所示之三組實驗中，七根天線之位置乃從魚道入口起每隔 40cm 設置一根(如圖 4 所示範者)；圖 9 及圖 10 所示之二組實驗中，天線間距離亦為 40cm，但第一根天線之位置在距魚道入口 10cm 處，故每根天線之位置均較前述情況往右偏移 10cm；而圖 6 所示之實驗中天線擺設位置較為特殊，第一根天線設在距魚道入口 30cm 處，天線間距則增長為 60cm，故其涵蓋範圍擴大至距魚道入口

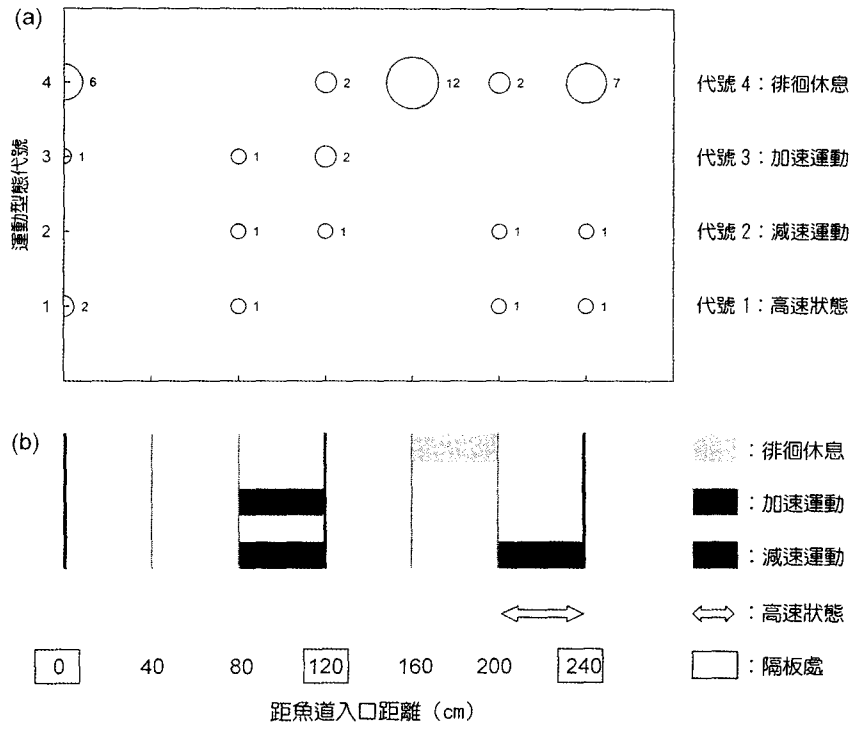


圖 5 數據編號 1-4-33 之(a)運動型態次數分布圖 (b)運動型態分區圖

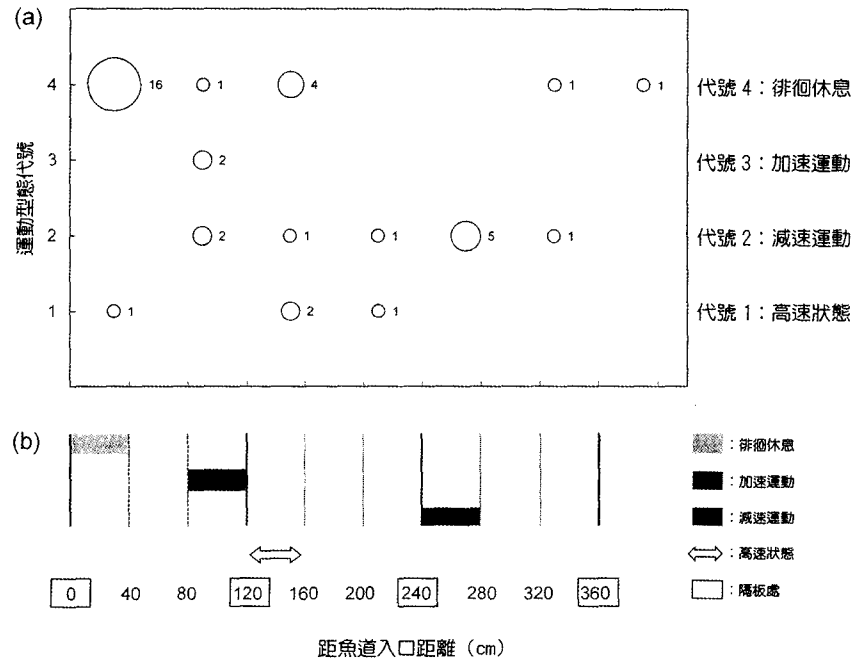


圖 6 數據編號 2-2-32 之(a)運動型態次數分布圖 (b)運動型態分區圖

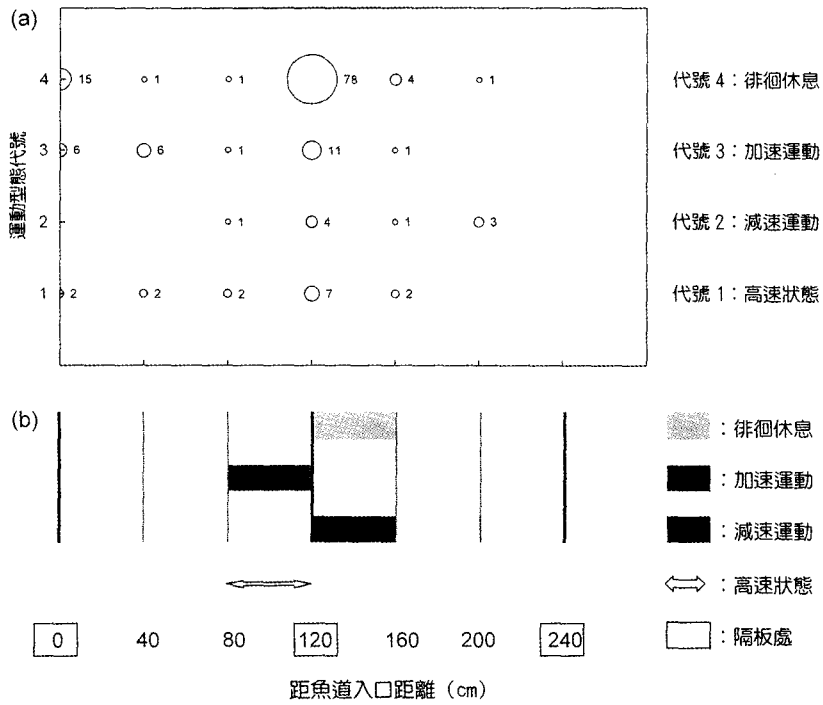


圖 7 數據編號 3-1-32 之(a)運動型態次數分布圖 (b)運動型態分區圖

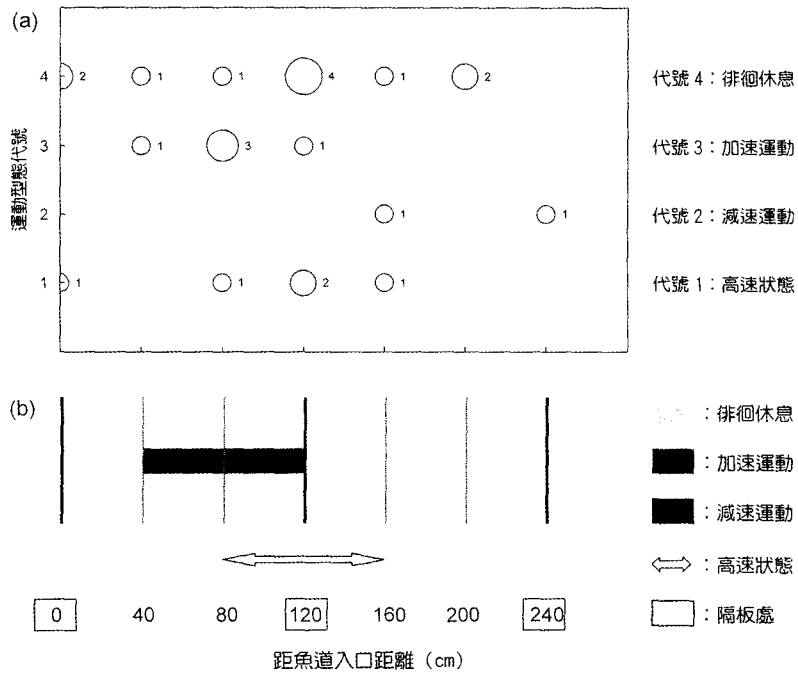


圖 8 數據編號 3-1-33 之(a)運動型態次數分布圖 (b)運動型態分區圖

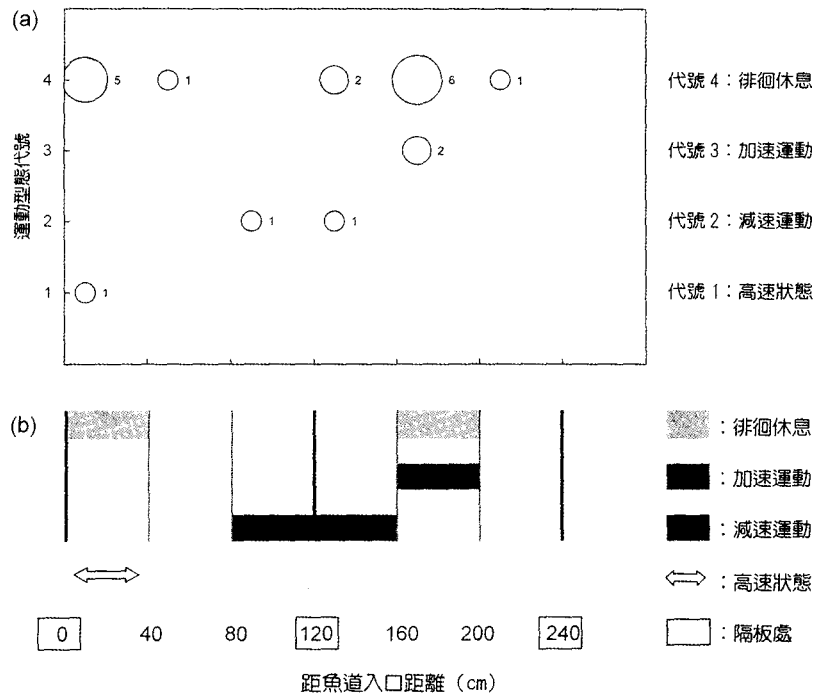


圖 9 數據編號 4-2-31 之(a)運動型態次數分布圖 (b)運動型態分區圖

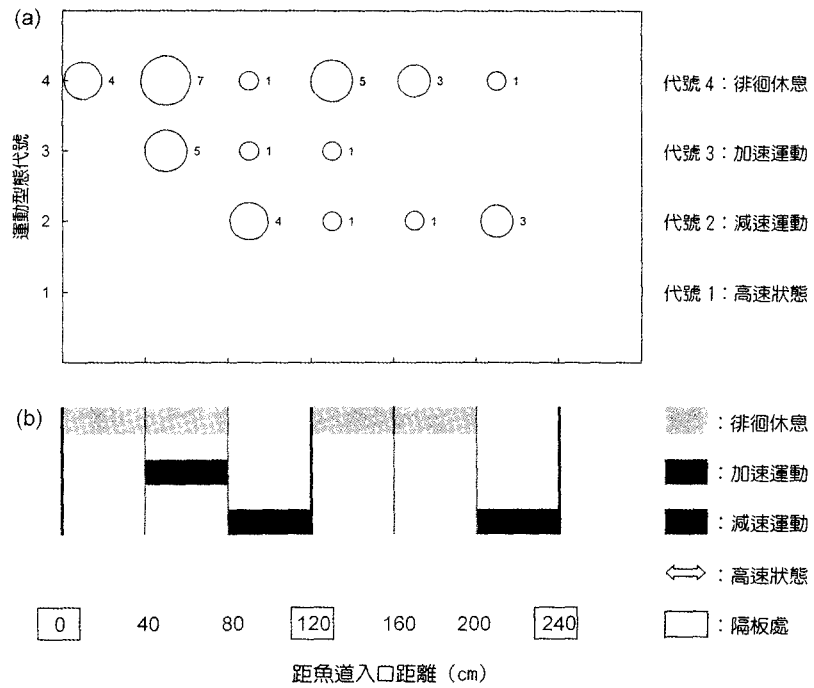


圖 10 數據編號 4-2-32 之(a)運動型態次數分布圖 (b)運動型態分區圖

390cm 處。各組實驗之運動型態分區圖均是根據其運動型態次數分布圖研判分析而得，其一般判斷之準則如 2.4.2 節所述。然而在資料研判之過程中，有若干較為特殊之處，分別說明如下：

- (1) 圖 6 中徘徊休息之運動型態在 0-40cm 區間出現達十六次之多，顯示此種運動型態在此一區間內有極大之優勢性，而在 120-160cm 區間內雖有四次徘徊休息之運動型態出現，但相對於 0-40cm 區間內之十六次而言，其優勢性則並不十分明顯，因此未加採用。同理在 80-120cm 區間內出現之二次減速運動，其相對優勢性不如 240-280cm 區間內之五次顯著，因此亦未加以採用。在 80-120cm 區間內之二次加速運動為本組實驗中唯一出現此種運動型態之區間，因此有其代表性。同理在 120-160cm 區間內之二次高速狀態亦因其具有相對優勢性而加以計入。
- (2) 圖 8 中高速狀態在 120cm(隔板)處出現次數最高(兩次)，其上下游(80cm 及 160cm)處則分別出現一次，因無其他資料可據以研判高速狀態分布區域應為 80-120cm 或 120-160cm，故在此圖中高速狀態區域取為 80-160cm 區間。同理在此圖中加速運動區域亦取為 40-120cm 區間。
- (3) 圖 9 中徘徊休息之運動型態在 0-40cm 區間出現五次，在 160-200cm 區間出現六次，在其他區間則零星出現一、兩次，由於六次與五次並無太明顯之差異，而又較其他出現次數為高，故此兩區間(即 0-40cm 區間及 160-200cm 區間)均取為徘徊休息區域。
- (4) 圖 10 中減速運動型態在 80-120cm 區間及 200-240cm 區間分別出現四次與三次，較其他

區間出現次數(一次)為高，故均取為減速運動區域。而徘徊休息之運動型態在 0-80cm 連續兩區間及 120-200 連續兩區間內分別出現四次、七次、五次及三次，較其他區間次數(一次)為高，且為連續之較高次數，因此在此圖中徘徊休息區域取為 0-80cm 及 120-200cm 之連續區間。

3.2 運動型態分區綜合統計

將六組實驗數據之運動型態分區圖重疊，便可統計各種運動型態在魚道各區間中出現之總次數，如表 3 所示。其中徘徊休息之運動型態在 80-120cm 及 200-240cm 區間內並未出現，加速度運動型態在 0-40cm 及 120-160cm 區間沒有出現，減速運動型態及高速狀態均未在 40-80cm 及 160-200cm 區間內出現。圖 6 中在 240-280cm 區間內出現減速運動型態，由於此一區間為緊鄰隔板上游之區域，與 0-40cm 區間屬同一性質者，因此將此減速運動型態計入 0-40cm 區間。由於 0-40cm 及 120-160cm 區間均位於隔板上游 1/3 之區域，80-120cm 及 200-240cm 區間均位於隔板下游 1/3 之區域，而 40-80cm 及 160-200cm 則均為水池中央 1/3 之區域，因此可進一步將表 3 之統計資料合併為水池三個分區中各種運動型態之出現總次數，如表 4 所示。表 4 中水池之第一分區為隔板上游 1/3 之區域，第二分區為水池中央 1/3 之區域，第三分區則為隔板下游 1/3 之區域，依序由下游至上游。表 4 之統計資料顯示徘徊休息之運動型態出現於第一與第二分區，加速運動型態出現於第二與第三分區，減速運動型態與高速狀態則出現於第一與第三分區。將此結果繪成魚道運動型態綜合分區圖，如圖 11(a)所

表 3 魚道各區間之各種運動型態出現次數統計

運動型態	魚 道 區 間 (單位：cm)					
	0-40	40-80	80-120	120-160	160-200	200-240
徘徊休息	3	1	0	3	3	0
加速運動	0	2	4	0	1	0
減速運動	1	0	3	2	0	2
高速狀態	1	0	2	2	0	1

表 4 魚道水池各分區之各種運動型態出現總次數

運動型態	水池分區 (第一至第三分區依序由下游至上游)		
	第一分區	第二分區	第三分區
	(隔板上游 1/3 區域)	(中央 1/3 區域)	(隔板下游 1/3 區域)
徘徊休息	6	4	0
加速運動	0	3	4
減速運動	3	0	5
高速狀態	3	0	3

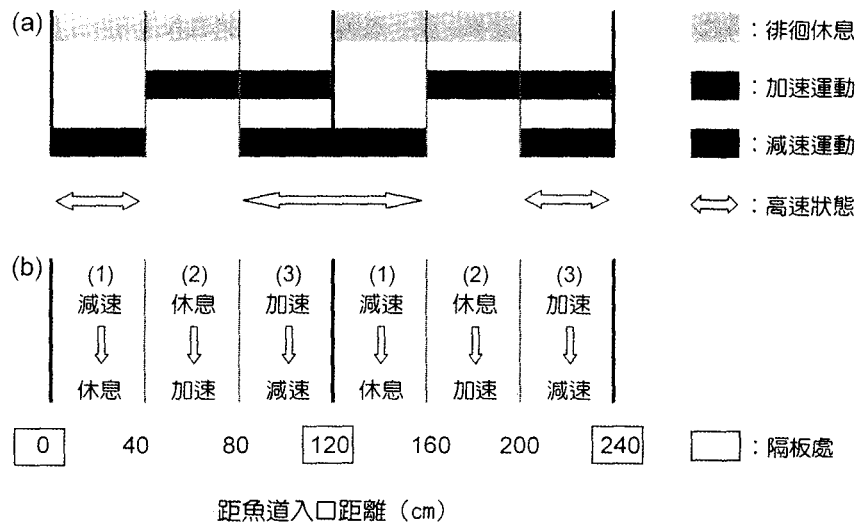


圖 11 池堰式魚道之(a)運動型態分區圖；(b)溯游行爲分區圖

示。圖 11(a)顯示魚道水池之第一分區中出現徘徊休息、減速運動及高速狀態之運動型態；第二分區中出現徘徊休息及加速運動兩種運動型態；而第三分區中則出現加速運動、減速運動及高速狀態之運動型態。根據此結果，可進一步分析池堰式魚道中台灣石鱸之溯游行爲模式，詳述如下。

3.3 魚道溯游行爲分區圖

根據圖 11(a)顯示水池第二分區同時出現有徘徊休息與加速運動兩種型態，而第三分區則同時出現有加速運動與減速運動兩種型態，若從魚隻溯游行爲之連續性來考慮，則應可視為魚隻在水池第二分區徘徊休息後，待適當時機則加速進

入第三分區，而進入水池第三分區之魚隻一方面準備通過隔板，在此同時魚隻則開始減速，通過隔板進入第一分區之魚隻則繼續其減速動作並進入休息狀態。在第二分區開始加速之魚隻在進入第三分區時其泳速已達高速狀態，魚隻並以高速狀態減速通過隔板進入第一分區，故在水池之第三及第一分區均出現有高速狀態之運動型態。如此分析所得之溯游行爲分區圖具有聯貫性與一致性(如圖 11(b)所示)，可充分反映台灣石鱸在池堰式魚道中之溯游行爲模式。

四、結論

本研究利用無線電量測系統所監測記錄之魚隻溯游資料進行池堰式魚道中台灣石鱸之

游行為分區，透過本研究發展之一系列分析步驟，可得到池堰式魚道之溯游行為分區圖。本研究結果顯示池堰式魚道之水池可區分為三個溯游行為區，即(1)減速→休息區，(2) 休息→加速區及(3)加速→減速區，其中第一及第三分區亦為魚隻處於高速狀態之區域。由於天線接收到魚隻身上無線電發報器所發射之訊號時，魚隻所在位置具有其不確定性，亦即魚隻可能在天線上下游之訊號接收範圍內，而非確實在天線之位置上，故利用本分析方法所得之分區為主要運動型態之趨勢分區，並非各種運動型態之絕對分界線。本研究分析所得之溯游行為分區具有聯貫性與一致性，並可充分反映魚隻在魚道中之溯游行為模式，可供後續魚道設計之參考。

五、謝誌

本研究承蒙行政院國科會補助計畫經費(計畫編號 NSC-88-2313-B-002-101)，實驗期間承蒙行政院農委會特有生物研究保育中心胡通哲博士提供諸多協助，特致謝忱。

六、參考文獻

1. 吳富春、李國昇、鄭武慎，1998，魚道水理

特性對魚類溯游行為影響之研究(一)，行政院國科會專題研究計畫成果報告。

2. 吳富春、李國昇，1998，無線電量測系統應用在魚道溯游研究之初步實驗評估，中國農業工程學報，44(1)：59-66。
3. 吳富春、鄭武慎，1999，以無線電量測系統探討池堰式魚道中台灣石鱸之溯游行為，中國農業工程學報，45(2)：75-86。
4. 吳富春、鄭武慎，1999，魚道水理特性對魚類溯游行為影響之研究(二)，行政院國科會專題研究計畫成果報告。
5. Colavecchia, M., C. Katopodis, R. Goosney, D.A. Scruton, and R.S. McKiney, 1998, Measurement of Burst Swimming Performance in Wild Atlantic Salmon (*Salmon Salar L.*) Using Digital Telemetry, *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 14: 41-51.

收稿日期：民國 88 年 10 月 20 日

接受日期：民國 88 年 12 月 6 日