

行政院農業委員會林務局 111 年度 林業發展計畫執行成果報告

巴氏銀鮐分布與棲地水文特性調查

本年計畫期間：自 111 年 3 月 1 日至 111 年 12 月 31 日

主辦機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立成功大學

計畫聯絡人：孫建平

目錄

摘要.....	1
前言.....	1
本年度目標.....	2
文獻回顧.....	2
魚類與棲地環境.....	2
伏流水層與生態環境.....	3
辨狀河川與生態環境.....	4
材料與方法.....	4
計畫區域.....	5
雨量.....	6
地下水位.....	7
棲地環境調查.....	14
伏流水層調查.....	15
魚類調查.....	17
統計分析.....	17
結果與討論.....	18
地下水水位分析.....	18
採樣區域之魚類種類.....	21
採樣區域之棲地環境描述及差異.....	22
採樣區域之上湧/下滲分布	23
巴氏銀鮡偏好之棲地環境.....	27
結論與建議.....	30
參考文獻.....	31
附錄一、保育類巴氏銀鮡域外保種參訪暨誇單位保育交流會議.....	37
附錄二、採樣位置之垂直水力梯度及上湧/下滲	40
附錄三、2005-2021 計畫區域周遭之衛星影像	42

表目錄

表 1、水利署雨量站之平均年降雨量與 1-12 月平均月降雨量(單位：公厘).....	6
表 2、烏溪流域內地下水位測站座標、井頂高及井管深度.....	9
表 3、各採樣區域調查日期.....	11
表 4、4 個採樣區域調查到的魚類種類.....	21
表 5、各採樣區域的環境資料.....	23

圖目錄

圖 1、烏溪流域高程(單位：公尺).....	5
圖 2、地下水補注地質敏感區(臺中盆地)範圍內包含之鄉鎮區.....	6
圖 3、烏溪流域內水利署雨量站位置.....	7
圖 4、烏溪流域內地下水位測站、採樣區域及地下水補注地質敏感區範圍.....	8
圖 5、採樣區域位置及鄰近地下水位測站圖.....	10
圖 6、採樣區域地質.....	11
圖 7、1 號採樣區域環境-瀨(2022.11.10 拍攝).....	12
圖 8、1 號採樣區域環境-潭(2022.11.10 拍攝).....	12
圖 9、2 號採樣區域環境(2022.06.23 拍攝).....	13
圖 10、3 號區域採樣環境(2022.10.27 拍攝).....	13
圖 11、4 號區域採樣環境(2022.11.10 拍攝).....	14
圖 12、自製底質粒徑板.....	15
圖 13、利用浮球進行上湧/下滲判斷.....	16
圖 14、伏流水垂直水力梯度(VHG)示意圖.....	17
圖 15、2018-2020 年烏溪流域內地下水位測站之水位資料.....	19
圖 16、溪岸測站及其周遭測站地下水位之變化.....	20
圖 17、採樣區域周遭之地下水水位 < 39.7 公尺之分布範圍.....	20
圖 18、1 號區域上湧/下滲分布情形.....	23
圖 19、2 號區域上湧/下滲分布情形.....	24
圖 20、3 號區域上湧/下滲分布情形.....	24
圖 21、4 號區域上湧/下滲分布情形.....	25
圖 22、2007 年計畫區域周遭之衛星影像.....	26
圖 23、2013 年計畫區域周遭之衛星影像.....	26
圖 24、2018 年計畫區域周遭之衛星影像.....	27
圖 25、有、無巴氏銀鮎之棲地環境多元尺度空間分析圖.....	28
圖 26、有、無巴氏銀鮎之棲地環境因子主成份空間分析圖.....	28
圖 27、有、無巴氏銀鮎之主成份空間分析圖.....	29
圖 28、巴氏銀鮎之環境因子的主成份空間分析圖.....	29
圖 29、巴氏銀鮎之主成份空間分析圖.....	30

巴氏銀鮡分布與棲地水文特性調查

摘要

為增加水資源利用，烏溪流域進行了烏嘴潭人工湖和伏流水工程等水利設施之施作，然施作之過程會對烏溪流域內巴氏銀鮡生存之棲地環境產生影響。巴氏銀鮡目前被臺灣淡水魚類紅皮書列為國家極危等級(NCR)，數量已不多，需積極進行復育。本計畫以烏溪主流為調查區域，選擇 4 個辮狀湧泉流路區域調查魚類及其棲地環境，並蒐集周遭地下水水位之資料，發現 4 個區域之棲地環境幾乎都有差異，但流速及溶氧皆偏低，底質是以細顆粒為主。研究期間於其中 3 個區域有發現巴氏銀鮡，以主成份分析比較有無巴氏銀鮡之棲地環境差異，發現兩者之間的環境差異主要是 pH 及溶氧，並進一步分析巴氏銀鮡偏好之環境，發現巴氏銀鮡在本年度的調查區域內與 pH 值、流速、溶氧、垂直水力梯度等環境因子有正相關之趨勢。根據垂直水力梯度之調查，1 號區域主要是呈現上湧，在參考地下水水位資料後推測其伏流水之來源主要是為烏溪主流。藉由本研究之成果可了解巴氏銀鮡生長之棲地環境，提供後續復育之參考。

前言

水生生物的分布往往與周遭環境有很大的關係，最常被用來探討水生生物與環境之間關係的環境因子為流速、水深和底質，這些因子除了能被直接簡單的量測之外，還可以計算具有描述物理棲地的環境參數(Wyżga et al., 2012)，而這些環境因子在不同的棲地型態環境會有不同的呈現方式(Burge, 2004)，例如高、低流量事件的差異。高流量事件往往會導致溪流內產生較快的流速和均勻的底質(Seegrist & Gard, 1972; Matthews, 1986; Harvey, 1987; Lamberti et al., 1991; Valdez et al., 2001; Wesner, 2011)，甚至也會重新塑造整個溪流渠道環境(Van Der Nat et al., 2002; Ward et al., 2002)，而低流量事件則會影響溪流的連續性，嚴重將有可能乾枯，導致溪流生物大量死亡(Arthington et al., 2010; Davey & Kelly, 2007)。

近年來國內外對於湧泉及伏流水層(Hyporheic zone)之討論皆在迅速發展中，最早 Orghidan (1959)提出伏流水層之概念，其描述該層為具有特定特性的生物偏好利用的地下水微棲地，White (1993)提出伏流水層為「河川河床下方飽和孔隙區，並延伸至包含部分地表逕流之河岸區域」，而 Valett et al. (1993)更廣泛的定義伏流水層為伏流水與地表逕流進行水交換的溪流地下水流動區域，強調含有地表水是伏流水層的一個關鍵。地表水體經過下滲進入伏流水層，在其中流動而和地下水連接並混合，而後在上湧處重新回到地表水之中(Bencala, 2000)，因此形成了下滲和上湧的水流動循環，地表水和地下水是連續且不可分離，這中間的交換對流區域即為伏流水層(Alley et al., 2002)。伏流水層連接著

陸地、河岸與溪流河道，為集水區內物質和能量的轉換中心，亦能反映周圍生態系及環境的變化，因此伏流水層是評價溪流生態系統的重點指標，為維持生物多樣性及溪流生態平衡的重要關鍵，但也容易因為人為影響而受到擾動。

巴氏銀鮡(*Squalidus banarensis*)是臺灣特有種小型淡水魚類，分類上屬於鯉科銀鮡屬，被台灣淡水魚類紅皮書列為國家極危等級(NCR)，多分布於烏溪流域。由於烏溪流域近年因人為開發而受到干擾，對於巴氏銀鮡生活的棲地產生威脅，加上對於巴氏銀鮡所棲息的环境僅大略知道為水較深、流速緩和及水略為混濁，無太多數據化的資訊。為了解巴氏銀鮡的棲息環境，本計畫將蒐集烏溪流域的水文、地下水、地形等資料，並針對巴氏銀鮡所棲息的环境進行棲地水文特性調查，藉以了解巴氏銀鮡所棲息的流域及棲地環境。

本年度目標

1. 完成烏溪水系水文與地下水層資料蒐集與分析。
2. 完成既有資料巴氏銀鮡分布地區進行棲地環境調查與研究。
3. 完成既有資料巴氏銀鮡分布地區進行伏流水層調查與研究。

文獻回顧

魚類與棲地環境

魚類為溪流生態中較高級的消費者，其生命週期比無脊椎生物與軟體動物等皆長，因此較能反映溪流受擾動時的變化，並提供詳盡的環境資訊給研究者(Allan & Castillo, 2007)。魚類在棲地上的偏好會直接或間接受到各種不同環境因子的影響(Moyle & Vondracek, 1985)，且各個環境因子間也有密切的關聯(何大仁和蔡厚才, 1999)。探討魚類與棲地關聯的研究很多，目的是希望能以環境因子解釋魚群於不同空間與時間尺度上的複雜程度(Brown, 2000)，也可將環境因子透過多變量分析探討魚群與環境之間的關聯性(Matthews, 1985; Taylor et al., 1993)。

影響魚類的環境因子很多，包含物理性及化學性環境因子，物理性環境因子包含流速、水深、底質等，化學性環境因子包含溶氧、酸鹼值、電導度、鹽度等水質參數，魚類對這些環境因子都會有其偏好的範圍，如旗山溪的臺灣間爬岩鰍會偏好在流速快、水較淺及避開細顆粒的底質環境，而高身白甲魚則是偏好流速緩及水較深的環境(Lee & Suen, 2012)，但也有魚種會對水的深度無顯著偏好(Yu & Lee, 2005)。Fretwell (1972)的研究中提到不同的魚類會選擇不同的棲地環境，選擇的環境若是屬於適合的環境，魚的數量及出現頻率皆會較高，反之則較低。除了環境因子會影響魚類分布之外，生物因子也會影響魚類的分布，如 Nicolas et al. (2007)研究發現底棲無脊椎的生物量會影響魚類的分布，而底棲無脊椎的生物量又與底質、營養物等因子有關，證明各因子之間彼

此環環相扣。一般而言。探討流速、水深、底質對魚類分部影響的研究較多，原因在於這些環境因子容易量測(Wyżga et al., 2012)，而這些環境因子對於魚類分布的影響可以分為三個面向，分別是縱向、橫向及垂直向，縱向是指上游至下游棲地類型的變化對魚類分布的影響(Grossman et al., 1987; Schlosser, 1985)，橫向是指河岸與河道中兩者棲地類型的變化對魚類分布的影響(Bain et al., 1988; Lobb III & Orth, 1991)，垂直向則是指水的深度對魚類分布的影響(Grossman et al., 1987)。

魚類除了在棲息地的選擇會因環境不同而變化之外，不同的生活史時期也會對環境因子的偏好有所不同，如 Van Liefveringe et al. (2005)研究發現，法蘭德斯河灣的杜父魚成、幼魚在不同季節中的微棲地偏好是有差異；呂映昇和孫建平(2010)於旗山溪也發現臺灣間爬岩鰍、高身白甲魚及南臺吻鰕虎成、幼魚的棲地偏好明顯不同。繁殖產卵時期的棲地環境因子也相當重要，如 Yi et al. (2010)以棲地適合度模式預測水壩對鱒魚繁殖的影響，發現適合度與魚類產卵品質呈正相關；Moir et al. (2004)探討位於蘇格蘭上游中的大西洋鮭魚，發現其在繁殖產卵時期會選擇特定的底質和流量大的環境進行產卵。

伏流水層與生態環境

伏流水層的定義相當多，最早是由 Orghidan (1959)所提出，其描述伏流水層是特定特性生物喜好利用的地下水微棲地，即伏流水層是屬於地下水的部份，但後續學者對於伏流水層的定義則不僅僅是只屬於地下水的部份，如 Vervier et al. (1992)提出伏流水層是地表逕流與地下水之間的交錯帶，White (1993)提出伏流水層是位於河床下飽和孔隙的區域，並具有一定比例的地表逕流，Alley et al. (2002)與游志弘和孫建平(2015)則提出伏流水層是地表逕流與地下水之間的過渡帶，兩者之間是相互連接且不可分離，而經濟部水利署水利規劃試驗所認為伏流水層是河床沉積層的一部份，於此層地面水及地下水會進行水量之交換，此交換之水量即為伏流水(林宏奕等人，2019)。

由於伏流水層包含了地表逕流與地下水，研究兩者之間的交換機制和水質變化，對於伏流水層的生物具有重要意義(Marmonier et al., 1993; Orghidan, 2010)。Franken et al. (2001)調查伏流水層不同深度之物種、水質、營養物等，發現隨著量測深度之增加，物種的分布、伏流水的溫度、溶氧、碎屑、沉積物有機質、蛋白質含量等均會隨之下降。伏流水層被譽為是溪流的肝臟(Fischer et al., 2005)，對於溪流生態有重大意義(Findlay, 1995; Boulton et al., 1998; Claret et al., 1998)，主要是因為伏流水層包含多樣化及物種豐度高的動物相，主導著溪流中的生物生產力(Smock et al., 1992; Brunke et al., 1997)。

河川流量的變化，無論是高流量事件(如：洪水)或是低流量事件(如：乾旱)皆會影響棲息地內生物的生存，因此研究乾濕季明顯的河川之物種棲息地偏好，以及研究物種在河川的縱向分布有助於提供瀕危物種的保育措施。河川流量的變化會導致生物改利用其他環境進行棲息或避難，包含伏流水層，如 Kawanishi et al. (2013)於乾旱時期研究四國島鰍利用伏流水層作為避難所的情

形，Heggenes et al. (2013)則是發現大西洋鮭的幼魚會利用伏流水層作為移動通道，證實魚類可利用伏流水層作為水生生態系統中的潛在避難所(Berryman & Hawkins, 2006; Lake, 2000; Poff & Ward, 1989; Sedell et al., 1990)。

辨狀河川與生態環境

河川型式可區分為順直(或微彎)、蜿蜒和辨狀等三種(Leopold & Wolman, 1957)，其中辨狀河川多出現在較陡的坡降環境，河道至少具有兩條以上，河道與河道之間多被沙洲或較為穩固的河中島所分隔(Leopold et al., 1964; Knighton, 1998)。過去探討辨狀河川與其他河川型式差異的文獻很多，其中從Rosgen (1994)的溪流型式分類準則可以發現辨狀型河川主要會發生在以卵石、礫石、沙及粉/粘粒為主的河床上，而從Nanson & Croke (1992)的研究可以發現辨狀河川之單位溪流功率屬於中等，其數值介在 10 至 30W/m² 之間。過去歐洲有許多的辨狀河川，因為受到人為的擾動，使原本應屬於辨狀河道的河川卻變成單一流路河道的河川，結果河道寬度被束縮，水的深度變深(Gurnell & Petts, 2002)。近十幾年歐洲許多國家積極將這些河川復育，並且也做了許多研究報告，希望能多了解辨狀河川的環境，不過Thorne et al. (1997)也提到辨狀河川的系統是相當複雜。Jähnig et al. (2008)在德國西部山區挑選 7 處進行辨狀河道區域與單一河道區域之比較，每處之辨狀河道區域與單一河道區域位置接近，結果發現辨狀河道區域的流速、水深及底質皆會比單一河道區域多樣。魚類方面，Lüderitz et al. (2011)發現辨狀河道區域的魚類種數、數量會高於單一河道區域，Sukhodolov et al. (2009)也提出辨狀河川能提供幼魚較有利的遮蔽及養育環境，主要是因為在不同的流量狀況下都能有淺及緩慢的水流環境(Mosley, 1982)。由此可知，辨狀河川的棲地環境多樣性會高於單一流路河川(Jähnig et al., 2008; Lüderitz et al., 2011)。

辨狀河川與單一流路河川的最大差異在於有無次要流路，而次要流路的水深、流速會比主要流路淺及慢，底質的顆粒則是會比較小(Welker & Scarnecchia, 2006)，因此次要流路對於水生生物的棲息會是一個重要的因素(Gido et al., 1997; Gurnell & Petts, 2002; Burge, 2004; Helfield et al., 2012)。對於魚類來說，由於次要流路會有大量的懸浮物和無脊椎動物，因此是一個很重要的孵育棲地(Helfield et al., 2012)。

Chiu & Suen (2016)的研究比較了多流路河道與單一流路河道，其多流路河道的形成是在疏濬過後受到自然與人為的影響，雖不同於前述研究中的辨狀河川，但比較的結果也發現大部分多流路河道的物理棲地環境會與單一流路河道有顯著的差異，而分析的四種魚類中，其得多流路河道內的環境分布較為分散，代表多流路河道內能的環境能有較多的選擇性或機會，供魚類棲息或利用。由次可知，若是具有如辨狀河川的辨狀河道，同樣能有較多樣的棲地環境供魚類使用。

材料與方法

計畫區域

本計畫的調查區域位於烏溪流域內，流域面積約 2025.6 平方公里，平均坡降約 0.0109，地勢東高西低，高度最高為 3410 公尺左右(圖 1)，主要支流包含烏溪主流(含上游南港溪)、筏子溪、大里溪、貓羅溪、北港溪及眉溪。根據行政院農業委員會特有生物研究保育中心(2005)所做的調查報告，烏溪主流的河川型式可分為三種，分別為蜿蜒河川(上游)、瓣狀河川(中游)及河口型河川(下游)，其中瓣狀河川是位於烏溪橋至中山高橋段，而本計畫調查位置皆分布於烏溪主流之中游地區。烏溪流域內也涵蓋了大部分的地下水補注地質敏感區(臺中盆地)，區域包括臺中市之神岡區、豐原區、大雅區、潭子區、龍井區、西屯區、北屯區、南屯區、大肚區、烏日區、東區、西區、南區、北區、中區、大里區、太平區、霧峰區；南投縣之草屯鎮、南投市、名間鄉及彰化縣之彰化市、芬園鄉等(圖 2)。

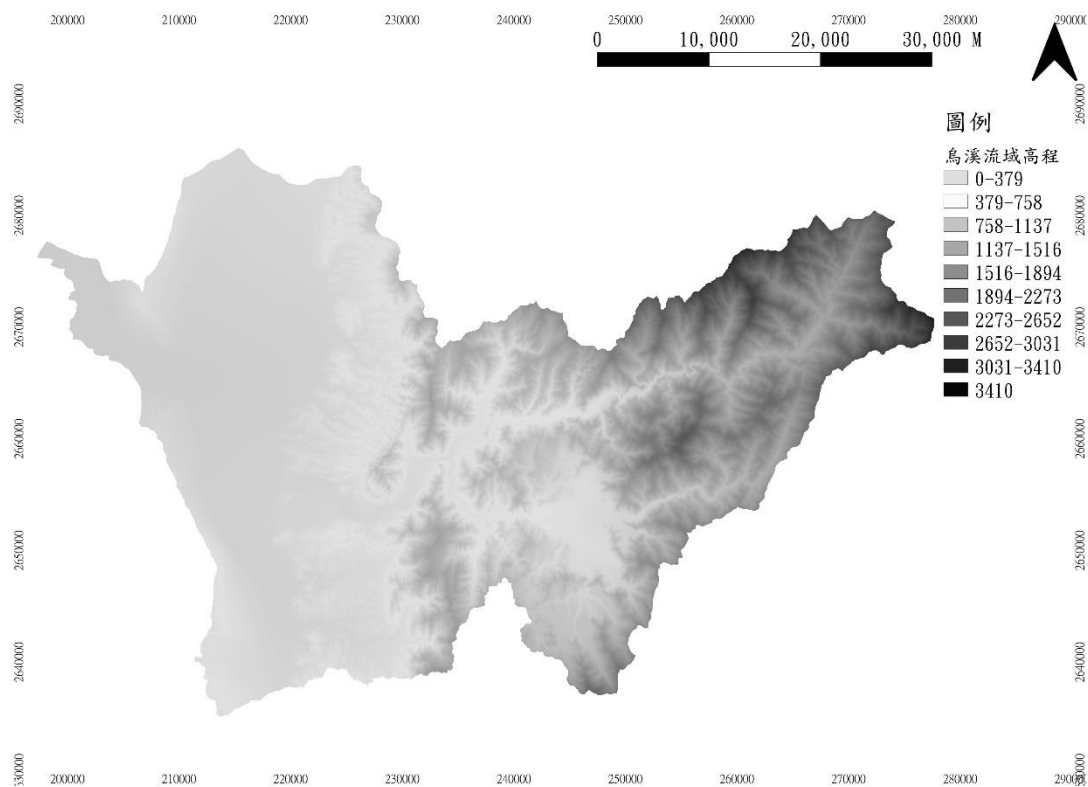


圖 1、烏溪流域高程(單位：公尺)

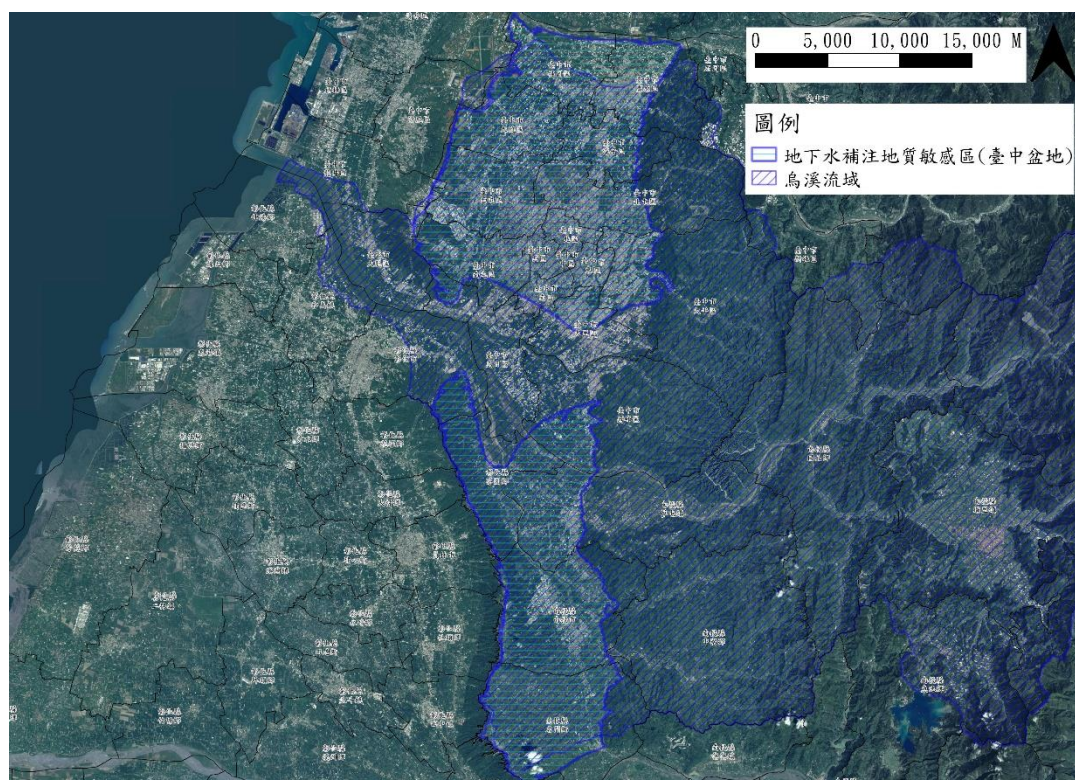


圖 2、地下水補注地質敏感區(臺中盆地)範圍內包含之鄉鎮區

雨量

烏溪流域內之水利署雨量站共有 7 個，分別為惠蓀(2)、頭汴坑、翠巒、六分寮、草屯(4)、北山(2)、清流(1)等，以草屯(4)測站距離採樣區域最近，直線距離約 7,300 公尺，如圖 3 所示。根據中華民國一〇九年臺灣水文年報(經濟部水利署，2021)，草屯(4)測站平均年雨量為 1,623.8 公厘，1-12 月之平均月雨量分別為 34.4 公厘、58.7 公厘、73.7 公厘、107.5 公厘、222.3 公厘、340.4 公厘、278.5 公厘、321.8 公厘、134.7 公厘、20.1 公厘、20.5 公厘、27.2 公厘。各測站之平均年降雨量及 1-12 月平均月降雨量如表 1 所示。

表 1、水利署雨量站之平均年降雨量與 1-12 月平均月降雨量(單位：公厘)

測站	平均月降雨量												平均年降雨量
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
惠蓀(2)	64.5	128.0	169.5	242.9	425.4	563.9	344.3	413.6	208.1	48.1	35.1	46.2	2671.4
頭汴坑	41.7	78.1	100.1	139.6	300.3	458.6	370.4	455.1	233.0	31.8	23.6	32.6	2263.7
翠巒	88.6	162.9	213.9	277.4	380.1	446.2	273.1	322.6	203.7	66.5	52.6	58.4	2469.4
六分寮	35.4	61.0	79.8	107.1	226.8	363.5	313.7	362.6	161.8	26.9	22.8	28.4	1773.8
草屯(4)	34.4	58.7	73.7	107.5	222.3	340.4	278.5	321.8	134.7	20.1	20.5	27.2	1,623.8
北山(2)	44.0	75.2	95.5	152.3	317.1	494.0	387.1	377.2	172.6	38.9	28.7	34.9	2167.5
清流(1)	45.1	79.6	106.9	146.5	312.7	489.1	329.6	377.6	184.9	34.4	24.4	35.6	2101.0

資料來源：中華民國一〇九年臺灣水文年報(經濟部水利署，2021)

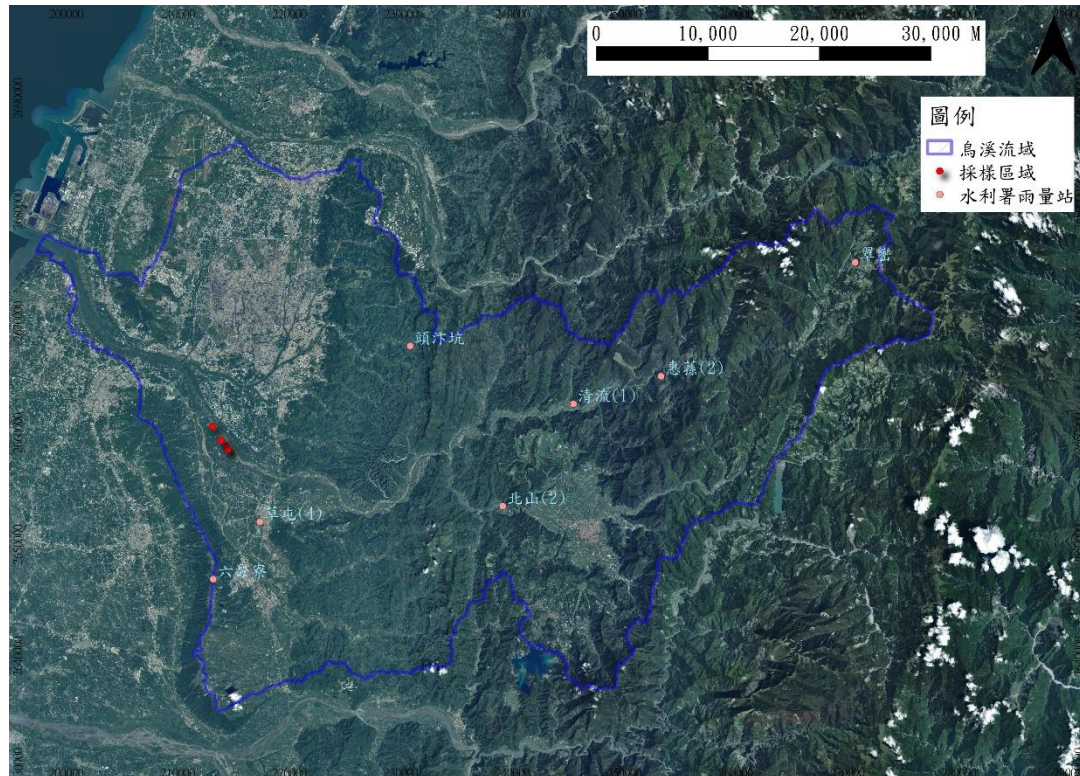


圖 3、烏溪流域內水利署雨量站位置

地下水位

烏溪流域內有神圳、烏日、溪岸、潭子、永順、國聖、霧峰、大里、萬豐、建平、全興、溪尾、草屯、新光、新街、埔里、中山、啟聰、泰安、四張犁、東山等地下水水位測站，分布如圖 4 所示。地下水位測站的詳細資料如表 2 所示，其中神圳、烏日、溪岸、永順、國聖、霧峰、大里、全興、新光、新街、埔里、中山、啟聰、四張犁等測站有設置不同的井管深度。本計畫蒐集了 2018-2020 年烏溪流域內地下水位測站的水位資料(經濟部水利署，2019；經濟部水利署，2020；經濟部水利署，2021)，以了解烏溪流域地下水的狀況。

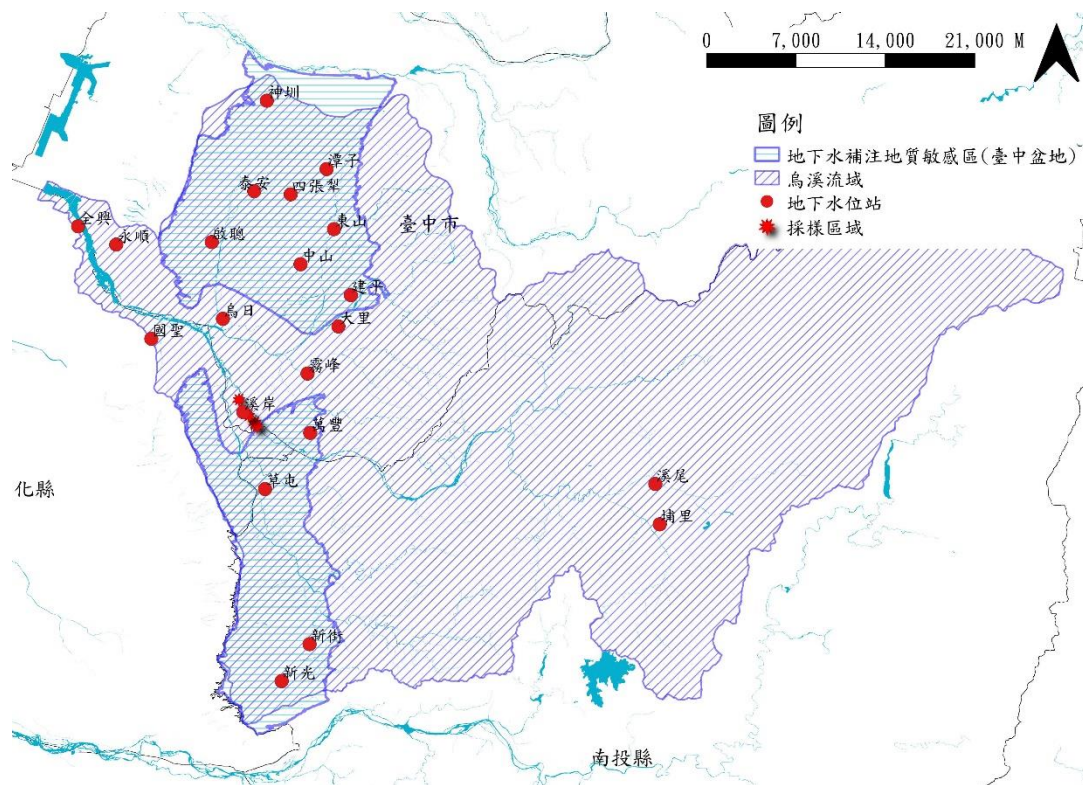


圖 4、烏溪流域內地下水位測站、採樣區域及地下水補注地質敏感區範圍

表 2、烏溪流域內地下水位測站座標、井頂高及井管深度

井名	TWD97TM2(X 座標)	TWD97TM2(Y 座標)	井頂高(M)	井管深度(M)
神圳(1)	215249.519	2684001.593	174.548	60.9
神圳(2)	215249.519	2684001.593	174.548	93.7
烏日(1)	211808.799	2666916.602	27.86	43
烏日(2)	211808.541	2666916.796	27.899	186
溪岸(1)	213405.45	2659604.032	46.144	32.3
溪岸(2)	213405.45	2659604.032	46.136	81.3
潭子	219935.062	2678647.233	169.12	150
永順(1)	203447.097	2672732.385	8.159	46
永順(2)	203447.172	2672732.076	8.158	101
國聖(1)	206194.06	2665352.132	21.053	24
國聖(2)	206194.06	2665352.132	21.176	131.21
國聖(3)	206194.06	2665352.132	21.528	200
霧峰(1)	218441.167	2662628.522	46.257	71
霧峰(2)	218441.497	2662628.45	46.256	131
大里(1)	220854.611	2666321.116	67.563	58
大里(2)	220854.451	2666320.834	67.564	156
萬豐	218647.701	2657980.628	80.1043	40.76
建平	221834.523	2668770.349	87.535	95
全興(1)	200459.079	2674159.099	6.781	17
全興(2)	200459.079	2674159.099	6.784	126
全興(3)	200459.079	2674159.099	6.756	200
全興(4)	200459.079	2674159.099	6.674	261
溪尾	245694.916	2653974.365	437.9971	32.22
草屯	215107.398	2653576.405	81.9	100
新光(1)	216413.027	2638534.234	221.899	125.53
新光(2)	216413.027	2638534.234	221.917	248.6
新街(1)	218599.359	2641427.809	110.127	74
新街(2)	218599.309	2641428.168	110.125	150
埔里(1)	246043.098	2650815.557	433.581	18
埔里(2)	246043.057	2650815.693	433.697	50
中山(1)	217892.728	2671189.297	84.085	64
中山(2)	217892.629	2671189.568	84.087	150
啟聰(1)	210931.494	2672926.118	78.944	48
啟聰(2)	210931.171	2672926.101	78.939	150
泰安	214264.018	2676915.504	111.595	100
四張犁(1)	217120.927	2676668.976	131.263	94
四張犁(2)	217120.572	2676668.994	131.298	180
東山	220514.447	2673940.207	121.8653	60.6

資料來源：經濟部水利署中華民國一〇九年臺灣水文年報(2021.06)

本計畫的調查區域位於臺中市境內的烏溪主流，附近之河道具有多流路河道特性，屬於辮狀河川，鄰近彰化縣和南投縣，採樣區域有 4 處，皆靠近烏溪主流左岸(圖 5)，此 4 處在過去皆有調查到巴氏銀鮐的紀錄(林文隆博士提供)，地質皆屬沖積層(圖 6)，鄰近的地下水位測站為溪岸測站(圖 4 和圖 5)。4 處採樣區域中，1 號和 2 號距離較近，鄰近慶功街和溪尾寮排水，為本計畫最上游的採樣點位；3 號鄰近臺中市警察局警犬隊；4 號鄰近烏日溪尾大橋及烏溪主流和貓羅溪匯流口，為本計畫最下游的採樣區域。各採樣區域的調查日期如表 3 所示，其中 1 號區域水域為今年(2022 年)3 月有藉由人工挖掘出一條復育之溝渠(圖 7)，並連接至原有的潭(圖 8)，2 號及 3 號區域水域皆屬於潭(圖 9 和圖 10)，4 號區域水域則屬於瀨(圖 11)，4 處區域周遭皆有茂密的植生環境。

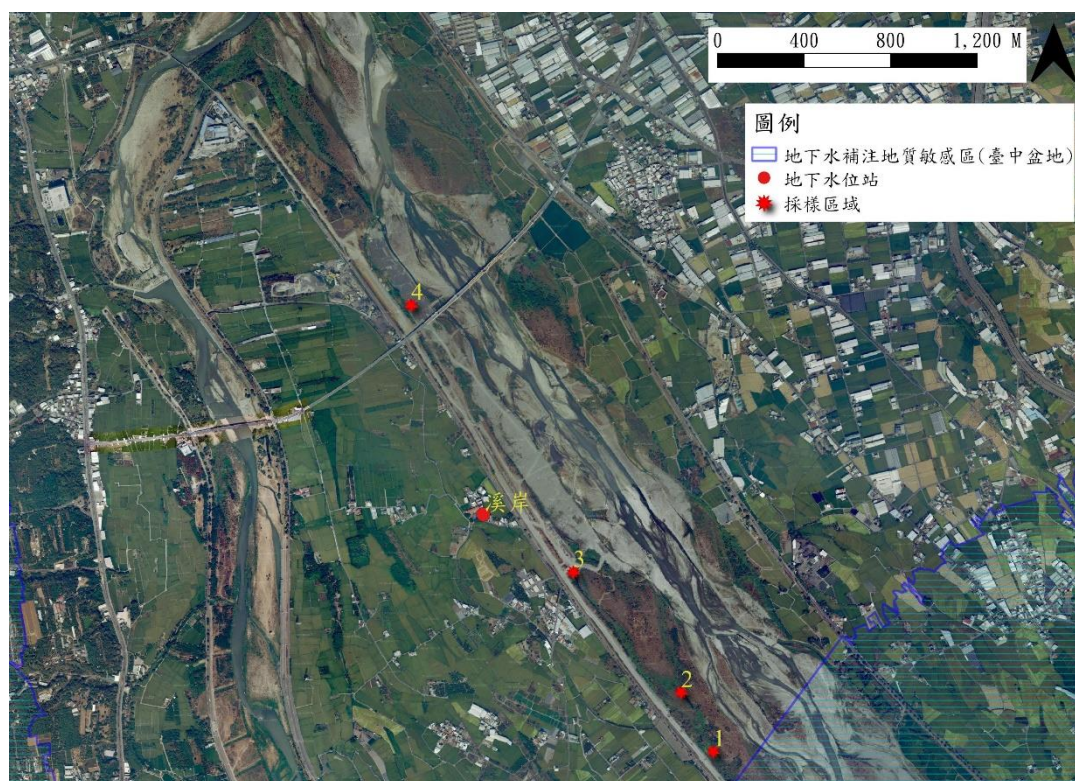


圖 5、採樣區域位置及鄰近地下水位測站圖

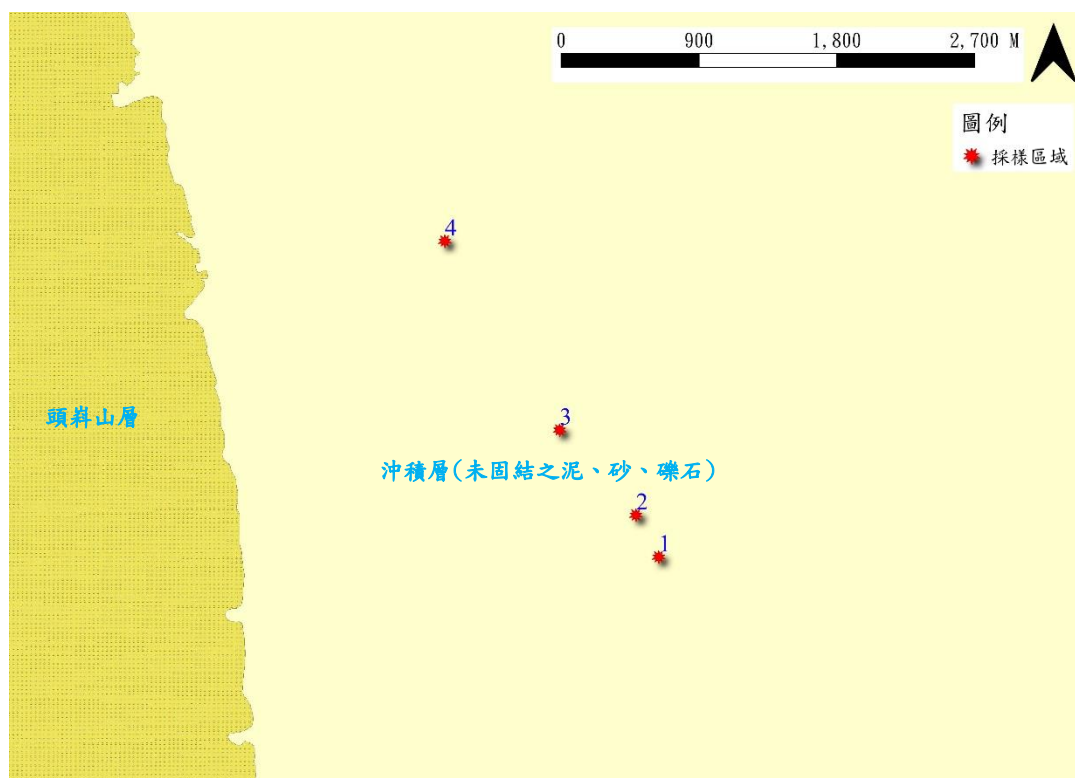


圖 6、採樣區域地質

表 3、各採樣區域調查日期

採樣區域 調查日期	1	2	3	4
2022.05.19	○			
2022.06.23	○	○		
2022.09.15	○		○	
2022.10.27			○	○
2022.11.10	○			○

備註：○代表該日期有調查。



圖 7、1 號採樣區域環境-瀨(2022.11.10 拍攝)



圖 8、1 號採樣區域環境-潭(2022.11.10 拍攝)



圖 9、2 號採樣區域環境(2022.06.23 拍攝)



圖 10、3 號區域採樣環境(2022.10.27 拍攝)



圖 11、4 號區域採樣環境(2022.11.10 拍攝)

棲地環境調查

本計畫於巴氏銀魴既有分布地區(林文隆博士提供)，以隨機方式選取採樣點進行棲地環境調查，每一個採樣點範圍為 1 公尺×1 公尺之方格，調查項目包含流速、水深、底質、pH 值、電導度、溶氧、鹽度、總溶解固體及上湧、下滲等。在每個採樣點方格當中，環境因子如 pH 值、電導度、溶氧、鹽度及總溶解固體(Total dissolved solids, TDS)會藉由手持式水質量測儀器量測一次，流速和水深會於方格內各取三點量測取平均值，代表採樣點方格內的流速和水深狀況，而底質則是採用自製的底質粒徑板，並搭配 Platts et al. (1983)的表面目視法(Surface-visual-method)進行估算，單位為百分比。底質粒徑板內有分成 100 個網格(每格為 10 公分×10 公分)，以方便計算不同底質類型的百分比(圖 12)。底質類型主要分為細顆粒(< 2 公厘)、礫石(2 公厘~64 公厘)、鵝卵石(64 公厘~256 公厘)、小漂石(256 公厘~512 公厘)和大漂石(> 512 公厘)。上湧、下滲的判斷將使用微測壓管進行量測，當管內的水位高於溪流表面即為上湧，反之則為下滲。棲地環境總共調查了 69 個微棲地環境，其中 1 號採樣區域調查了 32 個，2 號採樣區域調查了 9 個，3 號區域調查了 10 個，4 號區域調查了 18 個。

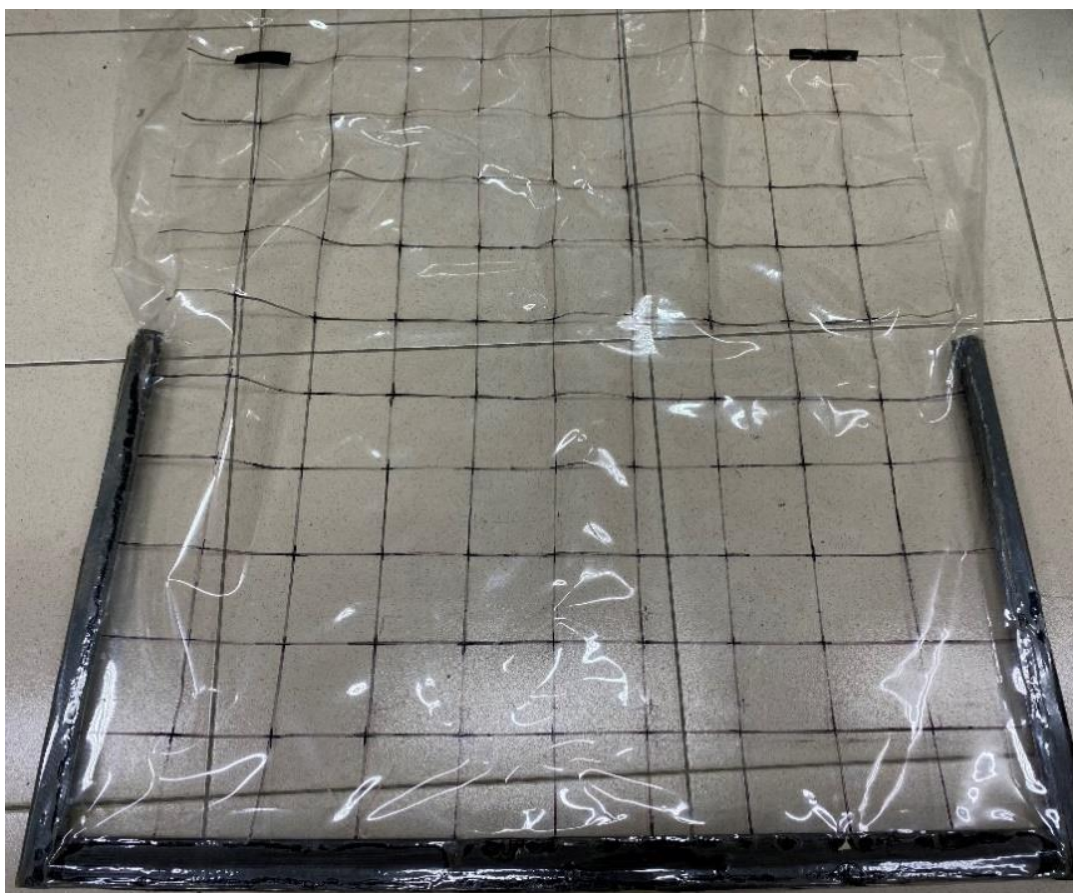


圖 12、自製底質粒徑板

伏流水層調查

伏流水層調查之目的是為了了解一區域之上湧及下滲的狀況及分布，而本計畫利用 Baxter & Hauer (2003)提出之微測壓管(Minipiezometer)量測方法進行調查。微測壓管量測方法為利用鐵槌將金屬內外管同時打入河床底下約 40 ~ 60 公分深處，再把金屬內管移出之後，將長約 160 公分、直徑 1.1 公分的 PVC 透明管(末端封底並從底部四面穿孔，自底部 0.5 公分起打約 30 個小孔)從金屬外管內插入河床底下，再藉由連通管原理量測 PVC 管內水深，若水位高於水面(地表流動溪水)則為上湧(Upwelling)；若低於水面則為下滲(Downwelling)，如圖 13 所示，放入浮球可以加速判釋管內水位之位置。垂直水力梯度(VHG, Vertical Hydraulic Gradient)為表示伏流水與地表水間壓力差之無因次單位，計算出結果分為上湧、下滲與平衡三種情況，上湧情況 $VHG > 0$ ，代表含水層之水位 $>$ 地表水位；下滲情況 $VHG < 0$ ，代表含水層之水位 $<$ 地表水位；若是平衡點位段 VHG 則會為 0，代表含水層與地表水水位相同。 VHG 之計算公式為 $\Delta h / \Delta l$ ，其中 Δh 為透明管內水位與河川水位之水頭差， Δl 為透明管打入土裡的深度，如圖 14 所示。伏流水層調查共調查了 69 個點位，其中 1 號採樣區域調查了 32 個，2 號採樣區域調查了 9 個，3 號區域調查了 10 個，4 號區域調查了 18 個。



圖 13、利用浮球進行上湧/下滲判斷

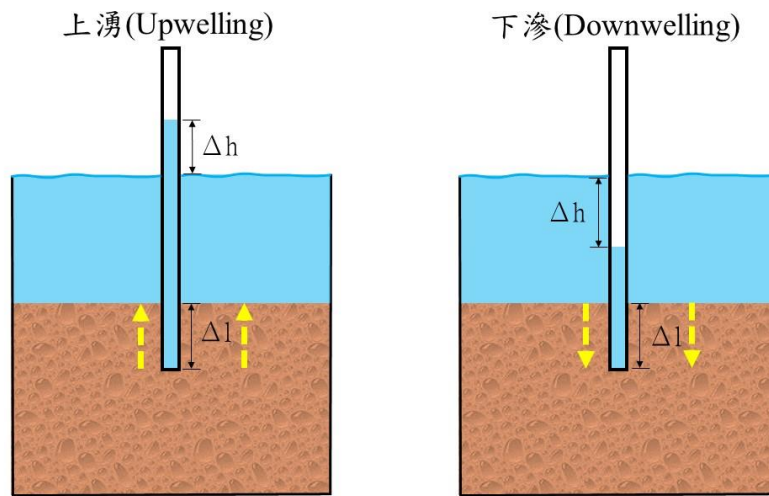


圖 14、伏流水垂直水力梯度(VHG)示意圖

魚類調查

本計畫之魚類調查是委託林文隆博士團隊進行調查，其方法是在固定位置架設水下攝影機進行拍攝，拍攝結束後再將影像帶回室內進行魚種辨識，拍攝日期為 2022 年的 6 月 24 日、6 月 27 日、7 月 21 日、9 月 16 日、10 月 27 日和 11 月 11 日，共計調查 40 個微棲地環境。

統計分析

本計畫採用單因子變異數分析(One-way ANOVA)、多元尺度分析(Multidimensional Scaling, MDS)及主成份分析(Principle Component Analysis, PCA)等統計及多變量方法進行資料的分析。單因子變異數分析是用來探討 4 個採樣區域間棲地環境因子的差異性，多重比較檢定則是採用 Duncan 法區別差異性(Hair et al., 2009; Huitema, 2011)。Duncan 法的統計強韌性很高，即容易達到顯著水準。

多元尺度分析是用來探討魚類調查的 40 個微棲地環境中，有無巴氏銀魷之整體環境分布差異，本計畫是利用歐氏距離矩陣進行分析，並繪製出多元尺度空間分析圖，分布越集中代表棲地環境的差異性不大，越分散差異性越大。在多元尺度空間分析圖中，其點位提供採樣點彼此之間的相對關係，此相對關係程度的好壞以壓力值(Stress values)來作為指標。當壓力值越低時，表示多元尺度空間分析圖越能提供準確的資訊(Pegg & McClelland, 2004)。

為了瞭解魚類與棲地環境之關係，本計畫利用主成份分析來探討兩者之間之關係，其優點為能將資料簡化，將多個有相關的變數簡化成少數幾個沒有相關(即互相獨立)的主成份，而且經由線性組合而得的主成份能保有原來變數最多的資訊(即主成份有最大的變異數)，也就是資料在這些主成份上會顯示出最大的個別差異。由於本計畫關注的物種是巴氏銀魷，因此會探討有無巴氏銀魷

之環境分布差異及巴氏銀魴對於棲地環境之偏好。

結果與討論

地下水水位分析

本計畫蒐集了 2018-2020 年烏溪流域內地下水位測站的水位資料(經濟部水利署, 2019; 經濟部水利署, 2020; 經濟部水利署, 2021), 如圖 15 所示。最上游的測站為溪尾、埔里(1)和埔里(2)(圖 4), 其地下水水位平均值分別為 423.7 公尺、425.7 公尺和 427.1 公尺, 為烏溪流域地下水水位最高的測站; 新光(1)、新光(2)、新街(1)、新街(2)為烏溪流域內最南端的測站, 地下水水位平均值分別為 169.3 公尺、174.3 公尺、102.4 公尺、104.5 公尺, 其中新街(1)、新街(2)的地下水水位在 2018-2020 年相當穩定(圖 15(b)); 霧峰(1)、霧峰(2)、大里(1)、大里(2)、建平的地下水位平均值分別為 43.6 公尺、49.0 公尺、54.3 公尺、55.4 公尺、62.67 公尺, 由圖 15(c)可發現這些測站的地下水水位變化趨勢接近一致; 溪岸(1)、溪岸(2)、萬豐、草屯的地下水水位平均值分別為 39.7 公尺、39.7 公尺、57.6 公尺、61.0 公尺, 其中溪岸(1)、溪岸(2)的地下水水位在 2018-2020 年相當穩定(圖 15(d)); 潭子、中山(1)、中山(2)、東山的地下水水位平均值分別為 103.3 公尺、76.1 公尺、76.2 公尺、83.3 公尺, 其中中山(1)、中山(2)的地下水水位變化趨勢接近一致(圖 15(e)); 神圳(1)、神圳(2)、啟聰(1)、啟聰(2)、泰安、四張犁(1)、四張犁(2)的地下水水位平均值分別為 137.6 公尺、137.6 公尺、74.0 公尺、73.8 公尺、101.1 公尺、96.7 公尺、97.1 公尺, 其中神圳(1)和神圳(2)的地下水水位變化趨勢接近一致, 啟聰(1)和啟聰(2)的地下水水位變化趨勢接近一致, 四張犁(1)和四張犁(2)的地下水水位變化趨勢接近一致(圖 15(f)); 永順(1)、永順(2)、全興(1)、全興(2)、全興(3)、全興(4)為最下游之測站(圖 4), 其地下水水位平均值分別為 3.6 公尺、0.8 公尺、2.7 公尺、-1.3 公尺、-0.8 公尺、-1.0 公尺; 烏日(1)、烏日(2)、國聖(1)、國聖(2)、國聖(3)的地下水水位平均值分別為 24.8 公尺、32.3 公尺、17.9 公尺、11.3 公尺、21.5 公尺, 其中烏日(1)、烏日(2)的地下水水位在 2018-2020 年相當穩定(圖 15(h))。採樣區域附近的地下水水位測站—溪岸(1)和溪岸(2), 其地下水水位變化是介於 39.0 ~ 40.8 公尺之間(圖 15(d)), 差距約 1.8 公尺。

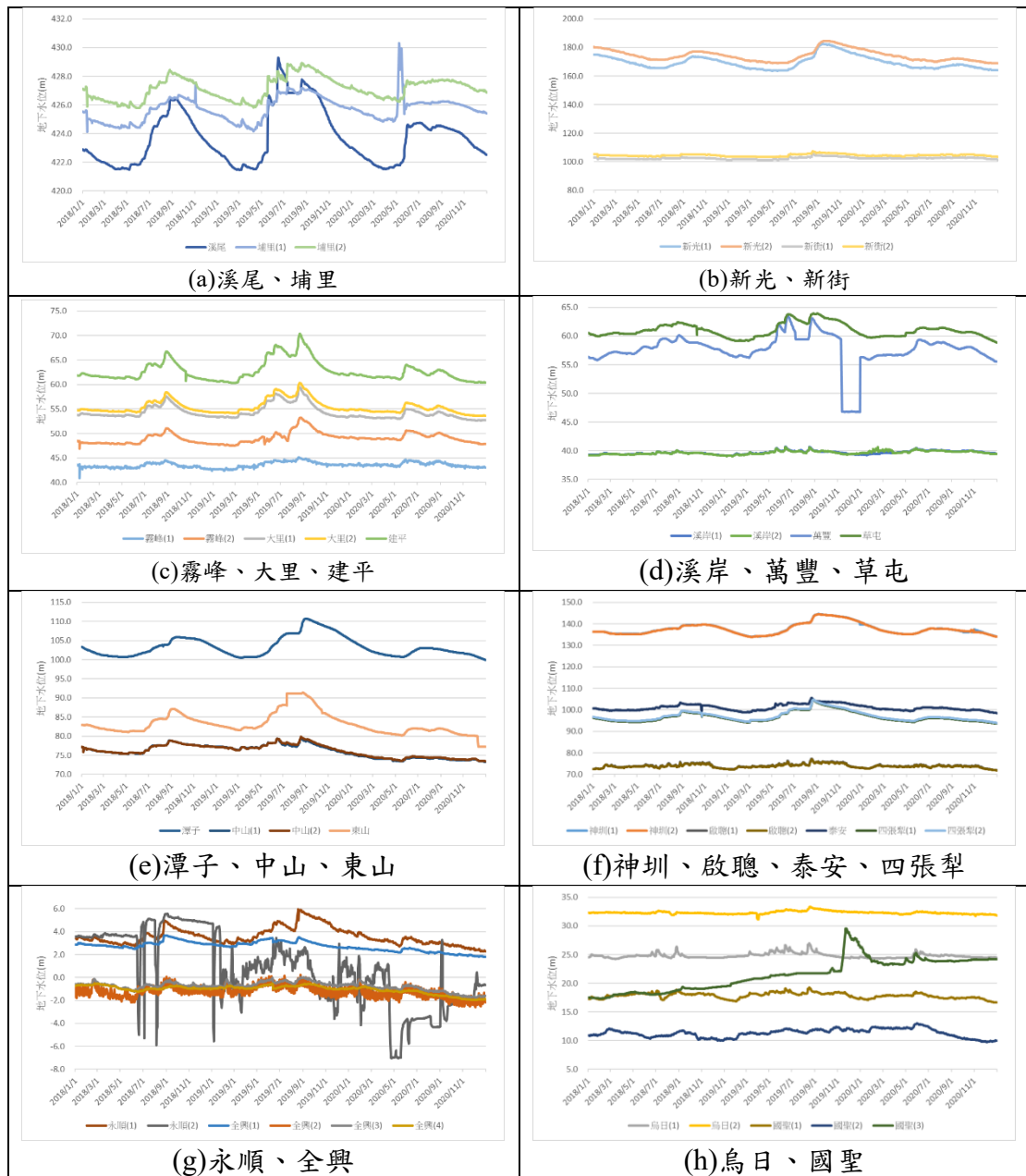


圖 15、2018-2020 年烏溪流域內地下水位測站之水位資料

為了解採樣區域附近之地下水水位變化，本計畫探討以溪岸(1)為主的南北向及東西向之地下水水位變化趨勢，其中南北向(有北至南)選用的測站為建平、大里(1)、霧峰(1)、溪岸(1)，東西向(由東至西)選用的測站為萬豐、溪岸(1)和國聖(1)，如圖 16 所示，圖 16 顯示了南北向測站和東西向測站 1~12 月的變化。根據圖 16 的地下水水位變化，無論是南北向或是東西向的地下水水位皆是呈現下降的趨勢，由於烏溪流域地勢大致為東高西低，因此東西向的地下水水位呈現遞減的趨勢為正常現象，值得注意的是南北向的地下水水位變化，雖然同樣是呈現遞減的趨勢，但從霧峰(1)到溪岸(1)的地下水水位下降較緩，由於溪岸(1)測站相當靠近烏溪主流的左岸，推測接近河流附近之滲透性較佳，地下水水位之變化差異不大(Allen et al., 2010)，而從霧峰(1)測站的平均地下水水位(43.6 公

尺)和溪岸(1)測站的平均地下水位(39.7 公尺)亦可發現兩者之差距僅約 3.9 公尺。

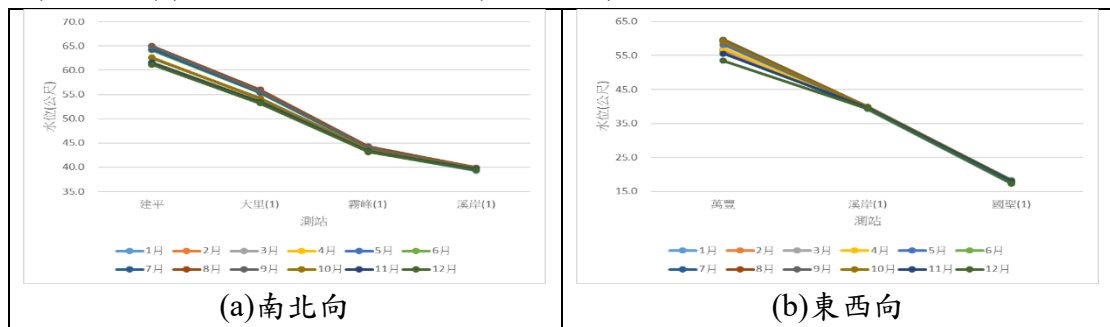


圖 16、溪岸測站及其周遭測站地下水位之變化

假設計畫採樣區域周遭之地下水水位皆等於溪岸(1)的平均地下水水位(39.7 公尺)，可以發現 1 號、2 號、3 號採樣區域之地下水水位大於 39.7 公尺，4 號採樣區域之地下水水位小於 39.7 公尺，即 1 號、2 號、3 號採樣區域屬於地下水補注區(地表逕流補注地下水)，4 號採樣區域屬於地下水出滲區(地下水補注地表逕流)，如圖 17 所示。依照地下水補注地質敏感區(臺中盆地)所標註之範圍，本計畫之 4 個採樣區域皆不屬於地下水補注地質敏感區(臺中盆地)範圍內(圖 4)，但由於本計畫之採樣區域相當接近地下水補注地質敏感區(臺中盆地)之邊界，加上地下水補注地質敏感區(臺中盆地)之範圍是依據地球物理探測、地質鑽探結果及地籍資料進行劃分(經濟部，2015)，推測邊界部分仍有模糊空間，因此位於敏感區地下水補注地質敏感區(臺中盆地)邊界外之區域仍有可能屬於地下水補注區。

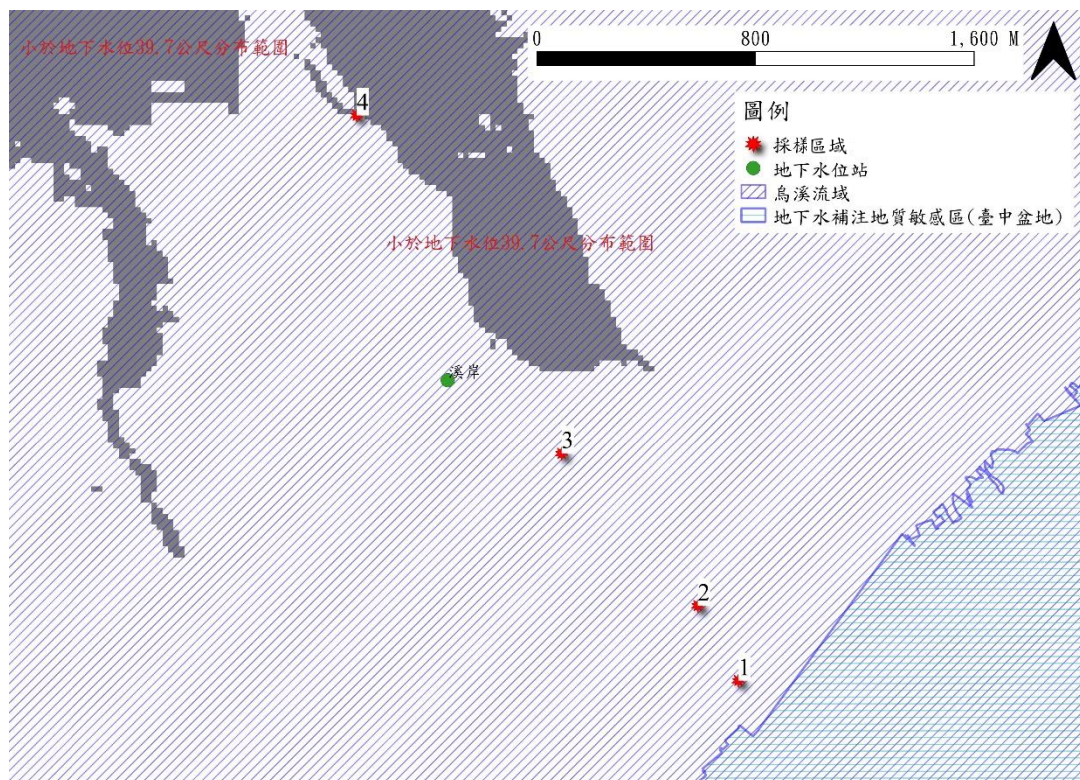


圖 17、採樣區域周遭之地下水水位 < 39.7 公尺之分布範圍

採樣區域之魚類種類

各採樣區域之魚類調查結果如表 4 所示，共計調查到 5 科 19 種，其中 1 號採樣區域有 4 科 10 種，2 號採樣區域有 4 科 9 種，3 號採樣區域有 4 科 11 種，4 號採樣區域有 5 科 16 種，以 4 號採樣區域所調查到的科別及種類最多，而有調查到巴氏銀魷的採樣區域為 1 號、2 號和 4 號，3 號則是完全沒有調查到巴氏銀魷。4 個採樣區域皆有調查到的魚種分別為斯奈德小鰾、鯽、銀高體鰾、吳郭魚、線鱧和極樂吻鰾虎。

表 4、4 個採樣區域調查到的魚類種類

採樣區域	科別	種類	
		學名	中文名
1	鯉科	<i>Puntius snyderi</i>	斯奈德小鰾
	鯉科	<i>Opsariichthys pachycephalus</i>	粗首馬口鱮
	鯉科	<i>Carassius auratus auratus</i>	鯽
	鯉科	<i>Cyprinus carpio carpio</i>	鯉
	鯉科	<i>Barbonymus gonionotus</i>	銀高體鰾
	慈鯛科	<i>Oreochromis sp.</i>	吳郭魚
	鱧科	<i>Channa striata</i>	線鱧
	鰾虎科	<i>Rhinogobius similis</i>	極樂吻鰾虎
	鯉科	<i>Candidia barbata</i>	臺灣鬚鱨
	鯉科	<i>Squalidus banarescui</i>	巴氏銀魷
2	慈鯛科	<i>Oreochromis sp.</i>	吳郭魚
	鯉科	<i>Carassius auratus auratus</i>	鯽
	鱧科	<i>Channa striata</i>	線鱧
	鯉科	<i>Pseudorasbora parva</i>	羅漢魚
	鯉科	<i>Cyprinus carpio carpio</i>	鯉
	鯉科	<i>Barbonymus gonionotus</i>	銀高體鰾
	鯉科	<i>Puntius snyderi</i>	斯奈德小鰾
	鯉科	<i>Squalidus banarescui</i>	巴氏銀魷
	鰾虎科	<i>Rhinogobius similis</i>	極樂吻鰾虎
3	鯉科	<i>Puntius snyderi</i>	斯奈德小鰾
	鯉科	<i>Pseudorasbora parva</i>	羅漢魚
	慈鯛科	<i>Oreochromis sp.</i>	吳郭魚
	鯉科	<i>Carassius auratus auratus</i>	鯽
	鱧科	<i>Channa striata</i>	線鱧
	鰾虎科	<i>Rhinogobius similis</i>	極樂吻鰾虎
	鯉科	<i>Barbonymus gonionotus</i>	銀高體鰾
	鯉科	<i>Opsariichthys pachycephalus</i>	粗首馬口鱮
	鯉科	<i>Candidia barbata</i>	臺灣鬚鱨
	鯉科	<i>Paratanakia himantegus</i>	臺灣石鮒

採樣區域	科別	種類	
		學名	中文名
4	鰕虎科	<i>Rhinogobius candidianus</i>	明潭吻鰕虎
	慈鯛科	<i>Oreochromis</i> sp.	吳郭魚
	鯉科	<i>Carassius auratus auratus</i>	鯽
	鯉科	<i>Opsariichthys pachycephalus</i>	粗首馬口鱮
	鯉科	<i>Onychostoma alticorpus</i>	高身白甲魚
	鰍科	<i>Cobitis sinensis</i>	中華鰍
	鯉科	<i>Microphysogobio alticorpus</i>	高身小鰾鮒
	鯉科	<i>Puntius snyderi</i>	斯奈德小鰾
	鱧科	<i>Channa striata</i>	線鱧
	鯉科	<i>Acrossocheilus paradoxus</i>	臺灣石鱮
	鯉科	<i>Barbonymus gonionotus</i>	銀高體鰾
	鰕虎科	<i>Rhinogobius similis</i>	極樂吻鰕虎
	鯉科	<i>Candidia barbata</i>	臺灣鬚鱮
	鯉科	<i>Squalidus banarencui</i>	巴氏銀鮒
	鯉科	<i>Spinibarbus hollandi</i>	何氏棘鰾
	鯉科	<i>Pseudorasbora parva</i>	羅漢魚
	鯉科	<i>Hemibarbus labeo</i>	唇鰾

採樣區域之棲地環境描述及差異

採樣區域之環境資料如表 5 所示，4 個採樣區域的流速偏低(幾乎為 0 m/s)，底質是以細顆粒為主，溶氧偏低，鹽度約為 0.2 PSU。4 個採樣區域的環境因子幾乎都有差異，僅流速、礫石、小漂石、大漂石等環境因子較無差異。根據單因子變異數分析(搭配 Duncan 法)的結果，2 號及 3 號採樣區域的水深明顯比 1 號及 4 號採樣區域深，主要是因為 2 號及 3 號採樣區域是屬於潭的棲地型態，1 號採樣區域是包含潭和瀨的棲地型態，4 號採樣區域則屬於瀨的棲地型態；導電度和鹽度是 2 號及 4 號採樣區域明顯高於 1 號及 3 號採樣區域，不過 4 個採樣區域的數值皆低於灌溉用水水質標準的最大限值(750 $\mu\text{S}/\text{cm}$)；pH 值在 4 個採樣區域皆顯著不同，但整體仍偏弱酸至中性；溶氧是以 3 號採樣區域高於其他採樣區，但 1 號及 2 號採樣區域則是低於灌溉用水水質標準的最低限值(3 mg/L)；TDS 是 3 號及 4 號採樣區域高於 1 號及 2 號採樣區域，但仍低於飲用水水質標準的最大限值(500 ppm)；細顆粒的比例是以 2 號採樣區域最高；鵝卵石的比例是以 3 號採樣區域最高。

表 5、各採樣區域的環境資料

採樣區域 環境因子	1			2	3	4
	瀨區 (n = 16)	潭區 (n = 16)	整體 (n = 32)	(n = 9)	(n = 10)	(n = 18)
流速(m/s)	0.06	0.01	0.04 ^{bl}	0.01 ^{ab}	0.00 ^a	0.03 ^{ab}
水深(cm)	53.99	70.98	62.48 ^b	86.93 ^c	94.30 ^c	29.66 ^a
導電度(μ S/cm)	417.3	412.4	414.9 ^b	441.0 ^c	383.4 ^a	445.4 ^c
鹽度(PSU)	0.20	0.20	0.20 ^b	0.21 ^c	0.19 ^a	0.21 ^c
pH	6.49	6.48	6.49 ^b	6.42 ^a	6.90 ^d	6.75 ^c
溶氧(mg/L)	2.67	2.81	2.74 ^b	1.41 ^a	4.40 ^c	3.24 ^b
TDS(ppm)	223.32	225.67	224.49 ^a	220.33 ^a	249.28 ^b	254.66 ^b
細顆粒(%)	95	83	89 ^{bc}	100 ^c	76 ^{ab}	71 ^a
礫石(%)	0	9	5 ^a	0 ^a	12 ^{ab}	20 ^b
鵝卵石(%)	3	6	4 ^{ab}	0 ^a	12 ^c	9 ^{bc}
小漂石(%)	2	2	2 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
大漂石(%)	0	0	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a

1. 不同的字母表示有顯著的差異($p < 0.05$)。

採樣區域之上湧/下滲分布

各採樣區域上湧/下滲分布如圖 18 至圖 21 所示。由圖 18 至圖 21 可以發現，1 號區域之調查點位幾乎為上湧，少數位於潭的採樣點位為下滲，2 號及 3 號區域之調查點位全為下滲，4 號區域之調查點位幾乎為上湧，僅 1 個調查點位為下滲。各採樣點位的垂直水力梯度詳附錄二之附表 1。



圖 18、1 號區域上湧/下滲分布情形



圖 19、2 號區域上湧/下滲分布情形



圖 20、3 號區域上湧/下滲分布情形



圖 21、4 號區域上湧/下滲分布情形

從圖 17 推論得知，4 號區域位於地下水出滲區，1 號、2 號、3 號位於地下水補注區，推測 4 號區域之伏流水來源可能含有較多的地下水，但 1 號區域並非是位於地下水出滲區，調查結果卻幾乎為上湧，推測其伏流水來源可能以溪流為主。本計畫蒐集了計畫區域周遭過去之 SPOT 衛星影像可以發現，本計畫調查之區域曾位於河道上及附近(圖 22 至圖 24)，因位於瓣狀河川內，流路易擺盪，原有之流路容易被淤埋，而淤埋之土、砂若未固結，水流仍可以滲透，即水在土或砂內流動，後因地勢、地形之關係湧出。2 號區域之調查結果雖皆為下滲，但由於其與 1 號區域距離很近，推測兩者之間有流路連接，因此 1 號區域之水可能流至 2 號區域，而 3 號區域同 2 號區域，調查之結果皆為下滲，但由於 3 號區域水域過深(表 5)，基於安全考量，調查之範圍較集中於 3 號區域之下游部分。本計畫蒐集之 SPOT 衛星影像來源為國立中央大學太空及遙測研究中心，而歷年(2005-2021)之 SPOT 衛星影像詳附錄二。



圖 22、2007 年計畫區域周遭之衛星影像

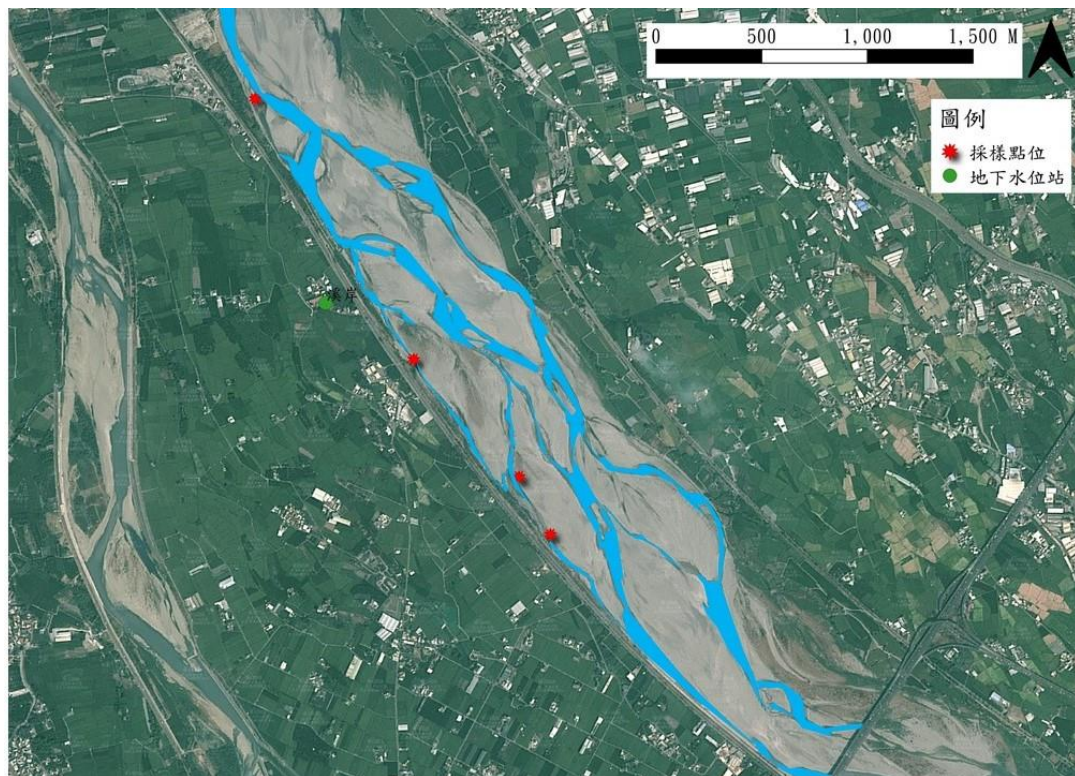


圖 23、2013 年計畫區域周遭之衛星影像

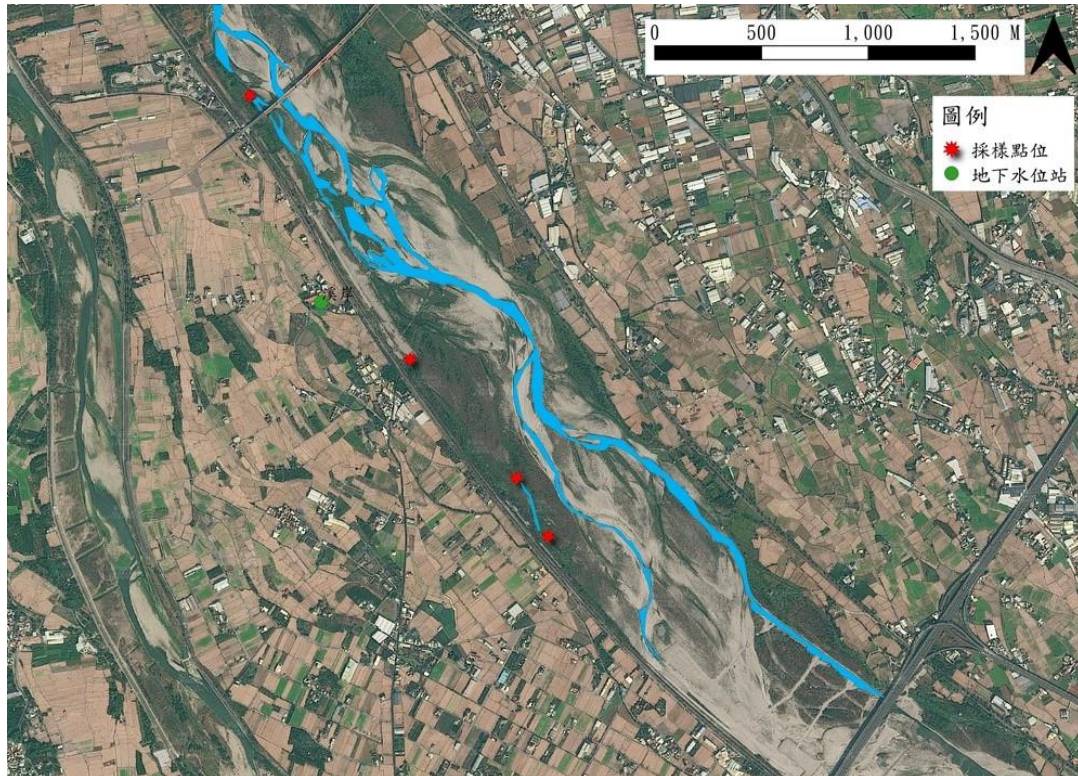


圖 24、2018 年計畫區域周遭之衛星影像

巴氏銀鮎偏好之棲地環境

根據魚類調查結果，巴氏銀鮎在 40 個微棲地環境調查中，有 9 個微棲地有發現紀錄，利用多元尺度分析比較有、無巴氏銀鮎棲息之棲地環境並無明顯之區分(圖 25)，但利用主成份分析可以發現，兩者之間之棲地環境差異主要為 pH 值及溶氧(圖 26 及圖 27)，即有巴氏銀鮎出現之棲地環境會比無巴氏銀鮎出現之棲地環境有較低之溶氧和 pH 值。另外，利用主成份分析探討巴氏銀鮎對於環境之偏好，發現巴氏銀鮎與 pH 值、流速、溶氧、垂直水力梯度等環境因子有正相關之趨勢(圖 28 及圖 29)，表示巴氏銀鮎偏好有水流流動和上湧之棲地環境，而從巴氏銀鮎與 pH 值和溶氧之關係，推測巴氏銀鮎雖然較不容易出現在 pH 值和溶氧偏高之環境，但過低之 pH 值和溶氧亦不利於其生存。

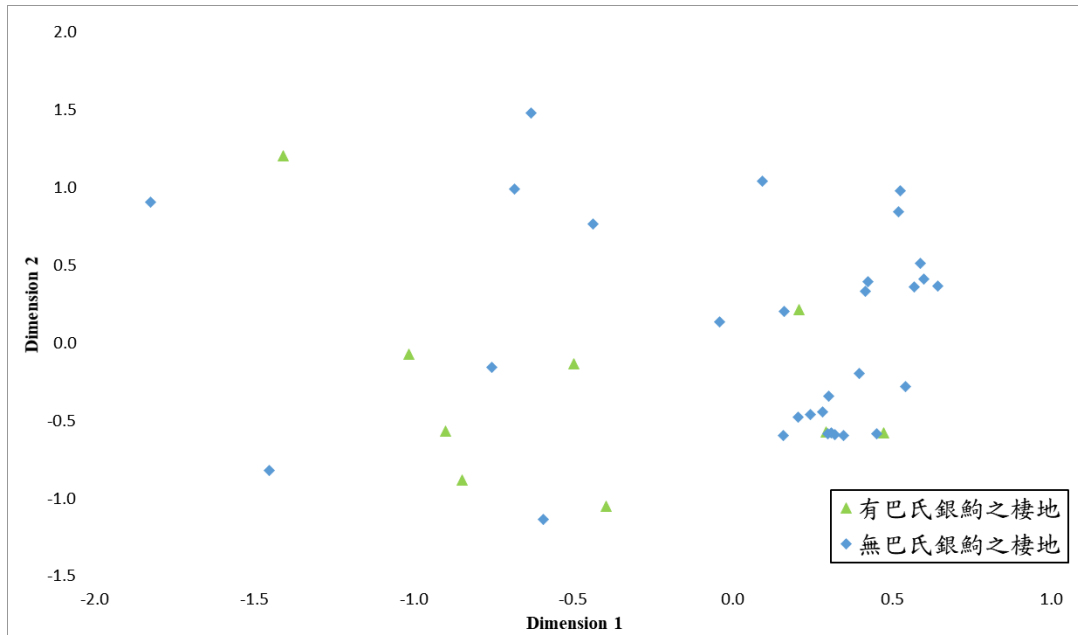


圖 25、有、無巴氏銀鮡之棲地環境多元尺度空間分析圖

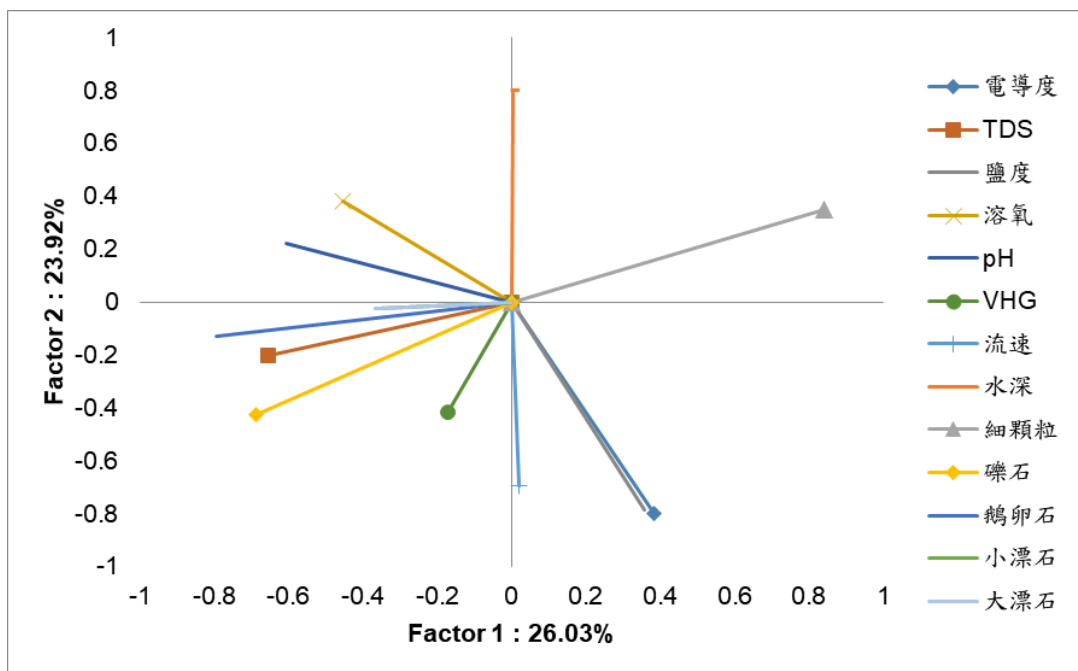


圖 26、有、無巴氏銀鮡之棲地環境因子主成份空間分析圖

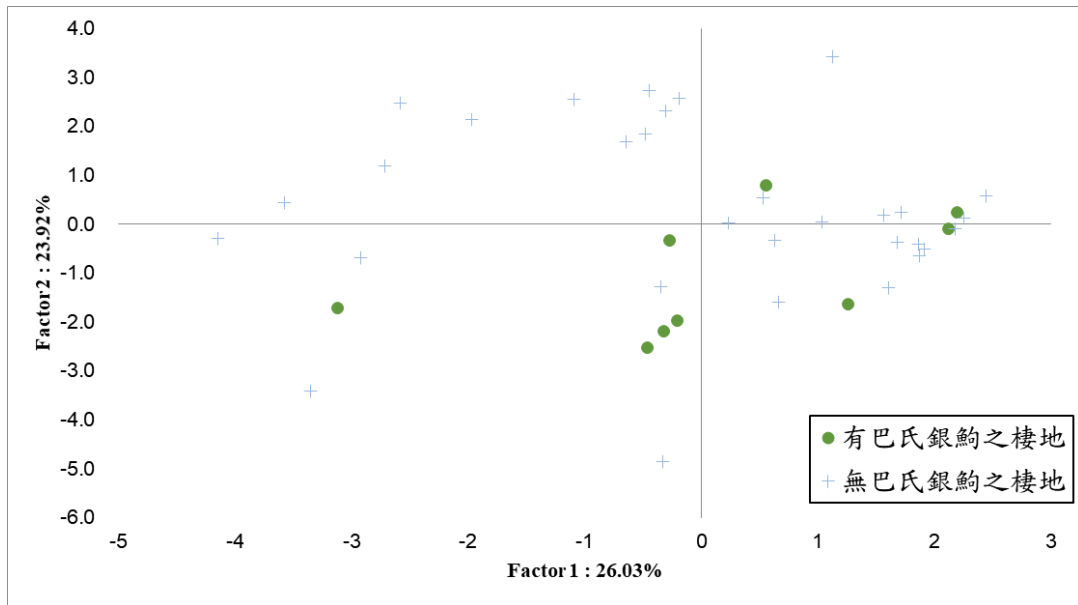


圖 27、有、無巴氏銀魮之主成份空間分析圖

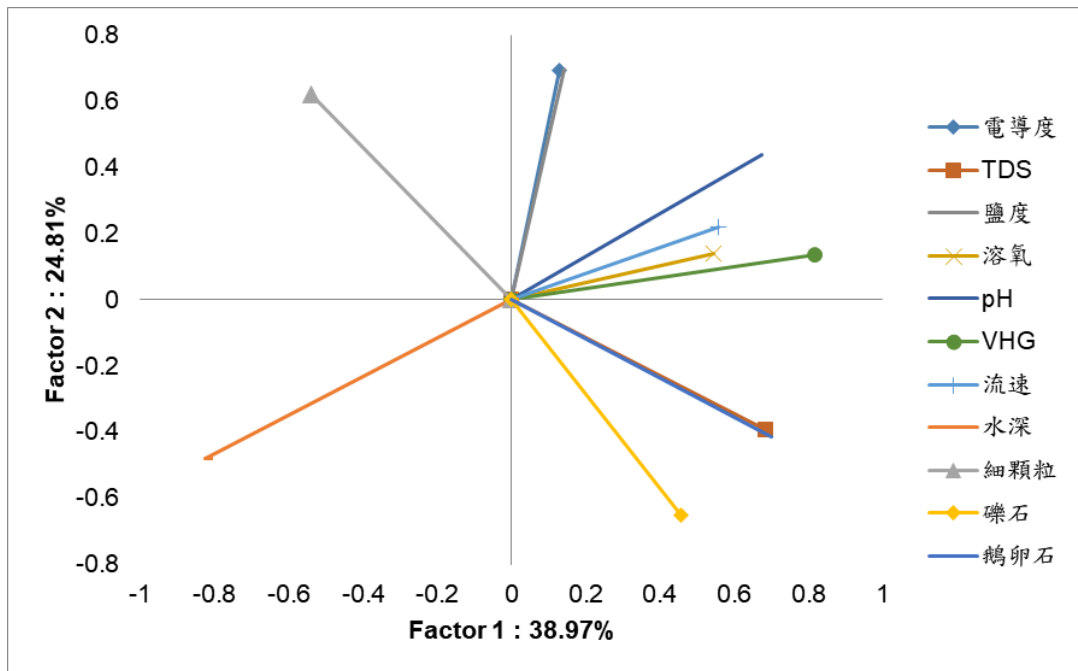


圖 28、巴氏銀魮之環境因子的主成份空間分析圖

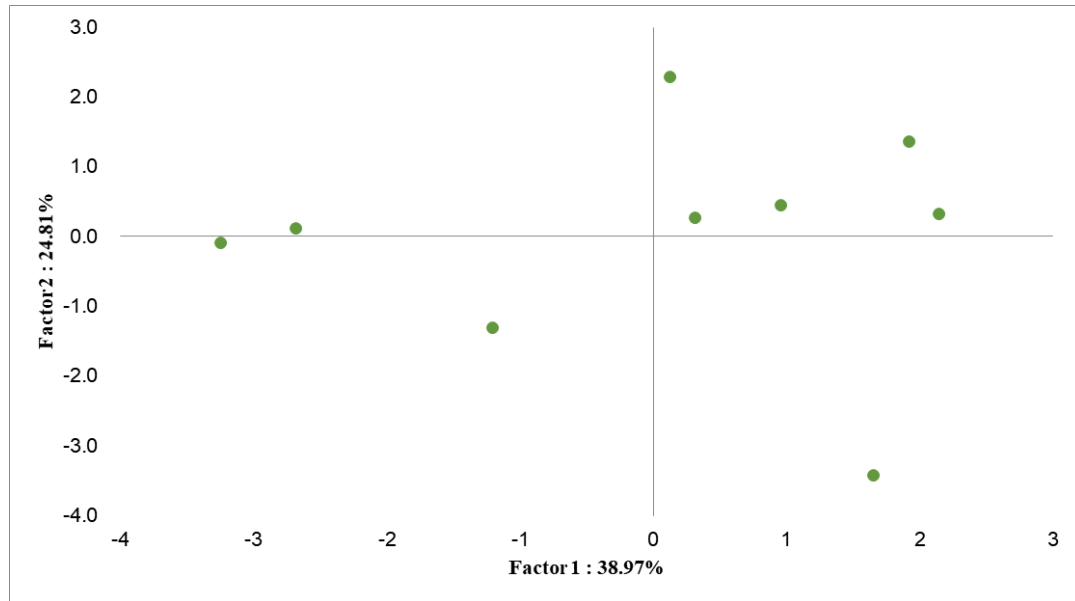


圖 29、巴氏銀魮之主成份空間分析圖

根據臺中市野生動物保育學會(2022)的調查，巴氏銀魮在河川中偏好緩流、以砂或礫石為主之底質、周遭之水草或兩岸水生植物豐富之環境為主，而本計畫之調查結果與臺中市野生動物保育學會(2022)之調查結果接近。從主成份分析結果，巴氏銀魮雖與流速有正相關之趨勢(圖 28 及圖 29)，但平均流速最大不超過 0.15 m/s，流況接近緩流，而完全無流速之區域則是沒有發現到巴氏銀魮之存在(表 4 及表 5)。底質方面，主成份分析結果雖無發現巴氏銀魮與底質有相關之趨勢，但本計畫發現巴氏銀魮之底質環境主要為細顆粒、礫石和鵝卵石等粒徑較小之底質，而小漂石和大漂石等大粒徑之底質都無發現巴氏銀魮，顯示巴氏銀魮較偏好粒徑較小之底質環境。

結論與建議

本計畫於臺中市境內的烏溪主流進行巴氏銀魮之棲地水文特性調查，採樣區域挑選了 4 處瓣狀湧泉流路區域，分析資料包含地下水水位、流速、水深、底質、水質、上湧/下滲等，探討採樣區域周遭之地下水水位及巴氏銀魮與棲地環境之關係，從伏流水層調查發現 1 號及 4 號區域多為上湧，2 號及 3 號區域下滲較多，推測 1 號區域之伏流水來源主要為溪流。棲地環境調查部分，4 個採樣區域的環境因子幾乎都有差異，僅流速、礫石、小漂石、大漂石等環境因子較無差異，另魚類調查部分則是有 3 處(1 號、2 號、4 號區域)發現巴氏銀魮之存在。結合了棲地環境調查與魚類調查資料進行分析，發現巴氏銀魮偏好緩流和上湧之棲地環境，底質則是不偏好較大顆粒之棲地環境。

本計畫伏流水層之調查是著重在瓣狀湧泉流路的上湧/下滲之判釋，建議未來可增加上湧/下滲區域之水質分析及地表水與伏流水之水質分析，並蒐集主流

流量及地下水水位資料，以分析流量與地下水水位之關係及流量對於上湧/下滲之影響。

參考文獻

1. 行政院農業委員會特有生物研究保育中心，2005，烏溪河系河川情勢調查(1/2)。經濟部水利署水利規劃試驗所。
2. 何大仁、蔡厚才，1999，魚類行為學。基隆：水產出版社。
3. 呂映昇、孫建平，2010，魚類於生命週期的不同階段棲地使用與物理棲地因子之量化關係。農業工程學報，56(1)，40-51。
4. 林宏奕、龔文瑞、李振誥，2019，應用地下水水位水溫資料評估伏流水潛能河段之研究-以八掌溪為例。大地技師，19，59-65。
5. 游志弘、孫建平，2015，河道伏流水特性及其對地表逕流水質之影響。農業工程學報，61(2)，47-60。
6. 經濟部，2015，地下水補注地質敏感區劃定計畫書(G0005 臺中盆地)。經濟部。
7. 經濟部水利署，2019，中華民國一〇七年臺灣水文年報。經濟部水利署台北辦公區。
8. 經濟部水利署，2020，中華民國一〇八年臺灣水文年報。經濟部水利署台北辦公區。
9. 經濟部水利署，2021，中華民國一〇九年臺灣水文年報。經濟部水利署台北辦公區。
10. 臺中市野生動物保育學會，2022，110 年度烏溪水系巴氏銀鮎分布監測計畫，行政院農業委員會林務局。
11. Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). Stream ecology: structure and function of running waters. New York: Springer.
12. Allen, D. J., Darling, W. G., Gooddy, D. C., Lapworth, D. J., Newell, A. J., Williams, A. T., Allen D., & Abesser, C. (2010). Interaction between groundwater, the hyporheic zone and a Chalk stream: a case study from the River Lambourn, UK. Hydrogeology Journal, 18(5), 1125-1141.
13. Alley, W. M., Healy, R. W., LaBaugh, J. W., & Reilly, T. E. (2002). Flow and storage in groundwater systems. Science, 296(5575), 1985-1990.
14. Arthington, A. H., Olden, J. D., Balcombe, S. R., & Thoms, M. C. (2010). Multi-scale environmental factors explain fish losses and refuge quality in drying waterholes of Cooper Creek, an Australian arid-zone river. Marine and Freshwater Research, 61(8), 842-856.
15. Bain, M. B., Finn, J. T., & Booke, H. E. (1988). Streamflow regulation and fish community structure. Ecology, 69(2), 382-392.

16. Baxter, C., Hauer, F. R., & Woessner, W. W. (2003). Measuring groundwater–stream water exchange: new techniques for installing minipiezometers and estimating hydraulic conductivity. *Transactions of the American Fisheries Society*, 132(3), 493-502.
17. Bencala, K. E. (2000). Hyporheic zone hydrological processes. *Hydrological Processes*, 14(15), 2797-2798.
18. Boulton, A. J., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E. H., & Valett, H. M. (1998). The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 59-81.
19. Brown, L. R. (2000). Fish communities and their associations with environmental variables, lower San Joaquin River drainage, California. *Environmental Biology of Fishes*, 57(3), 251-269.
20. Brunke, M., & Gonser, T. O. M. (1997). The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*, 37(1), 1-33.
21. Burge, L. M. (2004). Testing links between river patterns and in-channel characteristics using MRPP and ANOVA. *Geomorphology*, 63(3-4), 115-130.
22. Chiu, H. P., & Suen, J. P. (2016). The importance of providing multiple-channel sections in dredging activities to improve fish habitat environments. *Water*, 8(2), 36.
23. Claret, C., Marmonier, P., & Bravard, J. P. (1998). Seasonal dynamics of nutrient and biofilm in interstitial habitats of two contrasting riffles in a regulated large river. *Aquatic Sciences*, 60(1), 33-55.
24. Davey, A. J., & Kelly, D. J. (2007). Fish community responses to drying disturbances in an intermittent stream: a landscape perspective. *Freshwater Biology*, 52(9), 1719-1733.
25. Findlay, S. (1995). Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: The hyporheic zone. *Limnology and Oceanography*, 40(1), 159-164.
26. Fischer, H., Kloep, F., Wilzcek, S., & Pusch, M. T. (2005). A river's liver—microbial processes within the hyporheic zone of a large lowland river. *Biogeochemistry*, 76(2), 349-371.
27. Franken, R. J., Storey, R. G., & Dudley Williams, D. (2001). Biological, chemical and physical characteristics of downwelling and upwelling zones in the hyporheic zone of a north-temperate stream. *Hydrobiologia*, 444(1), 183-195.
28. Fretwell, S. D. (1972). *Population in changing environments*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
29. Frissell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E., & Hurley, M. D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10(2), 199-214.

30. Grossman, G. D., De Sostoa, A., Freeman, M. C., & Lobón-Cerviá, J. (1987). Microhabitat use in a mediterranean riverine fish assemblage. *Oecologia*, 73(4), 490-500.
31. Gurnell, A. M., & Petts, G. E. (2002). Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshwater Biology*, 47(4), 581-600.
32. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R.E. (2009). *Multivariate data analysis*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, pp. 473.
33. Harvey, B. C. (1987). Susceptibility of young-of-the-year fishes to downstream displacement by flooding. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116(6), 851-855.
34. Heggenes, J., Bremset, G., & Brabrand, Å. (2013). Visiting the hyporheic zone: young Atlantic salmon move through the substratum. *Freshwater Biology*, 58(8), 1720-1728.
35. Helfield, J. M., Engström, J., Michel, J. T., Nilsson, C., & Jansson, R. (2012). Effects of river restoration on riparian biodiversity in secondary channels of the Pite River, Sweden. *Environmental management*, 49(1), 130-141.
36. Huitema, B. (2011). *The analysis of covariance and alternatives: Statistical methods for experiments, quasi-experiments, and single-case studies*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 49-50.
37. Jähnig, S. C., Lorenz, A., & Hering, D. (2008). Hydromorphological parameters indicating differences between single-and multiple-channel mountain rivers in Germany, in relation to their modification and recovery. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(7), 1200-1216.
38. Kawanishi, R., Inoue, M., Dohi, R., Fujii, A., & Miyake, Y. (2013). The role of the hyporheic zone for a benthic fish in an intermittent river: a refuge, not a graveyard. *Aquatic Sciences*, 75(3), 425-431.
39. Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Arnold.
40. Lamberti, G. A., Gregory, S. V., Ashkenas, L. R., Wildman, R. C., & Moore, K. M. (1991). Stream ecosystem recovery following a catastrophic debris flow. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(2), 196-208.
41. Lee, P. Y., & Suen, J. P. (2012). Niche partitioning of fish assemblages in a mountain stream with frequent natural disturbances—an examination of microhabitat in riffle areas. *Ecology of Freshwater Fish*, 21(2), 255-265.
42. Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1957). River channel patterns: braided, meandering, and straight. *United States Geological Survey Professional Paper*, 282-B, 39-85.
43. Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: Freeman.

44. Lobb III, M. D., & Orth, D. J. (1991). Habitat use by an assemblage of fish in a large warmwater stream. *Transactions of the American Fisheries Society*, 120(1), 65-78.
45. Lüderitz, V., Speierl, T., Langheinrich, U., Völkl, W., & Gersberg, R. M. (2011). Restoration of the Upper Main and Rodach rivers—The success and its measurement. *Ecological Engineering*, 37(12), 2044-2055.
46. Marmonier, P., Vervier, P., Giber, J., & Dole-Olivier, M. J. (1993). Biodiversity in ground waters. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(11), 392-395.
47. Matthews, W. J. (1985). Distribution of midwestern fishes on multivariate environmental gradients, with emphasis on *Notropis lutrensis*. *American Midland Naturalist*, 225-237.
48. Matthews, W. J. (1986). Fish faunal structure in an Ozark stream: stability, persistence and a catastrophic flood. *Copeia*, 388-397.
49. Moir, H. J., Gibbins, C. N., Soulsby, C., & Webb, J. (2004). Linking channel geomorphic characteristics to spatial patterns of spawning activity and discharge use by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Geomorphology*, 60(1-2), 21-35.
50. Mosley, M. P. (1982). Analysis of the effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a braided river, Ohau River, New Zealand. *Water Resources Research*, 18(4), 800-812.
51. Moyle, P. B., & Baltz, D. M. (1985). Microhabitat use by an assemblage of California stream fishes: developing criteria for instream flow determinations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 114(5), 695-704.
52. Nanson, G. C., & Croke, J. C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4(6), 459-486.
53. Nicolas, D., Le Loc'h, F., Desaunay, Y., Hamon, D., Blanchet, A., & Le Pape, O. (2007). Relationships between benthic macrofauna and habitat suitability for juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Vilaine estuary (Bay of Biscay, France) nursery ground. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3-4), 639-650.
54. Orghidan, T. (1959). Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers: der hyporheische Biotop. *Archiv für Hydrobiologie*, 55(3), 392-414.
55. Orghidan, T. (2010). A new habitat of subsurface waters: the hyporheic biotope. *Fundamental and Applied Limnology*, 176(4), 291.
56. Pegg, M. A., & McClelland M. A. (2004). Spatial and temporal patterns in fish communities along the Illinois River. *Ecology of Freshwater Fish*, 13(2), 125-135.
57. Platts, W., Megahan, W., & Minshall, G. (1983). Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions. U.S. Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report, 138, 1-70.
58. Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), 169-199.

59. Schlosser, I. J. (1985). Flow regime, juvenile abundance, and the assemblage structure of stream fishes. *Ecology*, 66(5), 1484-1490.
60. Seegrist, D. W., & Gard, R. (1972). Effects of floods on trout in Sagehen Creek, California. *Transactions of the American Fisheries Society*, 101(3), 478-482.
61. Smock, L. A., Gladden, J. E., Riekenberg, J. L., Smith, L. C., & Black, C. R. (1992). Lotic macroinvertebrate production in three dimensions: channel surface, hyporheic, and floodplain environments. *Ecology*, 73(3), 876-886.
62. Sukhodolov, A., Bertoldi, W., Wolter, C., Surian, N., & Tubino, M. (2009). Implications of channel processes for juvenile fish habitats in Alpine rivers. *Aquatic Sciences*, 71(3), 338-349.
63. Taylor, C. M., Winston, M. R., & Matthews, W. J. (1993). Fish species-environment and abundance relationships in a Great Plains river system. *Ecography*, 16(1), 16-23.
64. Thorne, C. R., Hey, R. D., & Newson, M. D. (1997). *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management*. John Wiley: Chichester.
65. Valdez, R. A., Hoffnagle, T. L., McIvor, C. C., McKinney, T., & Leibfried, W. C. (2001). Effects of a test flood on fishes of the Colorado River in Grand Canyon, Arizona. *Ecological Applications*, 11(3), 686-700.
66. Valett, H. M., Hakenkamp, C. C., & Boulton, A. J. (1993). Perspectives on the hyporheic zone: integrating hydrology and biology. Introduction. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1), 40-43.
67. Van Der Nat, D., Schmidt, A. P., Tockner, K., Edwards, P. J., & Ward, J. V. (2002). Inundation dynamics in braided floodplains: Tagliamento River, northeast Italy. *Ecosystems*, 5(7), 0636-0647.
68. Van Liefferinge, C., Seeuws, P., Meire, P., & Verheyen, R. F. (2005). Microhabitat use and preferences of the endangered *Cottus gobio* in the River Voer, Belgium. *Journal of Fish Biology*, 67(4), 897-909.
69. Vervier, P., Gibert, J., Marmonier, P., & Dole-Olivier, M. J. (1992). A perspective on the permeability of the surface freshwater-groundwater ecotone. *Journal of the North American Benthological Society*, 11(1), 93-102.
70. Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B., & Claret, C. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 47(4), 517-539.
71. Welker, T. L., & Scarnecchia, D. L. (2006). River alteration and niche overlap among three native minnows (Cyprinidae) in the Missouri River hydrosystem. *Journal of Fish Biology*, 68(5), 1530-1550.
72. Wesner, J. S. (2011). Shoaling species drive fish assemblage response to sequential large floods in a small midwestern USA stream. *Environmental Biology of Fishes*, 91(2), 231-242.

73. White, D. S. (1993). Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1), 61-69.
74. Wyżga, B., Oglęcki, P., Radecki-Pawlik, A., Skalski, T., & Zawiejska, J. (2012). Hydromorphological complexity as a driver of the diversity of benthic invertebrate communities in the Czarny Dunajec River, Polish Carpathians. *Hydrobiologia*, 696(1), 29-46.
75. Yi, Y., Wang, Z., & Yang, Z. (2010). Two-dimensional habitat modeling of Chinese sturgeon spawning sites. *Ecological Modelling*, 221(5), 864-875.

附錄一、保育類巴氏銀魴域外保種參訪暨誇單位保育交流會議

位於烏溪流域內的巴氏銀魴為臺灣特有種，屬於瀕危魚種，因烏嘴潭人工湖工程及伏流水工程等水利設施陸續興建，可能造成巴氏銀魴之棲地受到影響。有鑑於此，為提升工程人員對於巴氏銀魴之了解，經濟部水利署第三河川局、行政院農業委員會水產試驗所及臺中市野生動物保育學會共同舉辦了「保育類巴氏銀魴域外保種參訪暨誇單位保育工作交流會議」，會議時間為民國 111 年 8 月 2 日，地點為彰化縣鹿港鎮海埔巷 106 號，本計畫團隊(國立成功大學水利及海洋工程學系)也於當日前往參加會議，會議中主要介紹巴氏銀魴的習性及如何將其轉移至試驗池進行安置及繁殖。會議的最後也說明巴氏銀魴的保育是需要各單位一起努力及分工合作，如經濟部水利署第三河川局負責棲地管理、臺中市野生動物保育學會負責保育研究、行政院農業委員會林務局負責保育行動等。

臺灣淡水魚種相當多(超過 150 種)，但受到人類開發及環境變遷等因素之影響，許多淡水魚種的野外族群已不多見，除了依靠保育相關人員進行種原之蒐集、保存與培育之外，棲地環境之營造也格外重要，否則即便培育之後進行野放，但若沒合適的棲地環境，族群數量依舊難以回復。本計畫團隊長期致力於研究魚類與環境之間的關係，過去研究地點包含高雄市那瑪夏區及甲仙區的旗山溪、屏東縣萬巒鄉的五溝水等，提出了許多魚類與環境之間的關係及環境偏好，也期望未來能對巴氏銀魴提出相關之建議。



附圖 1、林文隆博士介紹此次會議的主要目的



附圖 2、巴氏銀鮫之介紹



附圖 3、巴氏銀鮫安置及繁殖之介紹



附圖 4、會後大合照

附錄二、採樣位置之垂直水力梯度及上湧/下滲

附表 1 為本計畫於烏溪流域內之採樣日期、地點、點位、垂直水力梯度及上湧/下滲資料。

附表 1、採樣位置之垂直水梯度及上湧/下滲

採樣日期	採樣地點	採樣點位	VHG	上湧/下滲
2022.05.19	1	1	0.00	持平
2022.05.19	1	2	0.13	上湧
2022.05.19	1	3	0.10	上湧
2022.05.19	1	4	0.08	上湧
2022.05.19	1	5	0.24	上湧
2022.05.19	1	6	0.25	上湧
2022.05.19	1	7	0.64	上湧
2022.05.19	1	8	0.19	上湧
2022.05.19	1	9	0.20	上湧
2022.06.23	2	1	-0.71	下滲
2022.06.23	2	2	-1.02	下滲
2022.06.23	2	3	-1.29	下滲
2022.06.23	2	4	-0.84	下滲
2022.06.23	2	5	-0.37	下滲
2022.06.23	2	6	-0.07	下滲
2022.06.23	2	7	-0.55	下滲
2022.06.23	2	8	-0.15	下滲
2022.06.23	2	9	-0.30	下滲
2022.06.23	1	1	0.28	上湧
2022.06.23	1	2	-0.03	下滲
2022.06.23	1	3	-0.09	下滲
2022.06.23	1	4	-0.05	下滲
2022.06.23	1	5	-0.03	下滲
2022.09.15	3	1	-1.33	下滲
2022.09.15	3	2	-0.32	下滲
2022.09.15	3	3	-0.18	下滲
2022.09.15	3	4	-0.23	下滲
2022.09.15	3	5	-0.07	下滲
2022.09.15	1	1	0.26	上湧
2022.09.15	1	2	0.49	上湧
2022.09.15	1	3	0.27	上湧
2022.09.15	1	4	0.29	上湧
2022.09.15	1	5	0.38	上湧
2022.09.15	1	6	0.45	上湧
2022.09.15	1	7	0.00	持平

採樣日期	採樣地點	採樣點位	VHG	上湧/下滲
2022.09.15	1	8	0.04	上湧
2022.09.15	1	9	0.04	上湧
2022.10.27	4	1	0.03	上湧
2022.10.27	4	2	0.06	上湧
2022.10.27	4	3	0.13	上湧
2022.10.27	4	4	0.12	上湧
2022.10.27	4	5	0.30	上湧
2022.10.27	4	6	0.12	上湧
2022.10.27	4	7	0.12	上湧
2022.10.27	4	8	0.29	上湧
2022.10.27	4	9	0.43	上湧
2022.10.27	3	1	-0.02	下滲
2022.10.27	3	2	-0.92	下滲
2022.10.27	3	3	-0.09	下滲
2022.10.27	3	4	-0.12	下滲
2022.10.27	3	5	-0.16	下滲
2022.11.10	4	1	-0.04	下滲
2022.11.10	4	2	0.17	上湧
2022.11.10	4	3	0.05	上湧
2022.11.10	4	4	0.20	上湧
2022.11.10	4	5	0.16	上湧
2022.11.10	4	6	0.18	上湧
2022.11.10	4	7	0.22	上湧
2022.11.10	4	8	0.24	上湧
2022.11.10	4	9	0.25	上湧
2022.11.10	1	1	0.45	上湧
2022.11.10	1	2	0.21	上湧
2022.11.10	1	3	0.17	上湧
2022.11.10	1	4	0.39	上湧
2022.11.10	1	5	0.33	上湧
2022.11.10	1	6	0.12	上湧
2022.11.10	1	7	0.33	上湧
2022.11.10	1	8	0.12	上湧
2022.11.10	1	9	0.07	上湧

附錄三、2005-2021 計畫區域周遭之衛星影像



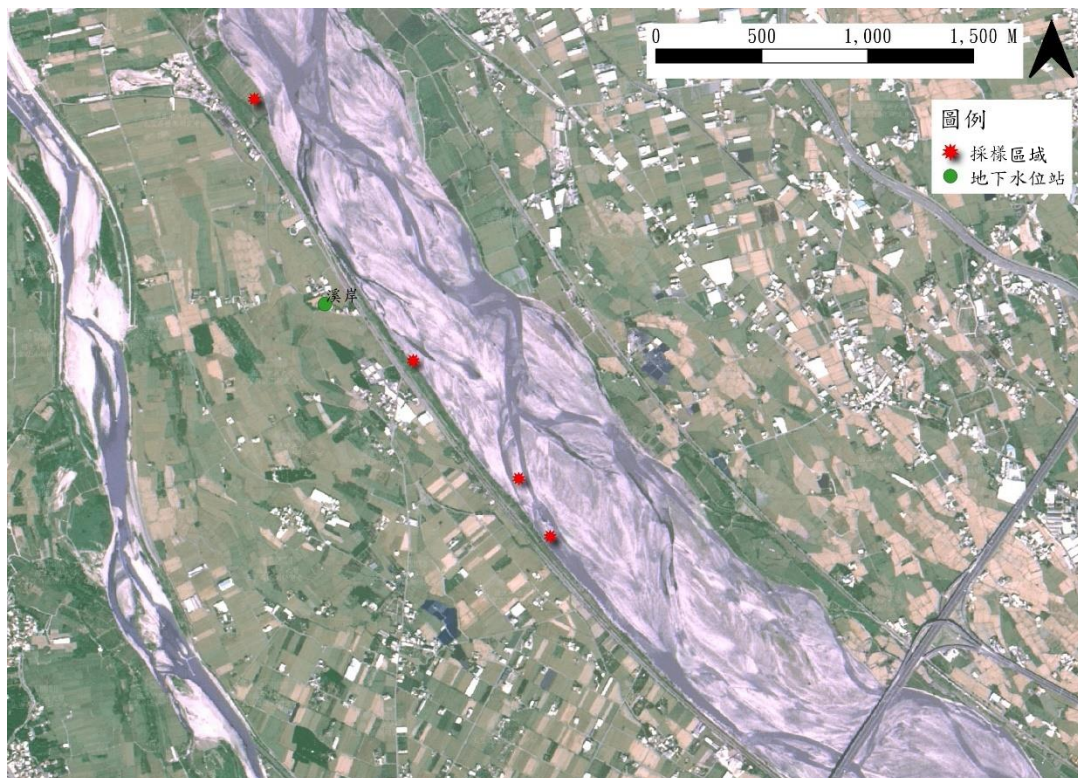
附圖 5、2005 年計畫區域周遭之衛星影像



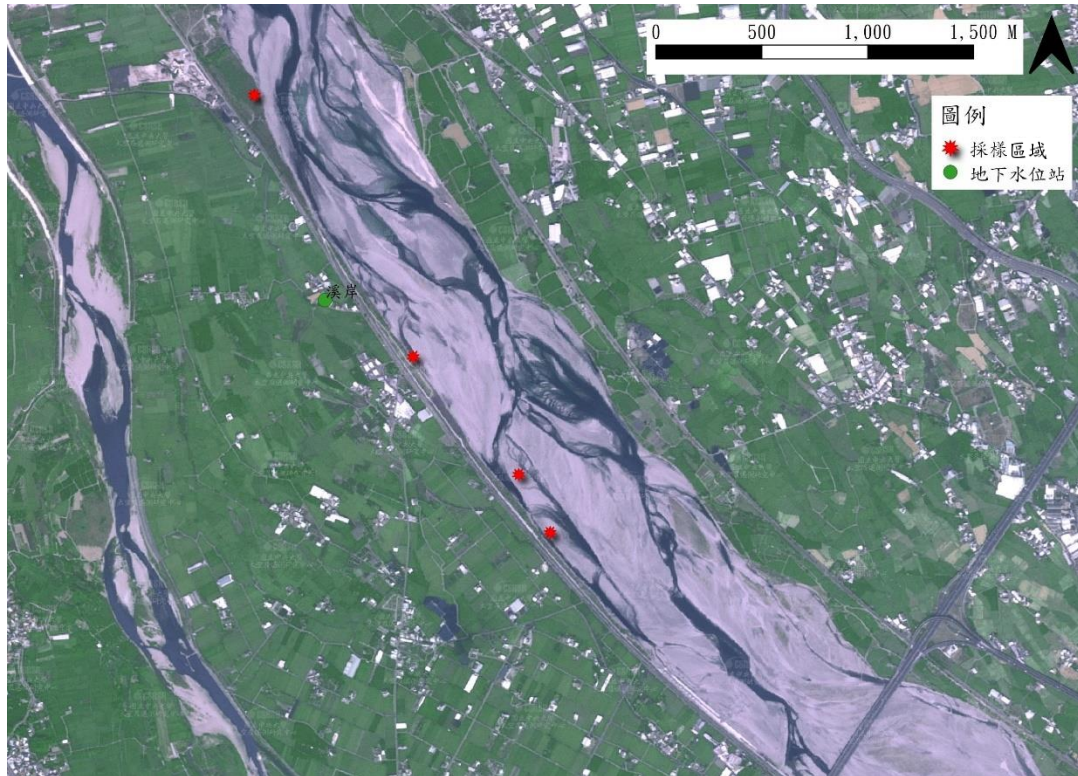
附圖 6、2006 年計畫區域周遭之衛星影像



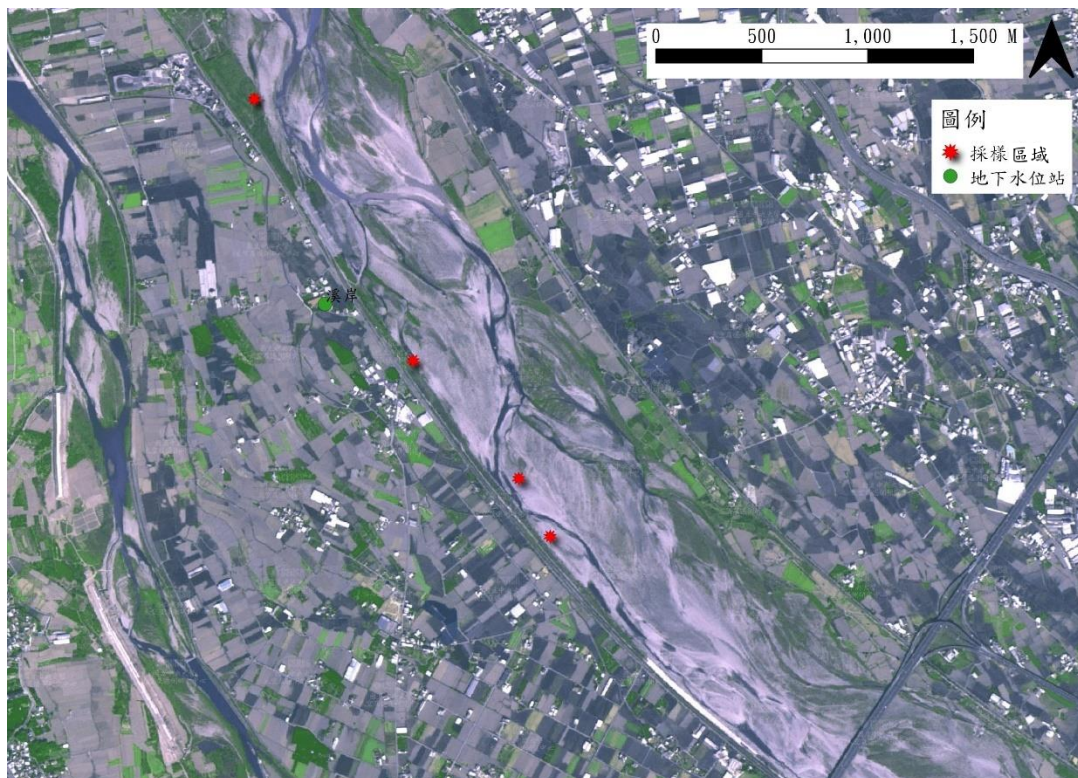
附圖 7、2007 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 8、2008 年計畫區域周遭之衛星影像



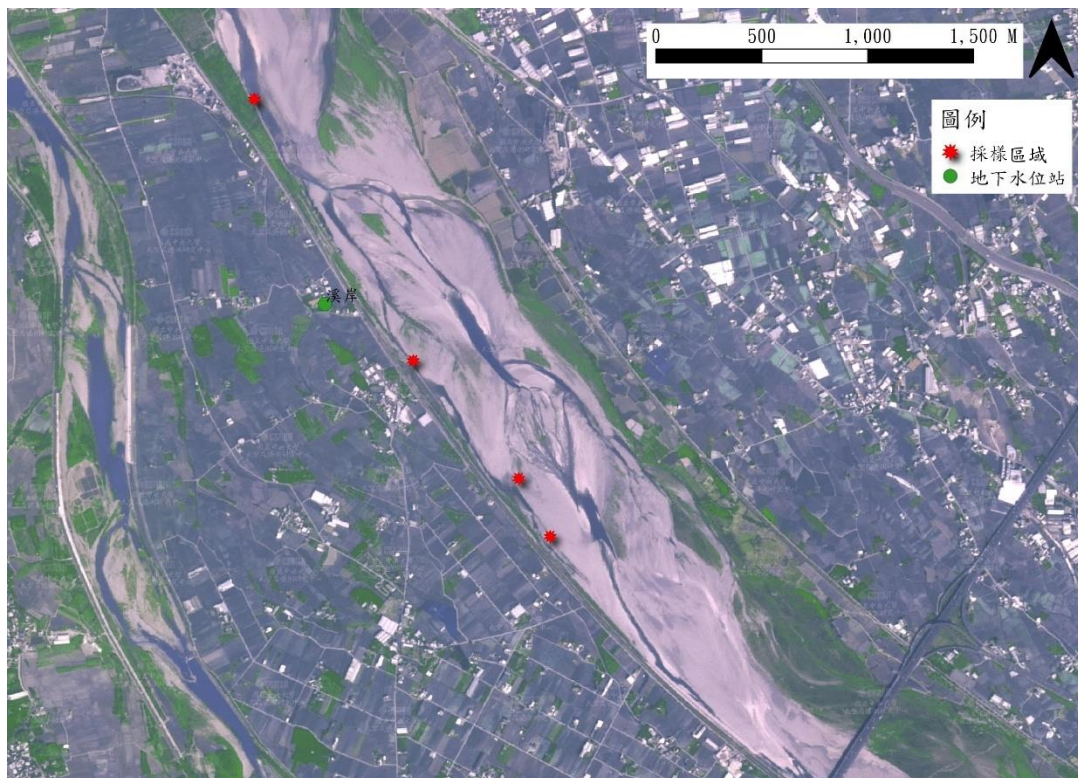
附圖 9、2009 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 10、2010 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 11、2011 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 12、2012 年計畫區域周遭之衛星影像



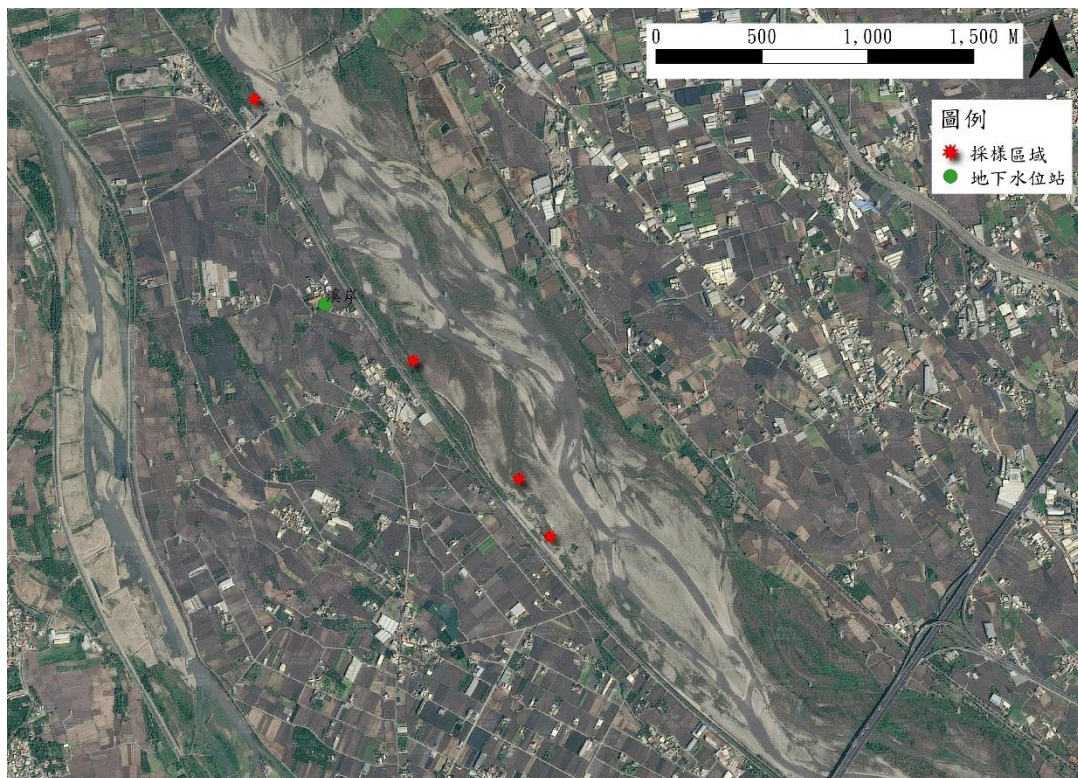
附圖 13、2013 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 14、2014 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 15、2015 年計畫區域周遭之衛星影像



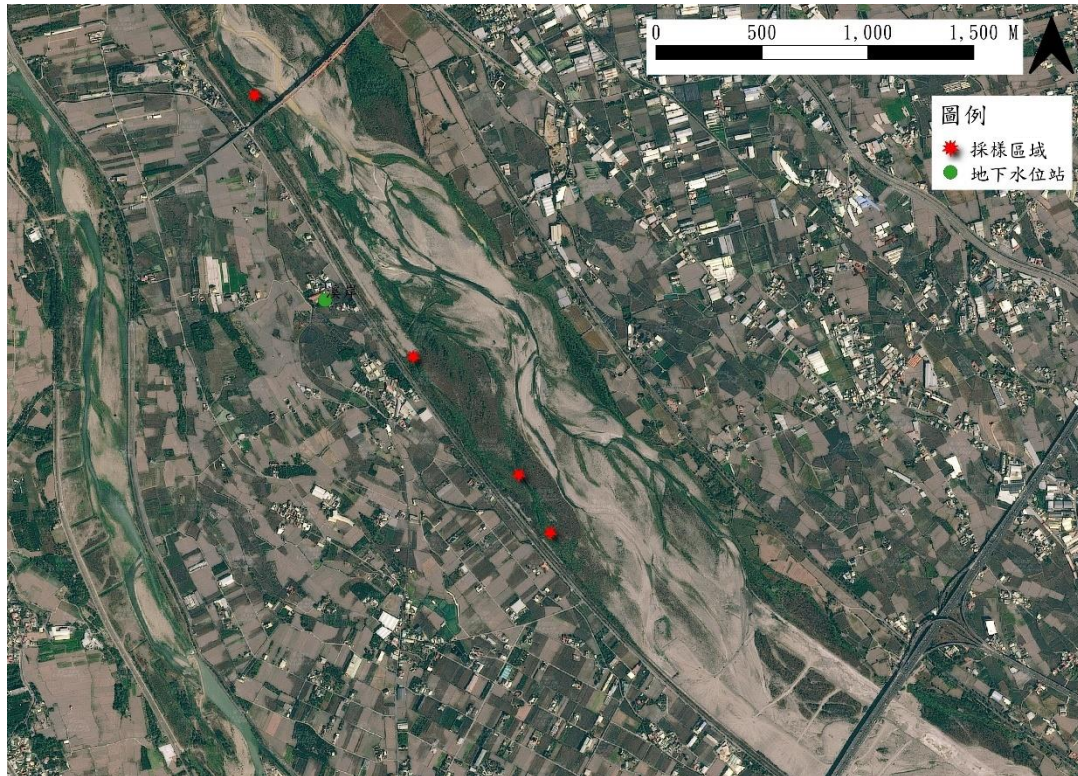
附圖 16、2016 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 17、2017 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 18、2018 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 19、2019 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 20、2020 年計畫區域周遭之衛星影像



附圖 21、2021 年計畫區域周遭之衛星影像