

氣候變遷對台灣河川生態之衝擊

(國立臺灣大學生物環境系統工程學系 童慶斌副教授、楊奕岑研究助理)

一、前言

在上個世紀末，「全球氣候變遷」這個議題還只是一個大家討論的話題，甚至有學者認為近幾十年來的氣溫上升觀測資料，只不過是地球目前處在「間冰期」的正常現象而已。但是，根據最近幾年的研究或是相關的觀測資料都顯示，對於「全球氣候變遷是不是真的存在」這個議題的爭論似乎已經逐漸變小，大多數的自然科學研究學者都或多或少的同意了人為活動的確已經對地球的氣候造成影響。因此，當不再爭論人為所造成之氣候變遷是不是真的存在之後，科學界便全力的針對氣候變遷所造成的影響進行研究。

人為氣候變遷的主要成因，就是因為自工業革命之後溫室氣體大量排放，導致溫室效應增加而使得全球的氣候跟著改變。根據 IPCC (2001) 最新的報告指出，從 1990 年到 2100 年，全球的氣溫可能會上升 1.4 到 5.8°C。全球氣候變遷所造成的衝擊，除了區域氣候的改變之外，對於區域的自然環境，例如水文與水資源、陸域與海域生態，以及人類健康與社會經濟發展都會產生影響。

台灣國寶魚櫻花鉤吻鮭自從上世紀初發現以來，數量即不斷遞減。雪壩國家公園成立之後，對於櫻花鉤吻鮭的棲地採取積極的保育策略，保護區內禁止一切人為開發，因此未來對於櫻花鉤吻鮭最大的衝擊將來自於自然界的災害。櫻花鉤吻鮭屬於冷水性的鮭鱒魚類，河川溫度將是影響其生存的重要因素。根據過去的文獻指出，其生活水域的水溫介於 9~17°C 之間，到了繁殖、孵化期間水溫更需降低至 12°C 以下 (曾晴賢，1999)。近年來的

調查報告顯示，七家灣溪地區在民國 74 年至 86 年間，其溪流平均溫度之 12°C 等值線往上游退縮約 1.56 公里 (楊正雄，1997)，嚴重影響櫻花鉤吻鮭之棲地分布，因此探討未來氣候變遷之下河川水溫之變動情形，將成為櫻花鉤吻鮭是否能夠永續生存的重要課題。

二、國外氣候變遷對於水溫衝擊之相關研究

冷水性的鮭鱒魚類，由於其「嗜冷水」的生存特性，因此在氣候變遷對於陸域生態之影響的相關研究中較受到重視。氣候變遷所導致的氣溫上升，很有可能連帶造成水溫上升的效應出現，而冷水性的鮭鱒魚類將首當其衝。國外有許多學者投入氣候變遷對水溫影響的研究，且建立模式的最初動機，也都是為了生態方面的考量。Stefan and Sinokrot (1993) 就用其所建立的水溫模式評估氣候變遷下對水溫的影響，氣候變遷預設情境的設定亦是根據大氣環流模式 (GCM) 所預測的變化量來修正歷史的氣象資料，模擬的結果顯示，其採用之四種氣候變遷預設情境水溫均有明顯上升的情形，對於生態保育而言是相當負面的消息；另外，Sinokrot and Stefan (1995) 又將氣候變遷下水溫預測的結果應用到可用棲地面積的預測，根據不同魚種所能承受的最高水溫，預測氣候變遷下可用棲地面積的改變，結果顯示氣候變遷下冷水性魚種 (鮭、鱒魚類) 其棲地面積將會向上游縮減，魚群活動的範圍將因而減少。Petersen and Kitchell (2001) 則研究 Columbia River 集水區中，在氣候變遷的影響之下幼年的太平洋鮭魚被其他魚種掠食的機

率。兩人利用模式分析在氣候變遷衝擊之下食物來源短缺的狀況中，幼年的太平洋鮭魚被捕食率有可能因此而增加。這些研究都顯示氣候變遷對於鮭鱒魚類的生存的確造成了威脅。

三、河川水溫模式

本文希望透過一物理性的水溫模式來進行櫻花鉤吻鮭棲息地河川水溫之模擬。利用數值高程模型 (DEM) 建立河川網絡，並進而計算河段上每個網格點受到兩岸地形遮蔽以及周圍植生遮蔽的情形，將河段所接受之能量輸入水溫模擬模式後，得到河川水溫 (李宗祐，2003)。計算河川網格能量平衡的物理量包含短波輻射 (I_{direct})、長波輻射 (L_d, L_T, L_u)、蒸發散 (H_E)、潛熱 (H_H)、河床傳導熱 (H_B)、河床摩擦熱 (H_{fc})...等。輻射能量平衡之概念圖，如圖 1 所示。配合相關水理參數：河寬、水深、河道坡度，以及植生參數：葉面積指數 (LAI)、輻射衰減係數 (attenuation coefficient)，模式可以透過數值方法求解每一網格、每一時間點的水溫，整個水溫模式架構如圖 2 所示。

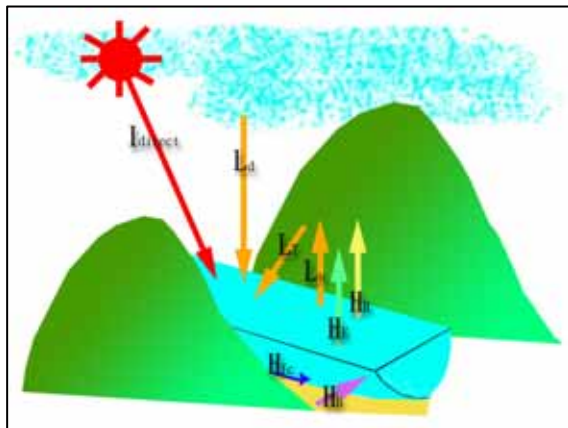


圖 1. 河川水溫輻射能量平衡概念圖

四、櫻花鉤吻鮭棲地水溫分析

本文透過一物理性水溫模式，針對櫻花鉤吻鮭生活的溪流進行水溫模擬，並分析氣候變

遷之下適合棲地的可能變化情形，瞭解氣候變遷對於櫻花鉤吻鮭可能造成的衝擊 (楊奕岑，2004)。目前櫻花鉤吻鮭僅生存於大甲溪上游「七家灣溪」以及「高山溪」流域，因此本文選擇「高山溪」作為水溫分析的研究溪流，高山溪流域範圍如圖 3 所示。

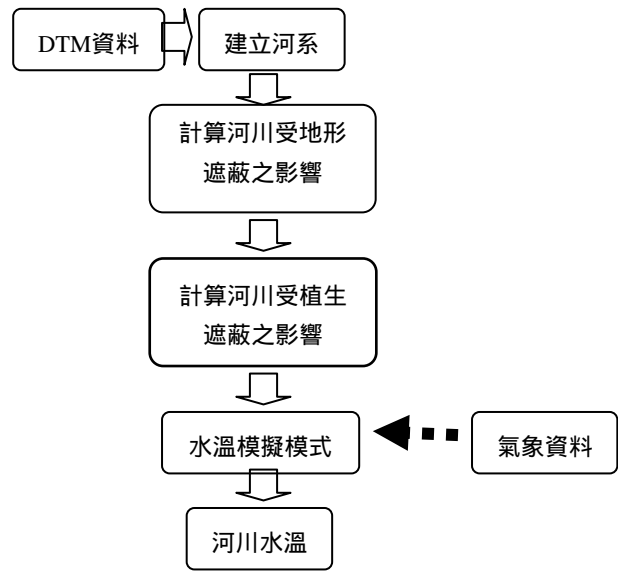


圖 2. 水溫模式架構圖 (楊奕岑，2004)

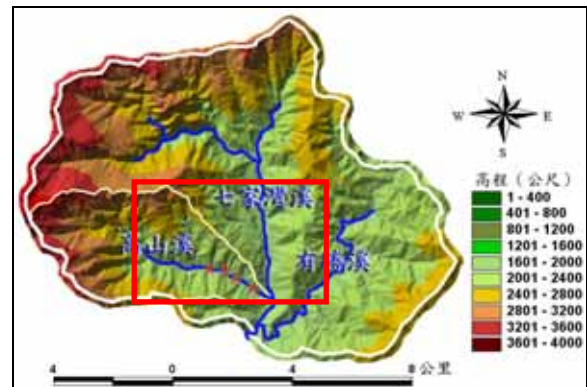


圖 3. 高山溪流域範圍圖

此一水溫模式已在先前的研究 (李宗祐，2003,楊奕岑，2004) 利用歷史資料完成校正與驗證之工作，因此本文直接利用此一模式針對不同的氣候變遷預設情境進行水溫模擬。同時定義在某一段時間中「最高水溫低於 17°C」的河段為「適當棲地」，相對而言高於

17°C 則定義為「不適當棲地」。並以一年當中最暖月：七月做為代表，評估現況以及未來氣候條件下，櫻花鉤吻鮭在高山溪「適當棲地」的變化。圖 4 為在現今氣候條件之下，七月時高山溪水溫變化的縱剖面圖。其中橫軸代表的是與集水區出口的距離，縱軸則代表高程。圖中藍色的線段代表的是「適當棲地」，也就是水溫低於 17°C 的河段。紅色的線段則代表「不適當棲地」，也就是水溫高於 17°C 的河段。此外，位於 2800 公尺處綠色的直線則代表經過現地調查之後，櫻花鉤吻鮭在此溪流分佈的天然上限。由圖中我們可以看出，在現今氣候條件之下，一年當中最暖月的「不適當棲地」之長度，大約由最下游往上游延伸到距集水區出口約 700 公尺處，此地大約是高山溪一號破壩的位置。因此就現況而言，對於櫻花鉤吻鮭來說最為嚴酷的生存棲地僅發生在七月份，且其長度只有 700 公尺。因此當下游的水溫逐漸增加時，櫻花鉤吻鮭可以溯溪而上尋找較為適合的棲地。

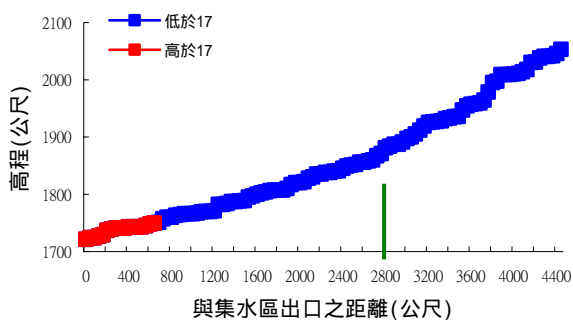


圖 4. 高山溪現況水溫變化縱剖面圖

圖 5(a) 與圖 5(b) 是兩種平衡試驗 (二倍工業革命 CO₂ 濃度) 氣候變遷預設情境 CCCM 和 GISS 預設情境所得到的七月水溫分佈圖。由圖中可以看出「不適當棲地」的長度明顯的向上游延伸，在 GISS 預設情境中，延伸到距匯流口約 1950 公尺處，而在 CCCM 預設情境中更是延伸到距匯流口 2250 公尺處，此地大約是高山溪四號破壩的位置。藉由結果

分析，我們可以推論出，儘管根據模式的模擬顯示，在距集水區出口 2800 公尺更上游的地區還有足夠的「適當棲地」可以供櫻花鉤吻鮭生存，但是由於天然上限分佈的限制，使得櫻花鉤吻鮭必須在距集水區出口 2800 公尺以下的河段生活，而氣候變遷的影響將「不適當棲地」上推到距匯流口 2250 公尺處，代表未來櫻鮭將只能在短短的約 500 公尺的河段中找尋適當的棲地。其生存的空間將嚴重的被壓縮。更甚者，若是氣候條件越趨惡劣，則「不適當棲地」甚至有可能上推超過 2800 公尺，到時候，高山溪將變成不適合櫻花鉤吻鮭生存的溪流，生活於此地的櫻花鉤吻鮭或許將會面臨滅種的危機。

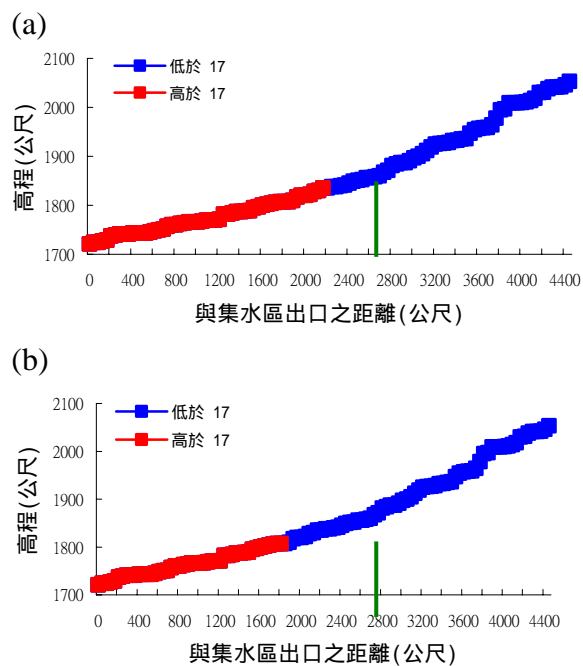


圖 5. 高山溪水溫變化縱剖面圖平衡試驗預設情境 (a) CCCM (b) GISS

圖 6 與圖 7 分別為漸變試驗氣候變遷預設情境 CGCM2 與 HADCM3 預設試驗短 (2025 年)、中 (2055 年)、長期 (2085 年) 的模擬結果。與先前平衡試驗結果相似，「不適當棲地」有增長的趨勢。同時，由漸變試驗的模擬結果我們還可以很明顯的發現，「不適當棲地」的長度，有隨著時間增加而增長的趨勢。平均來

說，短期的「不適當棲地」約長 1700 公尺，中期的「不適當棲地」則增加到 1950 公尺，長期的「不適當棲地」，則增加到 2100 公尺。此一圖形更是證明了，在高山溪地區可供櫻花鉤吻鮭生存的河段，將隨著時間的推移而越來越少。有關單位應儘速找尋大甲溪上游，或是台灣地區其他適當的河川，進行櫻花鉤吻鮭欲外放流的工作。在其他溪流建立櫻鮭的衛星族群，以降低因為環境遭到破壞而使得櫻花鉤吻鮭滅絕的風險。

除了空間上「適當棲地」的縮減之外，根據模式的模擬，在時間上每月的平均水溫與最高水溫，在氣候變遷的影響之下亦都有增溫的趨勢。在現況之下「不適當棲地」僅出現在 7 月份，但是在氣候變遷的衝擊之下，「不適當棲地」，在 6 月以及 8 月都由原本的 0 公尺，增加到 500-1000 公尺，因此對櫻花鉤吻鮭而言，其可以生存之時間與空間在氣候變遷的影響之下，均有嚴重被壓縮情形出現（楊奕岑，2004）。

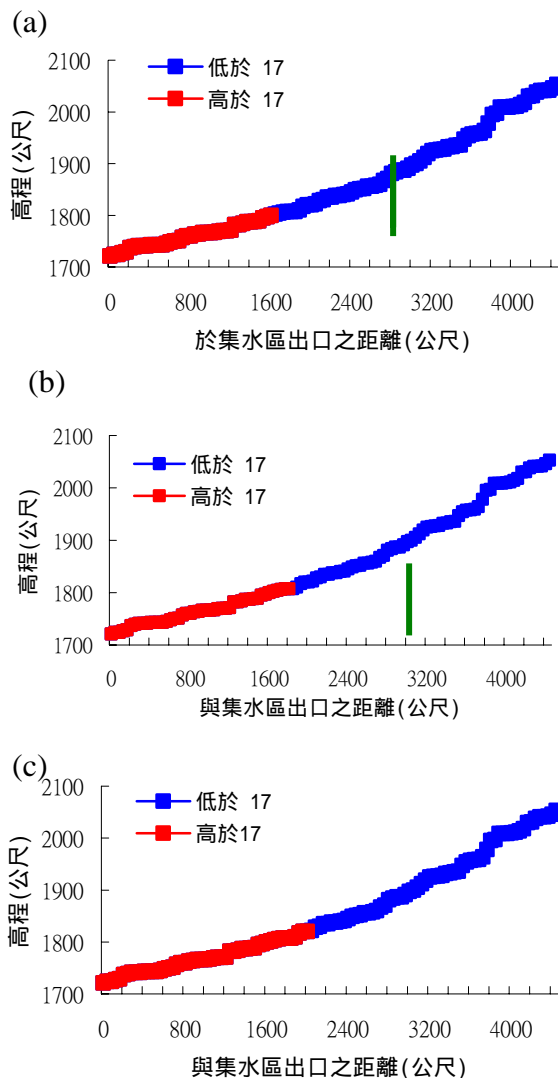


圖 6. 高山溪水溫變化縱剖面圖 CGCM2 預設情境 (a) 短期 (b) 中期 (c) 長期

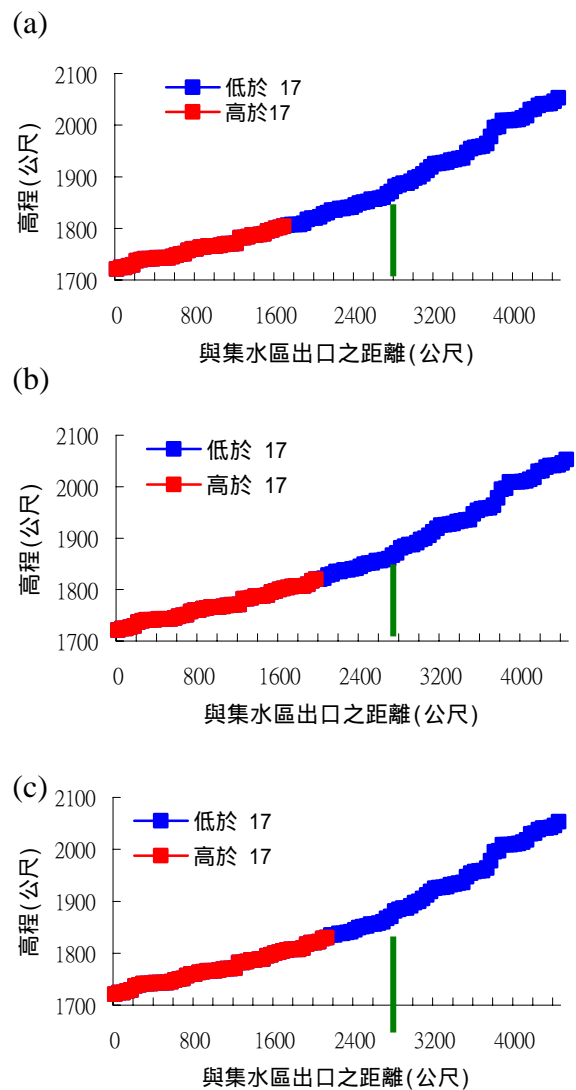


圖 7. 高山溪水溫變化縱剖面圖 HADCM3 預設情境 (a) 短期 (b) 中期 (c) 長期



五、結論

氣候變遷所導致的氣候異常對於人類社會與生態環境之影響，時至今日已經是一個不可忽視的問題。為了應映氣候變遷之衝擊國內之相關部會：環保署、水利署、國科會均投入了大量的研究經費及人力來進行相關的研究工作。希望藉由研究之結果，擬定適當的氣候變遷調適策略，用以降低未來氣候變遷所可能造成之衝擊。氣候變遷之相關研究，多半有其不確定性存在。IPCC (2001) 曾經歸納過可能的不確定性包括：1. 氣候變遷預設情境各模式結果之不確定性；2. 歷史氣候資料之不確定性；3. 評估模式之不確定性；4. 其他不確定性。在擬定調適策略時必須依據可靠的衝擊評估結果，因此如何瞭解並降低氣候變遷研究之不確定性將是未來研究相當重要的課題之一。氣候變遷相關研究的流程與結構內容，應如圖 8 之金字塔所示。

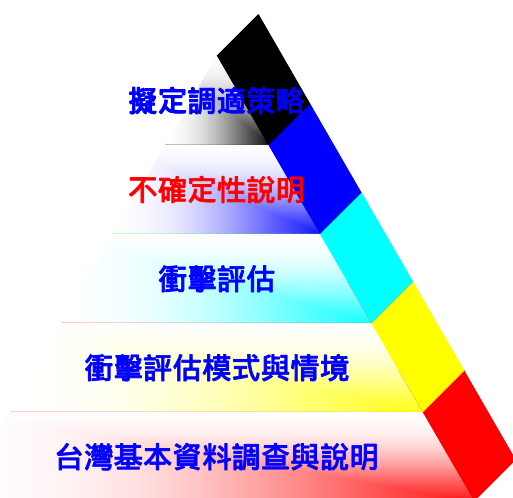


圖 8. 氣候變遷相關研究金字塔結構圖
(童慶斌等，2003)

透過一物理性的水溫模式，根據本文之分析結果，櫻花鉤吻鮭的生存棲地，在時間與空間上都將嚴重被壓縮，可能會造成櫻花鉤吻鮭的滅絕。因此應映氣候變遷之衝擊，櫻花鉤吻

鮭保育工作之調適策略可參考如下 (童慶斌等，2003)：

- (1) 增加櫻花鉤吻鮭生態與棲地的相關研究與量測，透過科學研究與紀錄了解櫻花鉤吻鮭棲地與魚群的環境因子與關係，並進一步提供後續之研究。
- (2) 發展一套完整的櫻花鉤吻鮭保護、復育機制，並加入氣候變遷衝擊影響下水溫上升以及洪水來臨時的復育與保護機制。
- (3) 拆除現有櫻花鉤吻鮭棲地上游的阻礙物，以確保氣候變遷衝擊下魚群棲地的可遷移性。
- (4) 徹底執行土地使用管制之政策保護櫻花鉤吻鮭棲地上游，以避免因洪水來臨時，增加棲地的破壞。

六、參考文獻

- 李宗祐，2003。氣候變遷對櫻花鉤吻鮭棲地水溫及族群數之影響。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 曾晴賢，1999。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查 (二)。內政部營建署雪壩國家公園管理處。
- 童慶斌，吳明進，李國添，戴昌鳳，李培芬，陳瑤湖，邱祈榮，呂學榮，李明旭，2003。氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置-氣候、水文、生態部份 (二)。行政院環境保護署專題研究計畫報告 EPA-92-FA11-03-034。
- 楊正雄，1997。水溫對櫻花鉤吻鮭族群之影響。國立清華大學生命學研究所碩士論文。
- 楊奕岑，2004。模擬氣候變遷對櫻花鉤吻鮭域外放流棲地水溫與潛在族群數之衝擊。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。



- IPCC Working Group, 2001. *Climate change, 2001-The Scientific Basis: Contribution of Working Group I, to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 881.
- Petersen, J. H. and Kitchell, J. F. 2001. Climate regimes and water temperature changes in the Columbia River: bio-energetic implications for predators of juvenile salmon, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 58(9): 1831-1841.
- Stefan, H. G. and Sinokrot, B. A., 1993. Projected global climate change impacts on water temperatures in five river central U.S. streams. *Climatic Change*, 24: 353-381.
- Sinokrot, B. A., Stefan, H. G., McCormick, J. H. and Eaton, J. G., 1995. Modeling of climate change on stream temperature and fish habitats below dams and near groundwater inputs. *Climatic Change*, 30 : 181-200.
- (本研究感謝台灣大學 生物環境系統工程學系 "永續發展研究室" 相關工作人員之參與, 並感謝行政院環保署研究經費之支持)