



水資源的適應性經營—美國水資源學會夏季研討會紀實

文、圖 ■ 廖學誠 ■ 國立台灣師範大學地理系副教授（通訊作者）

陳宛君 ■ 中國文化大學經濟系副教授

一、前言

美國水資源學會於2006年6月26 - 28日在蒙太拿州密蘇拉市舉辦夏季研討會，大會主題為「水資源的適應性經營」，約有400餘人參與，3天會期中共計44場次，180餘篇論文發表，報告內容除了包括濕地、濱水帶、棲地保育、水壩、氣候變遷、澇旱災害、地下水、優養化、生態系復育及水文模式等科學技術面向外，亦有許多社會人文面向的文章在此發表，包括民眾參與、計畫評估、集水區經營、共識建立、水權分配、環境識覺及原住民等議題，涵蓋範圍既深且廣。本文作者之文章「台灣蘭陽溪上游集水區經營管理的民眾意見分析」一文被安排於第2場次口頭報告，該場次尚有其他5篇文章發表，內容與社區參與、民眾識覺、原住民觀點及環境教育等研究有關，經與與會學者討論並交換意見後，讓我們對適應性經營有更進一步的認識與瞭解，獲益良多。

此次研討會除了眾多內容豐富的研究論文發表之外，開幕當天的專題演講特別邀請美國前林務署署長Jack W. Thomas博士主講，題目為自然資源的適應性經營。Thomas

博士於1966年進入林務署服務，1993年被任命為林務署署長，積極推動森林生態系經營，1997年退休後旋即應聘至蒙太拿大學林業及保育學院任教，現為該校榮譽教授。由於Thomas博士兼具實務經驗與理論基礎，因此該次專題演講深受與會學者讚賞。此外，為了慶祝美國探險家路易士及克拉克跨越落磯山脈開拓大西洋及太平洋驛道200週年，美國水資源學會特別安排野外實察活動，讓與會學者沿著羅羅溪（Lolo Creek）迤邐而行，想像200年前的華路藍縷，並親身體會200年後的景觀變遷。此次研討會相當精彩充實，本文將重點扼要介紹，期能提供國內自然資源經營管理者參考。

二、適應性經營

何謂適應性經營？誠如大會主席Sehlke博士（2006）所說：「適應性經營是一名詞，我們都非常的熟悉，但它的意義我們似乎仍無一致的共識，許多專家非常喜愛適應性經營這個概念，認為它將有助於我們解決資源的經營管理問題，但是也有許多專家非常討厭這個概念或詞彙，他們認為適應性經

營只是不斷地在增加計畫成本而已。但不論如何，適應性經營都將成為未來的潮流。」也就是因為適應性經營的爭議不斷，美國水資源學會特地舉辦此次研討會，讓大家來充分討論。

大會特別安排美國前林務署署長Thomas博士現身說法，他指出（2006），美國國有土地自然資源的經營管理必須考慮為誰服務、為何而作，因此隨著時代變遷其經營目標亦應不斷調整，不過由於管理機關眾多、彼此任務不同，如環保署、魚類及野生生物署、國家海洋漁業局等，復因法規條文多樣、內容競合殊異，如瀕臨滅絕物種法、淨水法、環法等，而法院的判例亦不斷推陳出新，以致於自然資源的經營管理充滿了不確定性與複雜性。Thomas舉例說明，美國林務署曾遵照1960年通過的「多元利用永續生產法」之要求，在1970年代開始著手規劃轄區內154個國家森林經營方案，但時至今日回頭檢視，沒有一個方案能完全依照當初的規劃而徹底執行，原因之一是受到國會通過的預算多寡以及工作項目限制所影響，而國會預算的決定則是反映出社會大眾的需求。有鑑於此，適應性經營就益加重要，任何的經營方案均應審時度勢、適時調整。

Thomas進一步指出（2006），適應性經營是人類因應新環境的方法之一，經由不斷地學習與體驗，讓下一次的經營計畫能獲得更佳結果。適應性經營的基本原則是計畫執行→監測→調整→再執行，但不幸的是監測這部份常被忽視，以致於有意義的學習及



▲照片1 羅羅溪下游洪氾平原區。

調整策略無法達成。此外，影響計畫成效的不只是計畫本身而已，尚有其他眾多因素綜合所致，包括人力及設備資源、科學知識、政治、法院判例、新設法規、民眾接受度、天然事件（火災、澇旱、全球暖化）、經濟景氣及文化變遷等。以往自然資源管理者大都具備科學基礎背景，在其專業領域上亦有相當造詣，但是近年來整合不同學門知識對資源管理而言已是越來越重要，所以具備整合能力、高素質的人力資源對適應性經營的落實至為關鍵。整體而言，Thomas對適應性經營是褒獎多於貶抑、肯定大於批判。

三、羅羅溪集水區土地利用變遷

羅羅溪集水區位於愛達荷州與蒙太拿州交界處，面積約710平方公里，主流長56公里，屬於落磯山脈區域，最高處為羅羅峰（2,766公尺），集水區中上游為典型的V型谷，地勢陡峭，下游則為寬廣的洪氾平原，河流交錯（照片1）。在歐洲白人尚未進入此區之前，羅羅溪境內森林遍佈，濱水帶



▲照片2 盛夏時的羅羅溪山坡景緻。

植生以樺木、柳樹為主，山坡地則以松樹及杉木為大宗（照片2）。由於該區地處北緯，南向坡較北向坡日照強烈，土壤水份較少，此植生以向陽性的松樹最為優勢。地形西高東低，因此溪流沿著山谷向東匯合，水中魚類以鱒魚及高山白魚最多，林內麋鹿及山羊成群，至於棕熊、野狼及山貓亦為數不少。

大約在12,000年前，此區偶而有印地安人在此狩獵採集，但並未定居，直到5,500年前，才真正有印地安人在羅羅溪集水區內定居生活，尤以莎利胥族印地安人為最多，聚落散佈其中。1805年9月9日，著名的路易士及克拉克探險隊抵達羅羅溪下游入口處，掀起了白人與該區印地安人爭戰的序幕，也埋下了集水區內土地利用劇變的引信。探險隊在下游入口處紮營休息兩天之後，即刻沿著羅羅溪北岸向西前進，沿途的自然景觀及人文風貌克拉克均詳細記載於其旅行日記中，9月22日探險隊終於抵達分水嶺，也就是現今愛達荷州與蒙太拿州交界處的羅羅隘口（照片3），跨越隘口後探險隊就沿著哥倫比亞



▲照片3 羅羅隘口服務中心。

河繼續向西前進，該年冬天探險隊終於到達太平洋岸，完成跨越落磯山脈壯舉。隔年（1806年）春天探險隊開始折返，6月中探險隊嘗試跨越羅羅隘口，但是因為積雪太厚，以致探險隊無功而返，6月24日探險隊再次攻頂，終於越嶺成功，順利進入羅羅溪集水區，6月29日抵達羅羅溫泉，6月30日則再度回到羅羅溪下游入口處，休息數日後，7月3日才離開，並將探險隊兵分二路，路易士帶領9名士兵及17匹馬隻向北而行，克拉克則帶領其餘人馬向南探險。由於當時醫藥並未發達，疾病盛行，為了治療腹瀉常在藥品中加入少許水銀，近年來蒙太拿州進行探險隊的歷史考據，即是透過土壤中水銀含量的濃度分析，來偵測200年前探險隊的真正駐紮地點，並將此劃設為「旅行者休息州立公園」以資紀念（照片4）。

在探險隊完成拓荒之後，許多毛皮買賣商陸續到達羅羅溪集水區與印地安人進行交易，1831年毛皮商約翰沃克曾在其日記中詳細記錄羅羅溪的風土人情，並稱此溪為羅羅



▲照片4 旅行者休息州立公園。

溪。1855年當時的西北華盛頓領區政府與印地安人簽訂協議書，承認羅羅溪集水區為莎利胥族印地安人所有，不過在1860年代後，由於挖礦及放牧活動日益頻繁，許多白人不斷地湧入羅羅溪集水區中，1866年馬修亞當斯是第一位正式在此登記居住的白人，從事挖礦及放牧工作。1874年美國國會正式通過開放羅羅溪集水區，此時已有許多白人在此定居了，由於在淘金熱潮的推波助瀾之下，大量白人湧入羅羅溪集水區，造成與印地安人的磨擦日益加劇。1877年春夏間，終於爆發了種族衝突，白人與印地安人正式開戰，在荷瓦將軍帶領下，許多印地安人被屠殺，並被迫放棄他們的家園，7月29日清晨大約只剩200名印地安人男生及500名女生及幼兒，以及2,000匹馬隻，在荷瓦將軍押運之下，終於跨越過分水嶺，無奈地離開了他們的祖居地－羅羅溪集水區，被迫移入保留區內，這是他們對祖居地的最後一瞥，從此再也回不來了！

種族衝突後，1880年代起，羅羅溪集水



▲照片5 12號公路緊鄰羅羅溪。

區已完全被白人掌控，下游集水區除了放牧及挖礦外，農業生產及伐木業逐漸成為主流，許多灌溉水圳被闢建，種植小麥、牧草及水果，森林也不斷地被砍伐，木板及原木源源不絕地被賣出，1905 - 1920年間該區蘋果的生產量達到最高峰。1912年美國公路局開始沿著羅羅溪北岸，陸續地由下游往上游將馬車驛道擴建為現代公路，1928年終於跨過羅羅隘口全線通車，並命名為蒙太拿州12號公路，而羅羅溪集水區的開發也進入了另一階段。早期12號公路是順應河道而行，蜿蜒崎嶇，但在1920 - 1950年間公路局大量興建橋樑，並將道路截彎取直及拓寬，羅羅溪河川地貌受到劇烈改變（照片5）。由於交通便利所及，羅羅溪上游集水區開始進行大規模的森林砍伐，林道密佈，1980年代時伐木業最為興盛（照片6）。

目前羅羅溪集水區內68%的土地為林務署所有，30%為私人梅溪木材公司所有，若以土地所有權來劃分，則羅羅溪集水區土地呈西洋棋網格狀，相當特殊，此與美國鐵路



▲照片6 羅羅溪集水區森林皆伐跡地。

開發密切相關。1860年代，美國為了鼓勵私人鐵路公司積極向西建設鐵路，國會特別通過一項獎勵辦法，提供公有土地給鐵路公司作為籌募資金之用，這些公有土地就在鐵道兩側，並劃分為西洋棋網格式，鐵路公司可任選預建鐵道旁的網格公有地，但必須為對角相鄰、不能兩兩相鄰。1909年，聯合太平洋鐵路公司計畫興建鐵路經過羅羅溪集水區以跨越落磯山脈，於是政府根據獎勵辦法，將集水區內的公有林地劃分成網格式，提供鐵路公司籌措財源，聯合太平洋鐵路公司因此獲得集水區內部份林地所有權，後來鐵路並未在此區內興建，而是在更北方處，不過聯合太平洋鐵路公司仍選此處土地作為交換，經過多年的整併及轉售，最後這些土地變為梅溪木材公司所有以迄於今。

由於羅羅溪集水區緊鄰密蘇拉市，在都會區人口日益擴張壓力之下，已有許多住宅區進入羅羅溪集水區中，1990 - 2000年間區內人口成長率為26%，2000年迄今每年成

長率為2.3%，預估到2020年時，區內人口將近1萬人。

四、羅羅溪集水區面臨的挑戰

羅羅溪在旱季時流量約250 cfs（立方英尺 / 秒），雨季時則為1,200 - 1,600 cfs間，50年頻率的洪峰流量為2,900 cfs，100年頻率的洪峰流量則為3,300 cfs，基本上羅羅溪的水量還算充沛，不過對下游區域而言，近年來溪流水流量則日益減少，主要原因是許多河水在中上游區域即被攔截，提供農業灌溉之用，造成下游水量不足，有時在旱季時完全乾枯、河床裸露。雖然下游的沖積平原入滲率高，許多地表水轉為地下伏流水是造成河水減少的原因之一，但水權問題才是真正關鍵所在。水權問題一直是爭議焦點，由於羅羅溪集水區的開發是先由下游開始，再逐漸往上游區域推移，上游民眾若攔截過多河水，則下游居民將無足夠水量可供運用，上下游間的水權爭議已有相當時日，直至近年州政府經由表決，通過地表水水權分配方案，規定下游的早期移民擁有使用河水的優先權，上游的晚期移民則不能過度使用河水，此水權爭議才暫告平息。依據蒙太拿州法律規定，水權可以出租、贈與及買賣，透過交易制度，民眾可各取所需。

為了維持河水的最低流量，以利河中生物生存，部分水權擁有者會自願減少用水量，但不是所有水權擁有者都願意配合，所以下游河川缺水、甚至乾涸的風險仍舊存



▲照片7 林道路面已有明顯的沖蝕溝。



▲照片8 公路旁堆置砌石保護邊坡。

在。由於早期技術不足，許多灌溉系統漏水嚴重，長距離的輸送更加造成水資源的浪費，因此高效率的灌溉系統有助於水源保護。

除了水量問題外水質亦是重點。基本上，羅羅溪上游集水區水質尚稱良好，4月到9月生長季節期間，河水中氮的含量均低於標準值，並無藻華現象。透過氮磷比得知，在羅羅溪中氮是藻類生長的限制因素，雖然集水區內有許多農業活動，但並無優養化問題（Sullivan, 2003）。不過值得注意的是，下游集水區住宅開發日益增加，民生廢水及庭院施肥將增高水中氮的含量，雖然蒙太拿州



▲照片9 公路旁沉澱池可攔截泥沙。

法律上規定，所有的污水道及相關設施均需在100年頻率的洪氾平原之外，但對土壤入滲率高、多孔質特性的下游區域而言，這些潛在的污染源仍是羅羅溪未來發展的一大隱憂。相對於上游集水區，下游的羅羅溪藻類已明顯增加許多，過多的藻類會改變魚類及昆蟲的族群分佈，也會影響到河川的美感。

此外泥沙也會污染水質，上游集水區的伐木作業及林道闢建造成大量土壤沖蝕（照片7），而12號公路的拓建造成大量的邊坡裸露，雖有砌石或植生的保護措施（照片8），但還是有眾多的泥沙流入河川中，尤其是冬季時，為了防止路面結冰造成交通事故，每年有上百噸的細沙、碎礫、岩鹽及鎂氮化合物防凍劑鋪撒於路面之上，當汽車碾過或冰雪融化後，這些物質常沿著路面流入溪中，雖然公路旁設有許多沉澱池（照片9），將泥沙攔截儲存後再清運除掉，但對於漫長的12號公路，這些沉澱池真是杯水車薪。

泥沙會影響到水中生物，岩石縫隙被泥沙填滿後，許多昆蟲及幼魚將無處可藏，並



▲照片10 羅羅溪的曲流已所剩無幾。

影響到溪流生態的食物供應。泥沙常造成溪流窄化或變淺，深潭被泥沙埋沒後破壞了魚類的孵育場所，泥沙更改變了溪水的流速及流向，深刻地影響到水中生物的棲息環境。

隨著土地利用變遷，羅羅溪的河川形態如河寬、河深、坡度、曲流及洪氾平原等已被嚴重干擾，連帶地河川的穩定度也被破壞無遺。為了避免溪岸邊坡侵蝕，羅羅溪沿岸設有許多巨礫消能塊或堤防，而截彎取直雖有助於公路的運輸便利，但羅羅溪的長度減少，坡度及流速增加，反而又加劇溪岸邊坡的侵蝕，需要更多堅固的巨礫消能塊或堤防。另一方面，公路的闢建讓許多曲流及洪氾平原消失不見（照片10），曲流及洪氾平原可以暫時儲存過多的洪水，降低洪峰流量，當它們被去除後，下游的洪災風險亦相對提高，而對地下水的涵養及補助亦甚為不利。

此外由於伐木作業及放牧經營，羅羅溪濱水帶的植群也被大量砍伐，部份段落甚至是光禿一片。濱水帶植群可以減緩流速、降低邊坡侵蝕、提供魚類及其他生物的棲身環



▲照片11 鱒魚是重要的遊憩資源。

境、過濾營養鹽、淨化水質及降低水溫，生態功能甚為重要顯著。由於濱水帶的植群被大量伐除，以致於羅羅溪中水溫增高，尤其甚者，溪流中的枯枝殘材減少許多，鱒魚數量急遽降低，對溪流生態系造成衝擊。

由於羅羅溪集水區的環境品質日益惡化，不僅影響到當地居民的生活起居，更影響到當地的觀光遊憩收益，尤其是對釣魚的相關產業而言影響最鉅（照片11），有鑑於此，2003年2月當地居民成立羅羅溪集水區聯盟，積極介入溪流保育工作。為了發掘問題所在，透過州政府及民間團體蒙太拿鱒魚協會的協助，羅羅溪集水區聯盟經由一系列的開會討論後，列出集水區四大重要議題（Zelazny, 2004）：（1）魚類復育：包括水源利用、河岸侵蝕、水質污染、溪中枯枝殘材、曲流復原、12號公路效應及灌溉水圳取水口改善等；（2）遊憩管理：包括狩獵、垂釣、野餐、露營、爬山、健行、游泳等管理，禁止破壞私人財產，加強環境整潔維護；（3）外來有害野草管理：野草分佈及控



▲照片12 森林火災造成林木損毀。

制；（4）其它：包括了區域規劃、都市擴張、老齡林經營、森林輪伐及野火管理等（照片12）。

基於上述羅羅溪集水區所面臨的挑戰，在魚類復育部分，聯盟提出以下幾點具體建議（Zelazny, 2004）：（1）復育原本的曲流，增加河流長度、減少河流坡度、擴張水域面積、促進濱水帶植群生長；（2）禁止濱水帶及溪岸旁的住宅建設，必須透過教育宣導及相關法令來作規範；（3）加強魚類棲地營造，在溪流中放置石頭或枯枝殘材，以營造出適宜魚類的棲息環境；（4）增加溪流流量，灌溉系統的用水效率必須提高，減少水資源的浪費，政府協助水權的轉移或出租，以利豐沛溪中水量；（5）加強溪岸邊坡穩定，透過植生復育技術，以生物工法穩定邊坡，禁止放牧牛羊緊鄰溪岸，以避免破壞植群；（6）改善灌溉水圳取水口設施，減少魚類受到傷害。這些具體建議在州政府及鱒魚協會資助之下已陸續動工，而梅溪木材公司

也積極參與其中。羅羅溪集水區聯盟先從主流的復育著手，2005年時更針對20條羅羅溪支流進行評估規劃，希望能全面性地達成集水區復育工作（Zelazny, 2006）。

五、結語

經過200年的歷史變遷，原先滿山遍野的翠綠森林已被農田牧場所取代，而路易士與克拉克所開拓出來的崎嶇驛道也已轉為平坦公路，羅羅溪集水區的自然景觀已迥然不同，而人文景觀更是一去不復返，印地安人不見了，傳統帳篷變為現代洋房，曠野中的奔放馳騁已轉為公路上的車水馬龍，這一切都來得太急、也去得太快。就時間的縱深來看，短期而言，由於近年來羅羅溪集水區的環境變化甚為快速，而社經需求也與日不同，為了因應這快速的變化與不同的需求，適應性經營是有其必要性與迫切性；但就長期而言，儘管時空劇烈轉變，羅羅溪水仍是日以繼夜地向東奔流，流向漫漫的歷史長河，羅羅溪水並沒有改變滋潤大地萬物的初衷與使命，而改變的是人類對溪水的尊重與敬畏，此一癥結才是關鍵，若對自然的尊重與敬畏蕩然無存，那麼再多的經營管理或整治方案終將成為曇花一現，並為下次的經營管理或整治方案留下契機與伏筆，如此一直打轉、循環不已。🌱

參考文獻（請逕洽作者）