



水利防災中水生系統面臨的挑戰

施上粟／國立臺灣大學土木工程學系 助理教授

水利防災對時空間水文條件極度不均的台灣而言，一直都是重要防災課題及艱鉅的挑戰，面對氣候變遷可能加深危害度、擴大暴露度而增加水利防災風險，如何強化整體水環境體質變的刻不容緩。本文透過重點文獻回顧及部分實際案例數據，嘗試論述水利防災中水生系統可能面臨的挑戰，並由流域治理、分區管理、生態防減災的角度，嘗試描繪未來因應對策。本文也點出台灣在這方面，尚有理論知識不足、制度不健全、資料不齊全的諸多問題需要盡快克服，才有機會趕上國際防災趨勢，建構台灣為宜居而具備永續發展條件的生態文明社會。

前言

台灣豐枯期的降雨差異大，主要降雨受豐水期颱風影響，其他時間則為枯水期，河川中通常會有比較少的流量，大部分是豐水期時蓄積於上游集水區表土下的地下水所流出，常可見河床露出水面。由於台灣的河流短、地勢陡，降雨大都直接奔流入海，故需要許多的水庫及攔河堰將水攔住，以保住可加以運用的水資源。因應社會發展的需求，工商業發展皆需要大量水資源，加上豐枯期降水差異持續擴大，使水資源調配更形困難，此趨勢有可能進一步壓縮生態系統所需的環境基礎流量。本文主要探討水庫等重要水利設施，其在水資源及防災功能維護及強化過程中，對水生系統可能產生的衝擊，並以水生系統服務的角度討論其可能提供的相關防減災機會及挑戰。

流域治理及分區管理概念

流域治理並非新鮮名詞，已有許多報告或論文論述全流域治理的好處，包括符合河川連動理論（river continuum concept; Vannote *et al.*, 1980）、洪水脈衝理論（flood pulse concept; Junk *et al.*, 1989），河川連動系統越健康越有助於整體水圈永續支持人類社會需求及成長，近代與河川復育高度相關的河川廊道（river corridor）理論建構及實踐應用，基本上也是受到這

兩個理論的啟發。雖然許多不同學科領域的科學數據都支持或證明流域思維的重要性，以避免頭痛醫頭、腳痛醫腳的窘況，但實際以全流域概念進行治理、管理者並不多見，這與技術層面及非技術層面的問題都有關，技術層面包括科學知識、工程技術、管理知識及技術的完備與否，非技術層面包括各級政府權責關係複雜、法規疊沓、制度不完善、民意代表或環保團體主張等。顏清連（2015）認為維持林地、農地、水庫、湖泊及海岸地區等河系連續性，對於營造地球環境的永續性至為重要，水的過度利用對生態環境已造成不可忽視的衝擊，未來應強化推動永續水資源及循環型社會概念，由水利設施功能維護與強化、跨流域水圈管理、親水文化重建等切入，在技術、制度及法規層面建立相關的配套措施，實務管理上可再將土地利用分區，包括：都會產業區、農林生產區、生態保護區等。由此可知，流域治理及分區管理概念隱含對「水系統」及「生態系統」的永續發展（sustainable development）的期待。一般公認近代永續發展逐步落實主要來自 Brundtland Report（1987）提出的「Our Common Future」的要求，其中第二章「Towards Sustainable Development」可作為最佳註腳：「Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs」。

若以水庫做為流域縱向區隔的對象，水庫上游一般土地型態為森林地或農業用地為主，森林地範圍一般被劃設為集水區保護區，或依據文化資產保存法劃設為自然保留區、依野生動物保育法劃設為野生動物保護區等，保護留區人為活動少、干擾低，農業用地則相對有較多的干擾，包括農藥、肥料的使用，這些有害物質或有機質會隨著降雨沖洩進入水庫，而降低水庫原水水質條件。國內學者曾針對武陵農場周遭七家灣溪及其支流高山溪集水區進行農業行為對生態系統影響的研究，該區域為台灣特有亞種且瀕危的台灣櫻花鉤吻鮭（*Oncorhynchus masou formosanus*）重要棲息地，但農業活動頻繁已造成該魚種族群數量及棲地品質受到影響（Yu and Lin, 2009; Hsu *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2012）。至於水庫本身對水生生態系統的影響相當顯著，包括：改變自然的水文循環、改變渠道及洪水平原的生物及物理特性，並切割原本連續的河道，導致生態廊道中斷（Yeager, 1995），可能因而造成需要進行生殖洄游的魚類滅絕。一般而言，水庫、攔河堰等橫向構造物運作後，將攔住顆粒較大、含氧效果也較佳的砂石，使得其下游的河水含氧量降低，氧氣具有淨水功能，含氧量降低恐將使得水質變差，進一步威脅魚群的生存，而上游變細的底床質將降低攀爬型的魚類利用的機會，因為這些魚類需要刮食大岩石上的青苔做為食物來源。這些河相及底質的改變，也會導致有機質無法往下游傳遞，因而降低原有的棲地品質（Poff *et al.*, 1997）。考量到河川復育的需要，美國已有超過 100 座的小型壩被成功拆除（American Rivers, 1999），更多的水壩正被考慮移除中（Wood, 1999），大部分的拆除案例顯示魚類洄游情形增加，河川變得更加自然。由此可知，水庫等橫向構造物在建造及運作之初，就已開始對生態系統產生衝擊，若水庫本身沒有魚道、環境基流量等生態補償措施（若無法迴避，且不考慮縮小、減輕規模的情況下），則對水生生態而言，其影響是長遠而深入的，有時甚至會造成某些水生物族群的完全滅絕，如早期在大漢溪及新店溪中悠游的台灣原生種洄游型香魚再不復見。

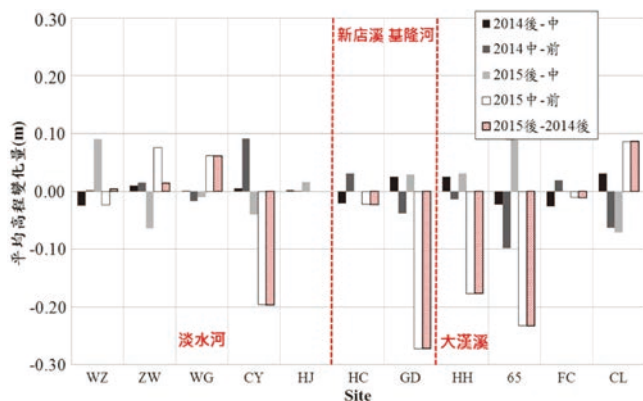
水庫排洪減淤對河川濕地生態衝擊

水庫運作數年後庫容會逐步降低，某些集水區產砂量大，庫容降低速度就更快，水庫庫容保全及集水區保育成為近年水利單位的主要關注重點。以石門水庫為例，近年來石門水庫面臨洪水挾帶大量泥砂進入

庫區，淤積嚴重，供水能力降低，如 2004 年艾利颱風造成庫容大幅下降，原水濁度也一直居高不下，影響民生甚鉅，水利署因而啟動了後續的搶救供水計畫，並促成 2006 年立法院通過「石門水庫及其集水區整治特別條例」。未來加上氣候變遷的不確定因素，可以預見豐枯降雨及洪流條件可能更佳極端化，有鑒於此，水利署近年已開始著手進行多項防淤工程，包括永久河道放水道改善工程、電廠防淤工程、後池放淤評估以及石門水庫防淤隧道規劃等。而南部的曾文溪及曾文水庫也有類似的情況，顏清連（2014）提及 2009 年莫拉克風災後，大量崩塌造成集水區產砂大幅增加，整體受災範圍從中部濁水河流域往南至高屏河流域再向東到知本河流域，興建水庫通砂設施以保全水庫庫容變得更加刻不容緩。

筆者曾於 2014 至 2015 年間協助水利署北區水資源局評估石門水庫排洪減淤操作對下游水生生態的影響程度，整體而言，對水域動物的影響多為短期效應，對於植生、地形地貌及棲地品質的影響則屬於長期效應（林幸助、施上粟，2015）。其中，淡水河魚類組成與數量會受到水庫洩洪的影響，但排砂對魚類組成影響不大；底棲無脊椎動物和文蛤數量較不受排洪影響，但會受到當次排砂量的影響；底棲與浮游藻類生物量會同時受到排洪與排砂影響而減少。另外，汛期時大量汗水輸入及水溫上升，導致水域優養化、藻類生物量增加，間接使得生產力上升；伴隨水流量增加，異生性陸源物質輸入增加、濁度升高，是呼吸率上升的主要原因，汛期中的颱風擾動及排洪操作，可助於降低或排除這些作用，提升淡水河生態功能，但若降雨量過大而導致水流量過大，再加上石門水庫的排砂操作，會減少藻類的生物量而降低系統碳代謝量，影響淡水河的生態功能；溶氧、氨氮為最重要的水質因子，當下游河道溶氧濃度低於 3 mg L^{-1} 、氨氮濃度高於 4 mg L^{-1} 時，生態功能將明顯受損。河道懸浮泥砂濃度全洪程監測結果表明，淡水河台北橋在 2015 年蘇迪勒颱風期間，監測到的最高泥砂濃度可達 $10,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上，這些泥砂中值粒徑約 $10 \mu\text{m}$ ，一般被歸類為沖洗載（wash load），因其不參與造床運動而常被忽略，但在對生態功能影響上卻扮演相當重要的角色，這是因為這些泥砂處於長期懸浮狀態，在下游河段受潮水推移往返不易出海，常造成河口潮間帶超過一個禮拜的混濁水體狀況（林幸助、施上粟，2015）；至於對下游潮間帶的濕地，兩年度的數據呈現濕地淤積

及底質細化的現象，推論長期將改變濕地條件，甚或有加速陸化的機會，而弱化濕地生態功能（圖 1）；至於大漢溪高灘地人工濕地在 2012 年蘇拉颱風及 2015 年蘇迪勒均造成洪水漫灘並沖毀部分濕地的災情，洪水夾帶的大量泥砂也隨著退水後留在人工濕地及周遭，造成極大的經營管理困擾。該研究也在台大水工試驗所進行烏魚濁度耐受性試驗（烏魚為大量死魚事件經常發現的主要魚種），研究發現：24 小時的半致死濃度（LC50）約為 129,000 mg L⁻¹（圖 2），對懸浮顆粒零死亡濃度的最高耐受值為連續 5 天不高於 11,000 mg L⁻¹（郭家暢等，2016）；由此可知，高懸浮顆粒濃度的確會造成烏魚死亡，雖然這樣的高濃度在現地不易複製及維持，但仍應避免現地出現如此高的泥砂濃度，以降低水生物死亡風險。根據這些研究結果，該計畫提出水庫排洪減淤減輕衝擊的相關策略（圖 3），但能否融入現有的水庫操作規線，仍有待考驗。



備註：挖仔尾 (WZ)、竹圍 (ZW)、重陽橋 (CY)、華江濕地 (HG)、華中橋 (HC)、新海橋 (HH)、臺 65 線橋 (65)、浮洲橋 (FC)、城林橋 (CL)、五股溼地 (WG)、關渡 (GD)

圖 1 2014~2015 年間石門水庫排洪減淤前後下游潮間帶溼地平均高程差變化 (林幸助、施上粟，2015)

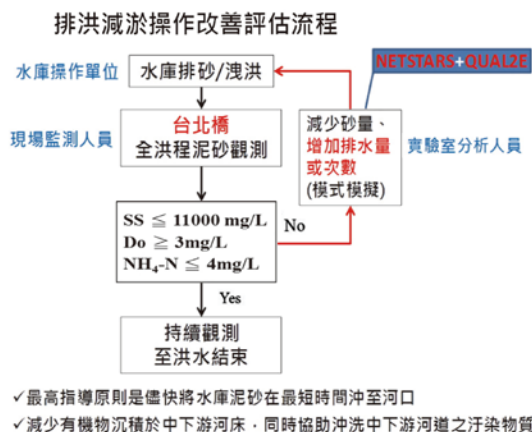


圖 2 水庫排洪減淤對下游河道生態功能影響及改善流程 (林幸助、施上粟，2015)

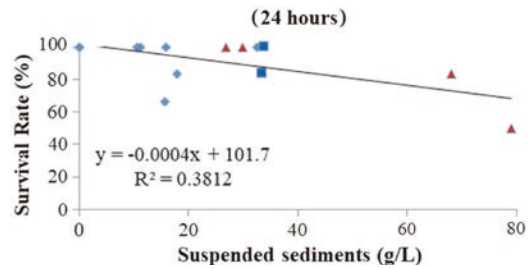


圖 3 烏魚泥砂濃度耐受性試驗結果 (郭家暢等，2016)

河川生態疏浚的需求

前述提及，水庫庫容的保全是極為重要的水利工作，因此排洪減淤操作勢難避免，無論是庫區內或集水區來沙往下游排放勢必增加下游局部區域的淤積，這將產生另外的困擾及災害，包括下游河道淤積造成的通洪斷面縮減，及濕地陸化問題等。以淡水河為例，現況河道處於淤積狀態，未來再加上石門水庫庫容保全的汛期排砂需求，有必要經常性進行河道疏浚及植生整理，以保持足夠的通洪斷面，及適度維持河道粗糙度，因應氣候變遷之防洪需求，此項工作尤其重要及迫切。然根據淡水河系河川情勢調查結果及相關生態調查報告指出，淡水河系蘊藏豐富的生態資源，與 10 前相比，無論特有生物種數、保育類物種數量、河川健康程度均有明顯改善，並有多處生態敏感區需予保育（施上粟等，2017），故進行河道整理、疏浚或植生檢討等工作時，應嚴謹對待，並思考「生態疏浚」的可行性，相關之清疏技術也需要因地制宜研發評估。「生態疏浚」是指疏浚作業需考量到當地生態功能，避免因河道整理等疏浚作業破壞重要棲地結構或生態功能的河道疏浚方法。根據日本福留脩文（2011）的觀察，自然河川中上游多有潭（pool）、瀨（riffle）、流（run）、沙洲（sand bar）等重要棲地結構，其對維持河道輸砂平衡，及水棲昆蟲、棲地類型魚類的利用均提供很重要的功能，有必要盡力予以保育。

下游濕地也有許多重要生態功能，進行高灘地清疏時也要留意。筆者曾在 2010 年研究二重疏洪道的相關水理及生態條件，起因是疏洪道已運作超過 40 年，我們對其是否仍具有原設計的保護能力存有懷疑，這是因為基於以下的瞭解：淡水河系自 1990 年全面禁採砂石後，河床及高灘地逐年回淤升高，河川的地形地貌已然不同，部分水域地帶因河床回淤及二次流效應而逐漸形

成濕地 (Shih *et al.*, 2011)，而這些濕地的產生也進一步促使先趨性水生植物進入 (如蘆葦、荳蔻草、紅樹林)，進而改變了河床通洪斷面及粗糙度，這些環境的改變我們猜測將可能弱化台北防洪系統的保護能力。筆者的研究結果的確顯示二重疏洪道通洪能力 ($6,300 \text{ m}^3/\text{s}$) 已明顯低於原設計通洪量 ($9,200 \text{ m}^3/\text{s}$) 甚多，而台北橋的洪水位也已非常接近出水高程，敏感度分析則發現影響疏洪道分洪能力之環境因子由大至小排序為：河道糙度、河道高程、河口水位、洪水流量、橋梁數目 (圖 4)，基於提高疏洪道分洪能力的需求，該研究建議可適度進行入口堰前庭的疏浚作業，包括灘地降挖及植生移除 (Shih *et al.*, 2014)。

前述論及粗糙度是影響疏洪道分洪能力及淡水河洪水位的主因，降低二重疏洪道的河道粗糙度有相當明顯的效果，但疏洪道下游有一塊特殊的蘆葦濕地，當時發現在過去僅於日本及香港發現的四斑細蟬族群 (*Mortonagrion hirosei Asahina*)，若將這些蘆葦移除當然會有相當的減糙效果，但卻會因此破壞四斑細蟬的棲地，因此又進一步分析疏洪道上、中、下游的減糙效果，結果發現上游的減糙效果最佳、中游次之、下游並不明顯，因此當時建議下游濕地應予保留，一方面是此處為生態敏感區，二方面則是清疏此處對防洪的幫助不

大 (圖 5)。筆者後來又針對淡水河位於疏洪道入口堰的濕地，評估疏浚作業可能引發的生態效應 (施上粟等, 2016)，該區域位於大漢溪、新店溪匯入淡水河處，屬淡水河左岸、二重疏洪道入口堰外，對岸為華江溼地，此區通稱「江子翠」，屬「大漢、新店國家重要溼地」的範疇；該區因兩河交匯後河幅增加、流速降低，加上下游的台北橋斷面窄縮的迴水效應，使本區形成天然泥砂淤積區；根據 Li *et al.*, (2009) 調查，該區每年有大量冬候鳥利用，尤其以小水鴨 (*Anas crecca*) 為主要鳥種，最大數量時可達鳥類總數 90% 以上，2000 年在江子翠地區更高達 10,000 隻，Hsu *et al.*, (2014) 調查小水鴨棲地最適地表高程在高潮位時呈現水域型態、低潮位時則為灘地型態；由此可推論，此泥砂淤積效應一方面不利小水鴨利用，一方面也會改變淡水河流向而影響疏洪道的分洪功能。筆者的研究顯示，疏洪道前庭降挖可同時提高疏洪道分洪量與小水鴨棲地適合度 (圖 6)，顯示防洪與生態保育間有合作空間，可作為類似之都市型河川，在進行河川環境規劃、營造及管理時的參考 (施上粟等人, 2016)。新北市府依此作為該區疏浚及小水鴨棲地維護的重要參考依據，棲地營造之初，小水鴨利用率由 20% 提高到將近 80% (施上粟等人, 2012)，可見良好的疏浚規劃有機會作為棲地營造工程。

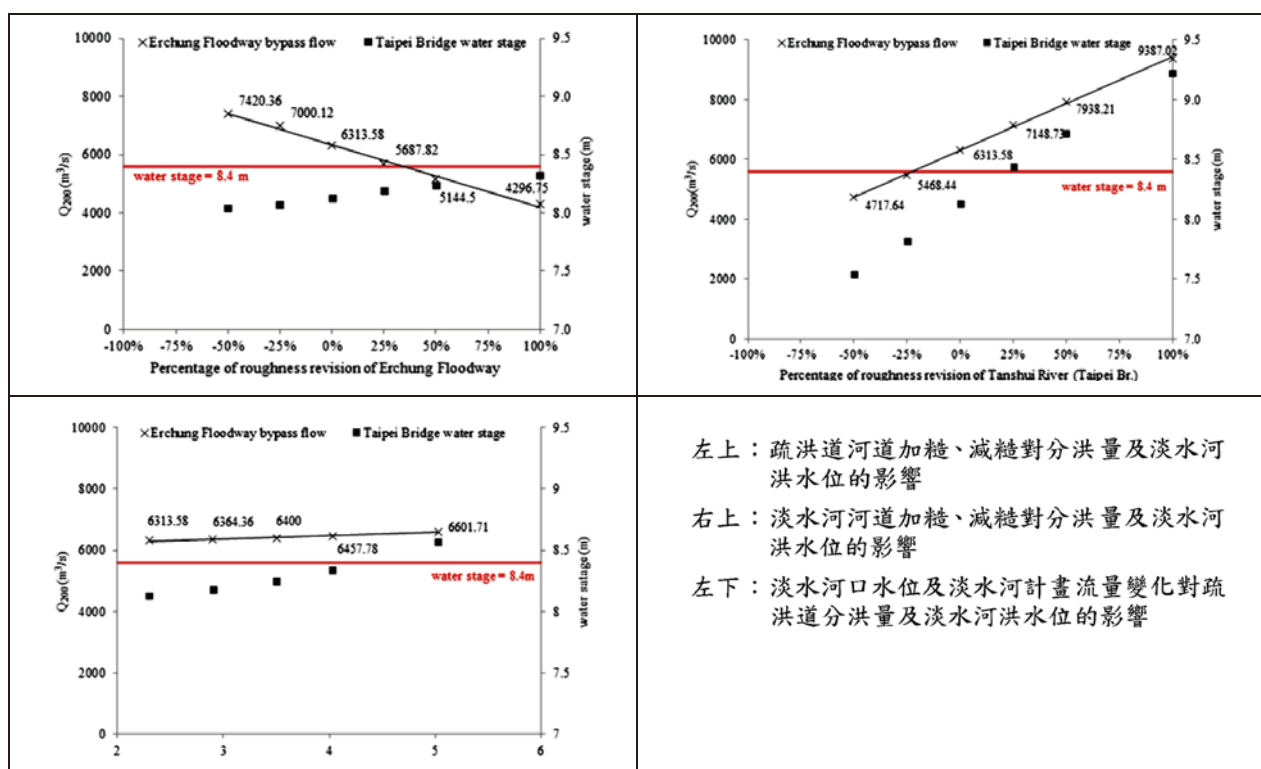


圖 4 二重疏洪道通洪能力分析環境因子敏感度分析結果 (修改自: Shih *et al.*, 2014)

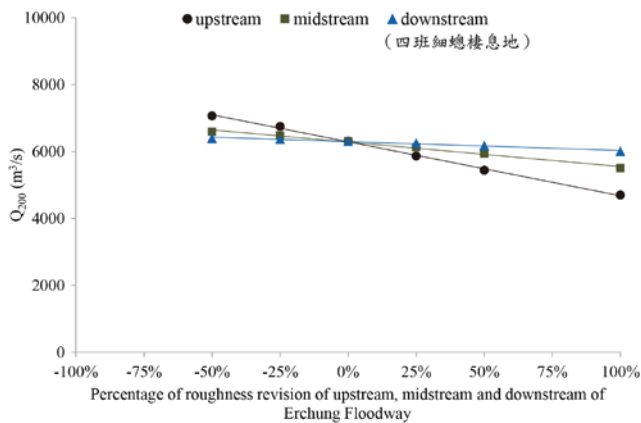


圖 5 二重疏洪道上、中、下游河道減糙對防洪保護效果結果 (修改自: Shih *et al.*, 2014)

內外水聯合運用及跨流域水圈管理

台灣的降雨特色是時間空間上的分佈不均，加上河川坡陡流急，水資源及防洪等水利防災需求常難兩全，水庫、攔河堰等水利構造物需扮演重要的角色，前已提及水庫、攔河堰等橫向構造物對水生生態系統有相當程度的影響，因此常有環保團體要求水庫管理單位應釋放一定的流量以維持基本的生態功能（國內國外皆然），不幸的是，水庫的操作規線是以水資源、防洪、發電為主，欲加上生態考量實空間有限，在實務操作上難以落實。若要在既有水庫結構物加裝取水工

作為釋放河川環境基流量之用，不但可能影響水庫結構安全、也很難符滿足經濟益本比的要求。

環境流量 (environmental flow) 是指「維持基本河川生態系統所需的水量 (water quantity)」，生態系統一般有季節的明顯差異性，因此更嚴謹的環境流量定義為「維持基本河川生態系統所需的流態 (flow regime)」，國際間近 10 年有越來越多研究開始探討永續管理水資源，並將與人類居住環境健康程度習習相關的环境基流量納入整體水資源體系中加以考慮 (Alcazar and Palau, 2010; Arthington *et al.*, 2006; Pahl-Wostl *et al.*, 2013)，但台灣在這方面的投入仍有相當的努力空間。筆者認為「內水外水聯合管理運用」是值得探討的方向，亦即豐水期時都市防洪減災過程中，經由適當的儲留系統有機會產生新興水資源，提供枯水期時河川環境基流量之用，對保全水庫原有水資源功能，及提升下游河川及濕地生態功能將會有顯著效果。若城市防洪減災於豐水期時所產生之新興水資源 (內水) 能妥善貯留，部分並應用於改善枯水期河川環境基流量及河川水質 (外水)，預期可同時滿足水利防洪及生態保育需求，對城市的韌性及健康也有助益，可謂一舉數得。另外，在內水與外水的聯合運用

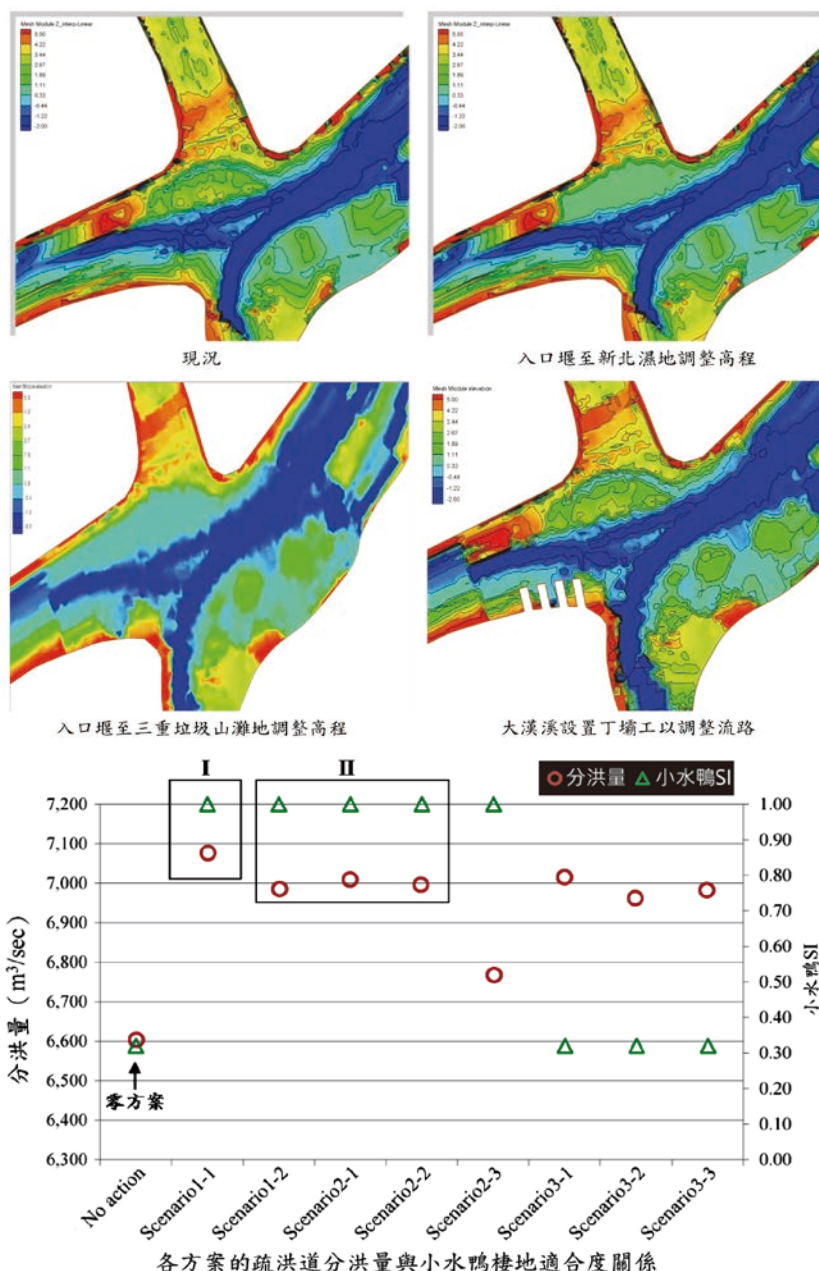


圖 6 新北濕地降挖及丁壩工改善前後流場、分洪量及小水鴨棲地適合度變化 (施上粟等, 2016)

時會遇到內水排入外水的過程，過程中牽涉到相關水理及水質的機制及理論知識，可進一步與高灘地上的人工濕地（constructed wetlands; CWs）進行整合利用，CWs 可作為中間過渡單元，內水通過這個過渡單元預期將會提高相當的水質標準（Shih *et al.*, 2017），而達到高於放流水的標準，對河川生態的保育很有助益，這也有助於增加高灘地上的生物多樣性的經營（Hsu *et al.*, 2011），降低因上游水庫蓄水操作，造成下游河川高灘地上的河濱濕地生態連結性功能的弱化（Karim *et al.*, 2015）。至於內水、外水的聯合運用能否將其擴大至跨流域、跨領域之水圈管理範疇？現階段是個挑戰，但也是個未來的方向。

水生生態系統服務及防減災功能

若將上述的水庫問題擴及至更大的水利防災戰略層面，則水生生態系統所能提供的相關服務功能，及釐清其在防減災方面對人類社會的服務價值是刻不容緩的課題。生態系服務是生態系結構與功能，以直接及間接的方式提供人類社會的福祉，使人類社會直接感受到生態系無法貨幣化的價值（Müller and Burkhard, 2012）。至今已有不少探討生態系服務或自然資本的研究，其結果皆導向於地景及棲地物理及化學特性會直接或間接影響生態系之支持服務，成為決定自然資本的基礎（Millennium Ecosystem Assessment, 2005）。然而，對於地景及棲地改變，或「支持」服務與其他三類別生態系服務（「供給」、「調節」與「文化」服務）間的交互作用，目前所知仍甚少（Kremen and Ostfeld, 2005）。而這些生態系統功能對人類所提供的服務有時必須以權衡（tradeoff）的觀念進行積極有效的管理，以使服務功能達到最佳化（Shih *et al.*, 2015）。

近數十年，保護和改善生態系統以降低災害風險的重要性開始引起學術社群及聯合國相關組織的關注。面對氣候變遷對人類社會帶來的威脅，Mortimore *et al.*, (2009) 認為需以生態系統防減災概念

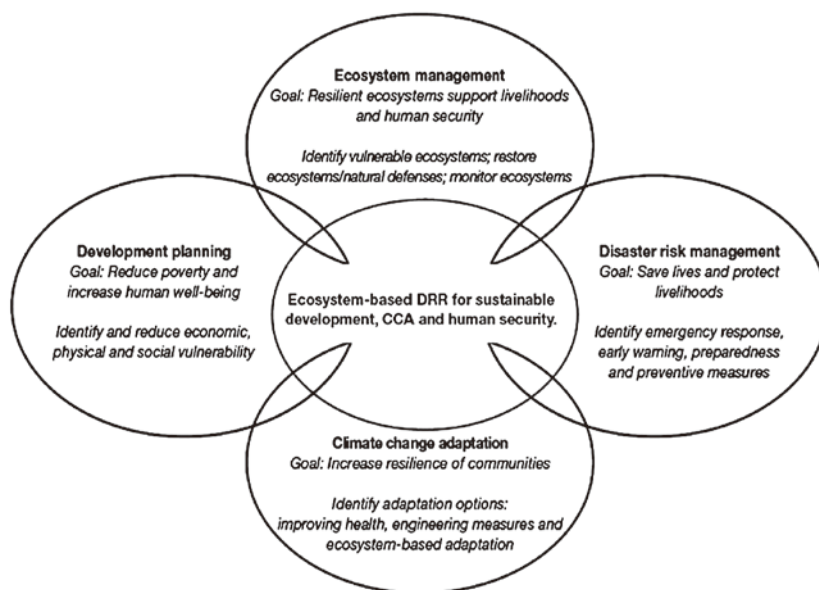


圖 7 生態系統防減災 Eco-DRR 概念圖 (Mortimore *et al.*, 2009)

（Ecosystem-based disaster risk reduction），整合「生態系統管理」（ecosystem management）、「開發計畫」（development planning）、「災害風險管理」（disaster risk management）、「氣候變遷調適」（climate change adaptation）（圖 7）。2015 年第三屆聯合國防災大會宣布推動「生態系統防減災」概念，強調應積極維護生態系的健全，提升生態系統服務的品質，並利用生態系統服務中災害調節的供能，達到防減災及人類永續發展的目標（張皓雲，2015）。根據聯合國氣候變遷小組 IPCC 在 2012 年發佈的風險定義，風險 = 危害度 × 暴露度 × 脆弱度，也就是「風險」同時與危害度、暴露度、脆弱度三種因子成正比關係，就本文探討的主題而言，台灣水利防災中水生生態系統所面臨的風險，尚有許多數據需要加以調查及量化分析，如：水庫排砂對河川生態或濕地生態的危害度為何？這些生態系統的脆弱度高還是低？以及這些水生生態系統有否可能迴避工程衝擊？或透過縮小、減輕工程規模，而降低其暴露度？

結論及建議

傳統水利防災主要著重在人類的安全防護及生活、生存的維持，而極少碰觸生態方面的需求，因應前瞻計畫水環境建設所研擬的「水與發展」、「水與安全」、「水與環境」三大主軸，未來應積極規劃及落實

「永續水利防災」，並深入瞭解生態系統在整體水利防災所能扮演的角色及對人類福祉提供的服務價值。對水利事業的經營而言，若要符合永續理念，則流域中的空間及水質水量管理極為重要，應以全流域的治理角度進行規劃，根據使用目的不同進行分區劃設，並以管理手段及相關法規加以落實，若牽涉到相關的防災工程，則應落實這些工程的生態檢核作業。對於無法進行通案或廣泛性探討的案例，則需以個案方式進行通盤檢討，並將生態衝擊的迴避、縮小、減輕、補償概念融入，以企求未來的台灣水環境真正邁向永續發展的新境界。

參考文獻

- 林幸助、施上粟（2015），石門水庫排洪減淤操作對下游河道生態影響及改善方案研究，經濟部水利署北區水資源局委託研究。
- 施上粟、陳炳宏、歐陽慧濤（2016），新北濕地小水鴨棲地保育與防洪需求競合探討，農工學報 62(1)，1-11。
- 施上粟、胡通哲、任秀慧（2017），淡水河水系河川情勢調查(3/3)，經濟部水利署第十河川局委託研究。
- 施上粟、黃守忠、陳章波（2012），淡水河藍色公路（含自行車景觀橋）沿線生態維護調查與復育計畫，新北市政府水利局委託辦理。
- 郭家暢、林幸助、黃國文、施上粟、任秀慧（2016），懸浮固體濃度對烏魚（*Mugil cephalus*）存活率之影響，2016 動物行為暨生態研討會，中興大學，台中。
- 張皓雲（2015），臺北市以生態系為基礎之災害風險減緩社區評估指標建立之研究，國立臺北科技大學建築系建築城鄉設計碩士論文。
- 顏清連（2015），論永續水利事業，土木水利 42(3)，6-11。
- 顏清連（2014），莫拉克颱風災後國土保育治理思維－水利／水害觀點，土木水利 41(4)，6-12。
- 福留脩文（2011），治水と環境の両立を目指した川づくりの技術的考え方とその適用生に関する研究，中央大學博士論文。
- Alcazar, J. and Palau, A., 2010, Establishing environmental flow regimes in a Mediterranean watershed based, *Journal of Hydrology*, 388, 41-51.
- American Rivers, 1999, Friends of the Earth, and Trout Unlimited, Dam removal success stories: Restoring rivers through selective removal of dams that don't make sense, American Rivers, Friends of the Earth, and Trout Unlimited, Washington, DC, 115 p.
- Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L., and Naiman, R.J., 2006, The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems, *Ecological Applications*, 16(4), 2006, pp. 1311-1318.
- Pahl-Wostl, C., Arthington, A., Bogardi, J., Bunn, S.E., Hoff, H., Lebel, L., Nikitina, E., Palmer, M., Poff, L.N., Richards, K., Schlüter, M., Schulze, R., St-Hilaire, A., Tharme, R., Tockner, K., and Tsegai, D., 2013, Environmental flows and water governance- managing sustainable water uses, *Environmental Sustainability*, 5, 341-351.
- Hsu, C.B., Tzeng, C.S., Yeh, C.H., Kuan, W.H., Kuo, M.H., and Lin, H.J., 2010, Habitat use by the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus*, *Aquatic Biology* 1, 10(3), 227-239.
- Hsu, C.B., Hsieh, H.L., Yang, L., Wu, S.H., Chang, J.S., Hsiao, S.C., Su, H.C., Yeh, C.H., Ho, Y.S., and Lin, H.J., 2011, Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment, *Ecological Engineering*, 37, 1533-1545.
- Huang, J.C., Lee, T.Y., Kao, S.J., Hsu, S.C., Lin, H.J., and Peng, T.R., 2012, Land use effect and hydrological control on nitrate yield in subtropical mountainous watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1-16.
- Junk, W., Bayley, P.B., and Sparks, R.E., 1989, The flood pulse concept in river-floodplain systems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106, 110-127.
- Karim, F., Dutta, D., Marvanek, S., Petheram, C., Ticehurst, C., Lerat, J., Kim, S., and Yang, A., 2015, Assessing the impacts of climate change and dams on floodplain inundation and wetland connectivity in the wet-dry tropics of northern Australia, *Journal of Hydrology*, 522, 80-94.
- Kremen, C. and Ostfeld, R.S., 2005, A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services, *Frontiers in Ecology and Environment*, 3, 540-548.
- Li, Z.W.D., Bloem, A., Delany, S., Martakis, G., and Quintero, J.O., 2009, Status of Waterbirds in Asia Results of the Asian Waterbird Census: 1987-2007, Wetlands International, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Washington DC: Island Press.
- Mortimore, M., Anderson, S., Cotula, L., Davies, J., Facer, K., Hesse, C., Morton, J., Nyangena, W., Skinner, J., and Wolfangel, C., 2009, Dryland opportunities: A new paradigm for people, ecosystems and development. IUCN, IIED and UNDP/DDC.
- Müller, F. and Burkhard, B., 2012, The indicator side of ecosystem services, *Ecosystem Services*, 1, 26-30.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., and Stromberg, J.C., 1997, The natural flow regime. *Bioscience*, 47(11), 769-784.
- Shih, S.S., Hsieh, H.L., Chen, P.H., Chen, C.P., and Lin, H.J., 2015, Tradeoffs between reducing flood risks and storing carbon stocks in riverine mangroves, *Ocean & Coastal Management*, 105, 116-126.
- Shih, S.S., Yang, S.C., Hwang, G.W., Hsu, Y.M., and Lee, H.Y., 2011, Development of a salinity-secondary flow-approach model to predict mangrove spreading, *Ecological Engineering*, 37(8), 1174-1183.
- Shih, S.S., Yang, S.C., and Ouyang, H.T., 2014, Anthropogenic effects and climate change threats on the flood diversion of Erchung Floodway in Tanshui River, northern Taiwan, *Natural Hazards*, 73(3), 1733-1747.
- Shih, S.S., Zeng, Y.Q., Lee, H.Y., Otte, M.L., and Fang, W.T., 2017, Tracer Experiments and Hydraulic Performance Improvements in a Treatment Pond, *Water*, 9(2), 137.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., and Cushing, C.E., 1980, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.
- Wood, J., 1999, How to waste US\$8M, *International Water Power and Dam Construction*, 51(3), 17-18.
- Yeager, B. L., 1994, Impacts of reservoirs on the aquatic environment of regulated rivers, Tennessee Valley Authority, Water Resources, Aquatic Biology Department, Norris, Tennessee. TVA/WR/AB-93/1.
- Yu, S.F. and Lin, H.J., 2009, Effects of agriculture on the abundance and community structure of epilithic algae in mountain streams of subtropical Taiwan, *Botanical Studies*, 50, 73-87. 