

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ 河川續動與洪泛脈動：探討河域生態學之演進觀念

River-Continuum and Flood-Pulse: An Exploring on Riverine Ecological Concepts

doi:10.6154/JBP.2007.14.005

建築與城鄉研究學報, (14), 2007

Journal of Building and Planning, (14), 2007

作者/Author：方偉達(Wei-Ta Fang);周睿鈺(Jui-Yu Chou)

頁數/Page：69-80

出版日期/Publication Date：2007/08

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6154/JBP.2007.14.005>



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



河川續動與洪泛脈動：探討河域生態學之演進觀念

方偉達*、周睿鈺**

River-Continuum and Flood-Pulse: An Exploring on Riverine Ecological Concepts

by

Wei-Ta Fang*, Jui-Yu Chou**

摘要

本文目的係針對 1980 年以來之主要河域生態學概念演進進行評論。在河川續動觀念(1980 年)及洪泛脈動觀念(1989 年)被提出來之後，這兩個觀念為河域生態規劃及生物相提供預測之基礎。門諾及其同僚發展河川續動觀念，認為河川上中下游會出現生物相可預測現象。當此空間觀念不能說明一切河域濕地環境，強克及其同僚認為以洪水週期蔓延漲退之洪泛脈動時間觀念，來預測河岸濕地、河川中昆蟲及濕生植物共存的現象。本文引介 1980 年以來水文生態文獻進行介紹，希冀對此兩觀念的檢視與比較，作出綜合性的描述與評論。作者認為強克的預測觀念，是想補充門諾之觀念。惜強克觀念之驗證適用於大河河岸，預測大河流域的洪泛區或是森林區就失準，那是因為人為介入，造成濕地移除、森林伐木、水壩建築、污染源排放等影響。本文最後針對台灣河域生態研究結果，提出生態研究管理策略，並提出台灣水文生態研究之論證方向、方法與規劃實務應用之建議。

關鍵詞：河川續動、洪泛脈動、河岸濕地、河域生態學

ABSTRACT

This paper aims to discuss the major concepts of riverine ecology since 1980s. Since two concepts, river continuum (1980) and flood pulse (1989) have been proposed to provide conceptual bases for ecological prediction of flora and fauna within riverine studies as well as for riverine ecological planning. The river continuum concept, first presented by Vannote and his colleagues, provides a framework for predicting variability in a biological community from headwater streams to river mouth. Junk and his colleagues, argued for the concept of river continuum, states that a long and predictable pulses in discharge which expand the river onto riparian are the most important hydrologic feature. We discuss and remark relative research papers since 1980s comprehensively. However, the flood pulse concept also has the similar problem. Most expectations occur because human influences increase unpredictability. Several mechanisms, such as riparian removal, logging, damming, and dumping interrupt the pristine conditions about nutrient loadings. Based on our findings, there are several recommendations for the strategic riverine management and planning on future hydro-ecological studies.

Keywords: river continuum, flood pulse, riparian wetland, riverine ecology

民國 94 年 9 月 29 日收稿；民國 95 年 1 月 11 日第一次修正；民國 95 年 3 月 2 日第二次修正；民國 95 年 3 月 3 日通過。

* 東海大學景觀學系所助理教授，國際溼地科學家學會台灣分會會長

Assist. Professor, Department of Landscape Architecture, Tunghai University, Taichung City, Taiwan; Country Designate, Taiwan, Society of Wetland Scientists.

電話：04-23590417 ext.132 電子郵件信箱：wtfang@thu.edu.tw

** 國立陽明大學生命科學系暨基因體科學研究所博士生

Ph.D. Student, Faculty of Life Sciences and Institute of Genome of Life Sciences, National Yang-Ming University.

一、前言

「濕地」因各地區之條件不同，且為適用法律上的界定或管理，以及學術研究上的各種需求，目前至少有 50 種以上的濕地定義(賴明洲等, 2005)。但其定義的主要精神是由水文、土壤、植物等特徵，其中最具代表性的是 1971 年國際拉薩姆會議上通過的拉薩姆公約對濕地的定義，該公約由政府間協定，為濕地保護及國際合作確定了一個基本框架。濕地公約第一條便將濕地定義為：「凡是包含草澤、林澤、泥澤或水域等地，不論為天然或人為、永久或暫時性、靜止或流動、淡水或鹹水，由沼澤地(marsh)、泥沼地(fen)、泥炭地(peat land)或水域所構成的地區，包括低潮時水深不超過 6 公尺的海域」。美國內政部對濕地定義為：「受到洪水入侵、或是其充滿著地表水或是其地下水、或持續提供植被生長繁衍，以適當地充沛水分的土壤環境」(U. S. Department of the Interior, 1991)。1994 年美國內政部亦針對濕地區分兩種形式(U. S. Department of the Interior, 1994)，包括：(一)靜水水域，其靜止水體棲地包括湖泊、池塘、沼澤、滲流及草澤；(二)流動水域，其流動水體棲地包括河流、小溪及湧泉，這個定義將流動水域視為濕地之界定範疇。

在流動水域方面，美國內政部認為「河岸濕地」(riparian-wetland)為充分浸水的河川與乾燥的陸域生態系統之間的過渡地區，但是河岸濕地並無清楚地域定義；且與河域濕地(riverine-wetland)缺乏清晰而明顯的界限。本文中界定河域濕地(riverine-wetland)以河川為主體，聯結河流毗連濕地之地域；河岸濕地(riparian-wetland)則界定以河區沿岸為主體之濕地，兩者皆能展現其地表水與地下水相互影響植被分布的水文現象。由前述所知，河岸濕地/河域濕地區域有著介於水域生態系統與陸域生態系統的特質，但是不同於靜水水域濕地(National Academy of Sciences, 2002)。河域/岸濕地區域係富有生產力的生態系統，此一生態環境比起較乾燥的臺地生態環境，更適養分儲存及提供養分子鄰近區域(France, 2002)。河岸濕地區域與河川及臺地生態系統則以數種方式相互影響，對於維持大自然中水文、化學、生物的完整性扮演重要角色(Brinson et al., 1981)，濕地主要係為它連接著上游河谷中水體、水中微粒、沉積物及有機物質的推進關係。上述的生態系統的完整性皆與濕地水文、土壤及植被的存在與功能緊密結合。河域/岸濕地生態地區的土壤因週期性浸水，使其間植被在飽水土壤環境下，仍然生長良好(Beschta, 1991)，此間水陸域生態區的植被，在固氮功能方面，亦扮演重要角色(Triska et al., 1993)。

由於河域/岸濕地之重要性，因此幾個重要的觀念在 1980 年代前就已經被提出。奧登(Odum)認為一個靜止水域如池塘或是濕地就是一個完整的生態系統(Odum, 1971)，但是奧登在 70 年代之廢水處理池塘能量研究，係以池塘靜水區域為範圍；而溪流生態學者認為，溪流環境之「溪流本

體」並非像池塘本體為完整生態體系，此一觀念係以海因斯(Hynes)等人所倡(Hynes, 1960; Minshall, 1967; Kaushik & Hynes, 1971; Hynes, 1972)。海因斯等人研究動態水域環境，認為區外環境(如溪畔落葉)影響水域生態。到了 1980 年，門諾等人(Vannote et al., 1980)提出了河川續動觀念(river-continuum concept, RCC)，則認為一條河川或是溪流，包含溪流落葉，可視為一完整的生態系統。從 1980 年到 1994 年，河川續動觀念被引用的次數已超過 500 餘次(Cushing, 1994)。針對此觀念中心的內涵，在大陸系國家有研究者研究生物、物理及化學環境因子的關連性，以驗證其正確性。然而卻有研究者認為水生環境與陸域交界上的縱向流動體，應該不能視為單一完整的生態系統。強克等人(Junk et al., 1989)認為，洪泛脈動可視為水生與陸域環境在河岸/域濕地區域中，生態功能交替的主要原因。貝利(Bayley, 1991)也相信河川系統在時間軸觀念中應視為一週期性輸入及輸出系統。目前為止，河川續動(river-continuum concept, RCC)與洪泛脈動觀念(flood-pulse concept, FPC)為主導 1980 年代以來，河域生態研究的兩種主要觀念(Johnson et al., 1995)。

二、檢視河川續動觀念

河川續動觀念是門諾等人首度以空間尺度之觀念建構流動水域的研究(Poff & Ward, 1989; Downes et al., 1993)。河川續動觀念試圖建立一條流域之綜合觀念，以描述流動水體的上、中、下游之功能。門諾等人提出了河川續動觀念時，建立了從水流上游區到出海口的架構，來預測其生物群聚的變異。河川依序級而變異，如同隨其地形、水文及河川形態變化而改變。因此，門諾等人(Vannote et al., 1980)假設其中的環境變異，影響生物群聚現象。從水流上游區到出海口的環境是可預測的，由於上、中、下游之生物會適應河川序級之變異，因此研究者可預測生物群聚之變異，此觀念的驗證及其修正歷程討論如下：

(一)河川序級(Stream order)

河川續動觀念中的物理因素為河川或溪流隨坡度改變，其大小及位置隨之不同。因此門諾等人將河川序級分為三大類：1.初序級河段(如：河川上游區)、2.中序級河段(如：大小適中的中游區)、3.高序級河段(如：出海口寬度較大的下游區)。在初序級河段中，具有森林冠層遮蔭，且其粗顆粒之有機碎屑(coarse particulate matter, CPOM)提供無脊椎動物的食物來源(Rosi-Marshall & Bruce, 2002)。在中序級河段中，能量的輸入隨著河道變寬而改變。隨著森林冠層的減少及上游區域水流作用下，中序級河段中細顆粒有機碎屑(fine particulate matter, FPOM)的出現，使其林冠層的遮蔭作用與粗大基質微粒的貢獻也隨之減少。沒有了林冠層的遮蔭，充足的日照讓附生藻類大量產生。在高序級河段中，發展許多生態及水文特徵，例如河道變寬、流速減緩、河川基質的顆粒變得較小，且大型植生也愈加豐富(Stephan & Wyhera, 1996)(圖 1)。根據 Kaplan &

Newbold(2003)的研究，證實水中有機碎屑以藻類和落葉為主。以藻類分解之有機碎屑顆粒品質較高，營養成分較易讓無脊椎動物吸收；落葉有機碎屑顆粒品質較差，營養成分較難讓無脊椎動物吸收。

(二)功能群(Functional groups)

門諾等人(1980)也將無脊椎動物分為四大功能群：1. 碎食者(Shredders)、2. 採食者(Collectors)、3. 刮食者(Scrapers)；和4. 捕食者(Predators)等四類。1. 碎食者：這些無脊椎動物直接以粗顆粒有機碎屑為食物來源，藉由消化及排泄作用將這些落枝殘葉變成細顆粒有機碎屑，常見的碎食者包括石蠅(*Pteronarcys californica*)、大蚊科(Tipulidae)及石蠶蛾(沼石蛾科)(Limnephilidae)的幼蟲(Cushing, 1995)。2. 採食者：這些無脊椎動物在不同河川序級位置中，主要以細顆粒有機碎屑為主要食物。採食者又可分為兩大類，濾食採食者(filtering-collectors)由不同方式從水體中濾食細顆粒有機碎屑；拾集採食者(gathering-collectors)則是在河川底部不同位置採食碎屑顆粒。常見的採食者有四節蜉蟬(*Baetis* spp.)及小蜉蟬(*Ephemera* spp.)。3. 刮食者：有時也以grazers此一名詞描述這一類群無脊椎動物，這群生物有著刮食岩石上附生藻類的特徵口器構造。常見的刮食者有石蠶蛾(*Glossosoma* 和 *Dicosmoecus*)及蜉蟬(*Stenonema*)。4. 捕食者：這些無脊椎動物主要以捕食其他生物為食物，基本上也是肉食動物，甲蟲(Coleoptera)幼蟲即為捕食者。

(三)河川續動觀念的預測

門諾等人(1980)認為在不同河川序級中其出現的無脊椎動物是可預測的(圖 1)。1. 初序級河段：在此處，其初級生產毛量/水體群聚呼吸率(gross primary production/community respiration rates, P/R)比例較低，及前述粗顆粒有機碎屑/細顆粒有機碎屑(CPOM/FPOM)比例較高。其林冠層提供其食物來源，使得此處以碎食者為主要動物群聚。他們將葉片變為細顆粒碎屑，隨水流往下流以提供採食者為食物來源。2. 中序級河段：在此處，其初級生產毛量/水體群聚呼吸率比例較高，隨著河川序級變高，林冠層的遮蔭也隨之減少。由於此處無法遮擋陽光，粗顆粒有機碎屑的輸入量也較低，因此此處以刮食者為主要動物群聚。3. 高序級河段：在此處，由於河川坡度趨緩及較細的沉積底質，大型植生為主要植被。河道變寬，及上游流下的細顆粒碎屑較多的優勢，此處採食者數量因而提高；捕食者則是遍布整個水體系統。

(四)河川續動之驗證與修正

針對河川續動觀念，最大尺度的試驗為Minshall等人(1983; 1985)所作的。他們在美國4個不同處作了一系列的實驗，且每條河川均沒有人為的干擾，其上游處擁有豐富的林冠相。他們重要的發展包括了：1. 上游大都為異營生物，而往下游則以自營生物居多。2. 能量以縱向方式分配，

且其能量輸入具有可預測性。3. 局部地區的變異很大。Heino等人(2005)觀察芬蘭河川，認為局部上游河川的生物相變異，將改變下游河川之生物相狀況，這些預測的結論與Minshall等人(1983; 1985)的觀點相仿。

然而，自1989年以來，亦有學者針對河川續動僅著眼於「河川」本身的研究，提出不同觀念，這些觀念涉足於陸域及濕地環境的交互作用影響。例如康敏斯(Cummins et al., 1989)等人提出的河岸地區影響(riparian zone influence)及強克等人(1989)提出的洪泛脈動觀念(flood-pulse concept, FPC)。強克等人認為河川洪泛週期性漲退及其程度，足以被視為同等於河川續動觀念河川序級改變的影響力。

三、檢視洪泛脈動觀念

強克等人(1989)以河川週期性漲退時間及泛濫後橫向空間觀念，提出不同於河川續動的縱向空間觀點。強克基於在熱帶地區亞馬遜河的觀察，企圖解釋河岸濕地地區能量及營養的動態變化。根據強克與其同僚的描述(Junk et al., 1989)，在亞馬遜河洪泛的漲退，足以使得河岸濕地地區作長時間且可預測的脈動的主要水文因素。他們也針對洪水漲退不同時期的變異作一預測。

華德(Ward, 1989)也將脈動分為漲水期(即有水時期)與乾水期(即陸地化時期)。他以水位的變化來說明週期內洪泛脈動的影響。在漲水期，河川中的營養物質被帶到河岸地區，使得初級生產力的增加為主要現象，由於水棲生物及無脊椎動物快速的生長，魚類也遷移此河岸濕地地區來覓食。魚類繁衍的高峰正是漲水期，而浮游生物繁衍的高峰則處於漲水期結束前。當河水退去，營養及有機物隨河川系統而退去，帶來的是單位面積生物量的增加。隨著水域水位逐漸退去而乾燥化，陸域植被則重返此處生長(Zamora-Arroyo et al., 2001)(圖 2)。

洪泛脈動理論以漲水的時間、持續的時間和頻率來描述其對水域生態的週期性影響。這概念最可解釋其可保護及促進河灘地植被生長，帶給野生動物及沿海地區濕地的好處(Benke et al., 2000)。後來一些在美國的西南方地區(例如索諾拉荒漠地區、葛蘭德河中游、蒙大拿州密蘇里河區、伊利諾河谷)及東南方地區(阿肯色州灌木湖)也說明洪泛脈動理論的正確性(Middleton, 2002)。最重要的是洪泛脈動理論已用來恢復整個景觀的重要依據之一。

四、亞洲研究文獻回顧與分析

河川續動與洪泛脈動研究緣起於美洲大陸(Vannote et al., 1980; Minshall et al., 1983; Minshall et al., 1985; Junk et al., 1989; Junk, 1999; Middleton, 2002)，歐洲亦有少部分地區研究(Aagaard et al., 2004; Heino et al., 2005)，對於受到人為開發行為較早，干擾較大之亞洲地區，河川生態與歐美

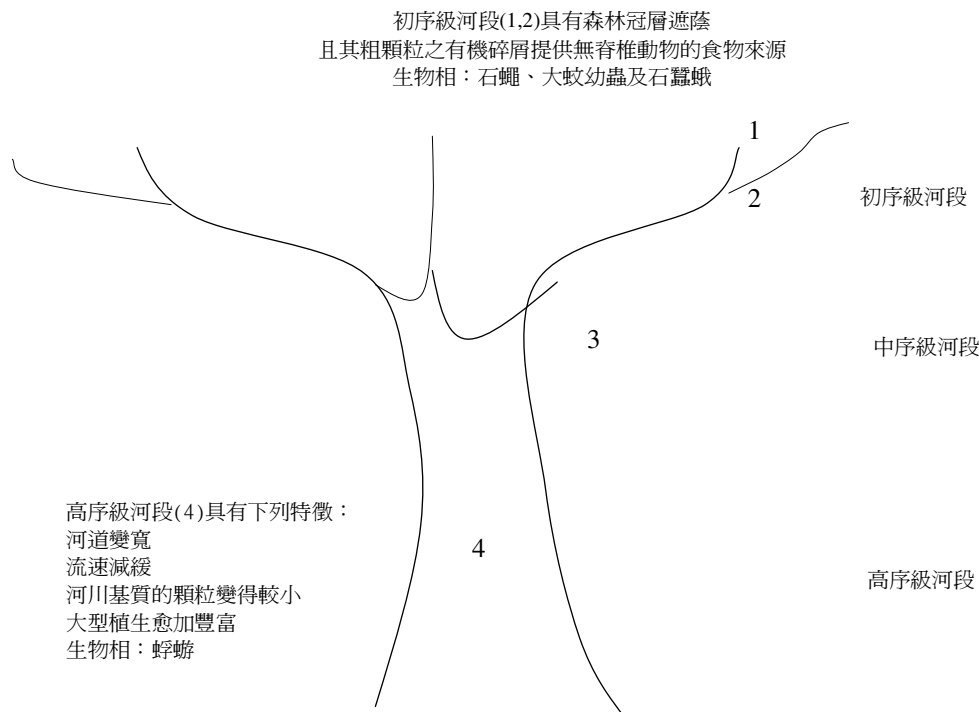


圖 1 縱向空間觀念：河川續動理論的特徵
(Vannote et al., 1980; Cushing, 1995; Stephan & Wyckera, 1996)

不同。針對亞洲地區河川續動觀念及洪泛脈動觀念之研究成果(Welcomme, 1979:317; Dudgeon, 1989; Fang, et al., 1993; Dudgeon, 1994; Irons et al., 1994; Ormerod et al., 1994; Wang et al., 1995; Wu, 1999; Dudgeon, 1999:830; Dudgeon, 2000; Wu & Kow, 2002)，與歐美研究成果之比較分析如下：

(一)河川續動觀念

道根(Dudgeon, 1989; 2000)認為，亞洲地區因為受到外在因素改變，溪流上游水棲生物碎食者比例明顯較歐美研究偏低。香港地區河川上游碎食者佔底棲動物(zobenthos)比例僅自 0.1%到 8.8%。道根解釋係認為上游河川缺乏森林庇蔭的關係，所以藉著覓食落葉來源的碎食底棲生物數量明顯較低。然而這種現象不僅僅存在於人口稠密的亞洲地區，在新幾內亞、尼泊爾也有這樣的現象(Dudgeon, 1994; Ormerod et al., 1994)。道根解釋亞洲地區河川上游林木落葉可能含有單寧酸等化學物質，口味較澀，導致碎食型底棲生物對此排斥，相對數量減少。此外，亞洲地區河川上游落葉碎屑分解的主要物理及化學因子，有賴於細菌、高溫及河川流力裂解作用(Irons et al., 1994)。劉瓊縉等人(2004)研究台灣哈盆溪流

域溪流，歸納影響河川溪流化學因子主要包括：1.大氣沉降、化學風化作用及海鹽飛沫，佔總變異量的 47%；2.植生影響因子，包括養分的吸收、淋洗及淋溶等，約總變異量的 14%；3.集水區的土壤及水文流力的影響，佔總變異量的 17%；4.其他因子，佔總變異量的 22%，其變異來源應包括有東北季風的吹襲、微氣候或其他生物作用的影響等。在亞洲季風區如台灣、香港等地，上游河川林木除了要與惡劣物候環境競爭(如海鹽飛沫、東北季風)以外；並且分泌單寧酸以對抗喜食林木枝葉皮屑之消費者(如陸域昆蟲等)啃食，以求得惡劣環境下的生存，這部分可解釋亞洲溪流生物相與歐美溪流生物相比比例不同之原因。

(二)洪泛脈動觀念

道根(2000)又蒐集亞洲地區案例，認為河川流域因受到亞洲季風因素，造成夏天雨季來臨，河流暴漲，淹沒沖積平原，形成魚類短暫的棲息環境，然而這種河川橫向(河川在雨季變寬、在旱季變窄)空間的變化，亦有縱向(生物相在上下游之間位移遷徙)空間的魚類生態變化趨勢。以越南湄公河為例，下游河川因受到旱季影響，水位下降；因

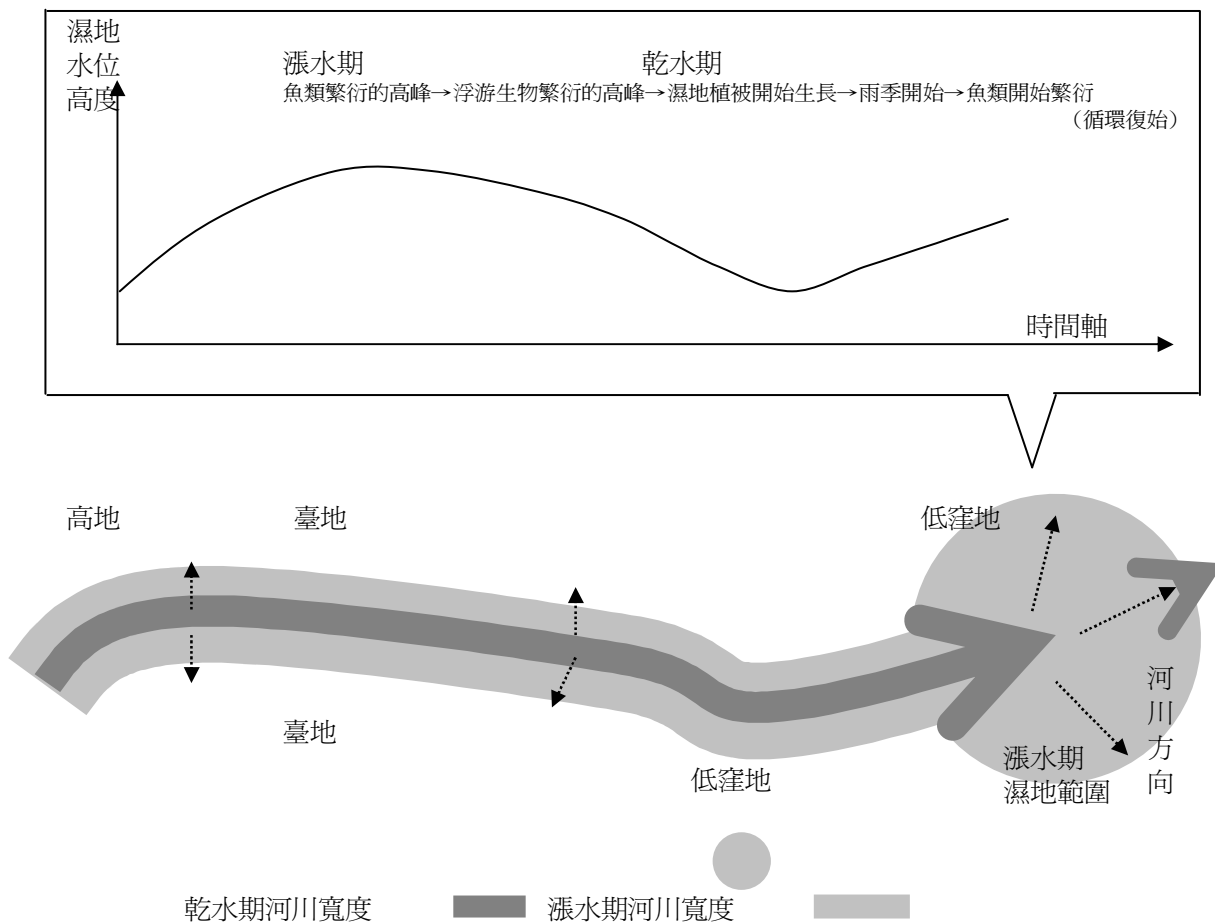


圖 2 時間/橫向空間觀念：河川濕地洪泛脈動觀念
(Junk et al., 1989; Ward, 1989; Zamora-Arroyo et al., 2001; Middleton, 2002)

上游溪流受到雨季影響，水位高漲，魚類受到吸引，開始向上游迴溯至原生棲地產卵(Welcomme, 1979:317)。在亞洲地區，大多數季風氣候之國家或地區(印度、蘇門答臘等)一年都有兩次河川泛濫及漲水季節，因此魚類有二次產卵現象；然而台灣魚類因生存環境關係，卻是列為一次產卵之特殊案例(Fang et al., 1993; Wang et al., 1995)。台灣山系河川因為受到颱風季節影響，一年有一次颱風季節漲水期，在颱風季節尚未來臨前，大甲溪魚類(如粗首鱨(*Zacco pachycephalus*))即進行產卵(Wang et al., 1995)；等到颱風季節造成水位高漲，大甲溪魚類(如粗首鱨、台灣石鱨(*Acrossocheilus paradoxus*))之仔稚數量增加；當冬季水位降低之後，仔稚魚數量減少，因為消費者減少，導致浮游生物及底棲藻類大量產生(Fang et al., 1993)，此節亦呼應洪泛脈動的生物相消長之基本概念(Ward, 1989)。

(三)第三種預測河川生物相的概念

河川續動及洪泛脈動觀念的基礎，是建立在河川本身特徵變化(例如落葉量、卵石大小或是河川漲落的週期)，上開變化的特徵擁有可預測之「時間」(洪泛脈動)/「空間」(河川續動)特性，然而在國際期刊(SCI)文獻中，台灣河川生態研究，絕少以上開概念進行空間/時間/生態相之實證預測研究，其中原因係台灣河川為高度人為干擾，如水污染造成生物相變化，而非地理/物理因子導致生物相之可預測性。換言之，這種變化並非自然續動或是洪泛脈動所能完全解釋，而是人為環境污染改變自然河川環境之結果。生態污染現象實證研究，源於 1960 年的海因斯(Hynes, 1960)，近年來以台灣為題之生物指標預測河川污染之研究，在國際期刊論文之發表尚屬成果豐碩，以下以藻類為例說明(Wu, 1999; Wu & Kow, 2002)，說明人為干擾河川污染之生物相研究案例。

臺灣約有三分之二的河川因都市或工業發展，受到中度或是重度汙染，以北部基隆河為例，因其流經臺北及基隆等都市環境，下游為臺灣河川汙染程度最高之河川之一，其溶氧量趨近於零(Wu, 1999; Chen, 2005)。以刮食者喜愛的附生藻類而言，不僅是河川續動倡議者所稱存在於河川之下游，事實上，因為台灣河川中、上游亦屬汙染區，附生藻類(可分為喜歡乾淨水質的藻類及可以忍受污濁水質的藻類)已經成為河川全線調查之生物相檢測汙染指標。吳(Wu, 1999)認為，曲殼藻屬(*Achnanthes*)、卵形藻屬(*Cocconeis*)、橋彎藻屬(*Cymbella*)，偏好生長於汙染程度低的水域環境；小環藻屬(*Cyclotella*)、直鏈藻屬(*Melosira*)以及菱形藻屬(*Nitzschia*)，屬於較為耐污的矽藻。前者越往汙染程度越高的基隆河下游，有數量逐漸偏低；後者越往汙染程度越高的下游，數量逐漸增加。此外，台灣南部的曾文溪，也有相同的趨勢，上游曲殼藻屬、卵形藻屬、橋彎藻屬豐富度較高，越接近下游小環藻屬、直鏈藻屬、菱形藻屬豐富度越高(Wu & Kow, 2002)。矽藻群落隨環境化學因子產生變化，隨著河川序級變化而有不同生物相，在族群分布與數量上，呈現上下游縱向空間演替，並形成生物分區(zonation)，亦有生物相續動的現象。以台灣作為實證之地區，生物相可作為河川上、中、下游水質汙染預測指標。然而此一現象原因，係因人為土地利用，產生家庭汙水與農業廢水的生態干擾(Wu, 1999; Wu & Kow, 2002)，而非僅為河川續動及洪泛脈動觀念所能解釋；因此，河川續動與洪泛脈動觀念在實務上的應用，需要進一步討論。

五、討論

關於河川續動與洪泛脈動觀念，係針對於河川續動與洪泛脈動之能量流及路徑關係而引起討論(Fisher et al., 2004)。靜水水域如湖泊及沼澤濕地，因水文變異不大，無須預測其動態物質和能量之間路徑變異關係；但是由於河川為縱向能量改變物質結構，河川續動與洪泛脈動觀念都用以預測流動水域及河灘地的物質變化，這種變化究竟因為什麼因素引起，有待學界就不同水文環境加以個案分析，並予以觀念整合，以為水域生物、地質和化學預測之依據。尤其台灣地處島嶼，究竟現行河川生態預測觀念，能給予學界什麼啟示分析？對於河川生態管理，亦有什麼實用性可言？針對這些國外流行的生態概念，是否可以藉以澄清理念，釐清目前台灣環境管理之困境？針對河川續動、洪泛脈動與台灣特殊水文環境研究結果，本研究試圖整理出下列對比簡表，以提出問題討論(如表 1)。

針對上開表解，以生態觀念應用於河川生態預測實務，經探討詮釋範圍(如自然及人為干擾河川濕地生物相等現象)及範疇(依不同尺度調查可推論之現象)，尚有下列四項問題有待釐清，其中包含：第一、河川研究之範疇應如何界定？第二、偶發性自然災變，造成實際預測之困難程度，應如何解決？第三、人為干擾造成生物

相預測困難，應如何解決？及第四、實際研究空間範圍與時間尺度跨距要多大，在統計上說明才精準無誤的問題等，分析如下：

(一)河川研究範疇應如何界定？

門諾等人認為河川是一個完整的生態系統，所以他們將注意力放在其河川邊界內的動態變異，研究範疇考慮河岸地區林冠相落葉能量輸入之三個來源：河川的初級生產力、當地陸域植被的有機物質及上游地區而來的能量，這些因子並未包含河川濕地相接處的影響範疇。康敏斯等人(Cummins et al., 1989)則將注意力放在河岸濕地的影響範疇，康敏斯等人認為河岸濕地的物種組成對預測河川縱向變異中物種變異具有影響力，物種組成的變異對河川濕地顆粒有機碎屑的改變具有重要影響。依加拿大莫瑟斯河、美國愛達荷州鮭河、巴西亞馬遜河、巴西巴拉那河等地的河川續動觀念的實驗設計，顯示河川續動觀念在一般河流域可行；但是在河灘地，由於受到河岸地區能量輸入的影響而無法證實其預測性(Sedell et al., 1989)。強克等人(Junk et al., 1989)認為河川濕地地區為一動態的生態系統，他們認為從上游地區而來的有機物質與從河岸地區而來的有機物質相較之下，其影響力為之遜色。因此，在熱帶地區，強克(Junk, 1999)認為河川的生物量主要來自河灘地，而非河川續動觀念所指的來自河川上游地區。在此討論中，河川續動研究因較為適合中小型河川的縱向解析；而河域濕地之地理剖面橫向研究，則可參考洪泛脈動研究觀點進行。

(二)偶發性災變與實際狀況之問題

河川續動觀念研究，在於缺乏對於生物群聚因偶發性災變因素，而準確預測隨機變異之能力(Johnson et al., 1995)。例如，當上游河岸的林冠因地理現象產生不足現象，或是因為火災、風災遭摧毀，或是遭伐除，導致日照增加，附生藻類也隨之增加，理所當然刮食者的數量也將增加，如缺乏林相之北歐山岳石南地形中流動的上游河川，其刮食性數量較高(Aagaard et al., 2004)；如前所述，亞洲地區上游河川也有刮食性數量較高的現象(Dudgeon, 2000)；此外，美國西部河川上游，由於並非森林山脈，而是岩壁沙漠為主的惡地，也有同樣之現象。

至於洪泛脈動預測也並非毫無缺點，此一觀念適用於熱帶大陸地區，對於森林地區水域濕地，洪泛預測較不準確。且洪泛之週期較短，其水位高低係自森林及河川之蒸發散量所主導，而非源於降雨量影響(Benke et al., 2000)。洪泛脈動主要問題在於在較小的河川其脈動週期無法預測，不同的洪泛水位、頻率、強度及植被間洪泛流動過程，有不同的變異性。因此，森林中游河川生物群聚樣式就需重新評估。此外，森林中自然災變，同時像是水位漲落，影響實際溪流生物分布，例如九二一地震在中部震災之後，台灣中部大甲溪溪流魚類群落產生變化(Chen et al., 2004)，原來魚類的棲息環境因地震(而非洪泛或水位漲落)產生位移，這些都是應用洪泛脈動預測時，需要考慮的實際狀況。

表 1 河川續動觀念與洪泛脈動觀念簡易表解

	河川續動觀念	洪泛脈動觀念	
最初理論基礎	河川縱向物理營力	河川橫向地理營力	
特色觀點	落葉、石礫大小及流速變化，導致上、中、下游河川生物相變化。	降雨、地勢高低、距河川遠近，導致河川、鄰近濕地及洪泛平原生物相變化。	
適用條件	河川形態	河川形態	漲水原因
	中緯度地區森林發源的中、小型河川	1.大型河流(如亞馬遜河及密西西比河)	雨季
		2.熱(副熱)帶地區及中緯度地區河川下游河段	雨季 颱風/季風(亞洲)
3.熱帶(副熱)帶地區及高山地區溪流河段		雨季 颱風/季風(亞洲)	
生物相運作機制	1、上游河川：生物相由溪畔植物落葉影響生物覓食來源。 2、中下游河川：生物相由河川水文物理原理(流力作用)及化學原理(光合作用)主導。	1.並不考慮上、中、下游河川之縱向距離生物相差異。 2.生物相差異考慮溪流河川水域之水量影響，其影響具有週期性改變。 3.漲水期：水域生物相影響原來陸域生物相。 4.枯水期：陸域(或是濕地)生物相影響原來水域生物相。	
詮釋範圍(河川濕地生物相)	少	多	
詮釋範圍(人為干擾河川濕地生物相)	少	少	

(三)人為干擾造成生物相預測困難

河川續動與洪泛脈動觀念均以自然法則為基礎，而不將人為影響因素考慮進去，這就造成了由於人為影響造成預測困難。雖然河川網絡可視為一縱向連結的系統，其下游的一些生態演進與上游有著相當程度的關聯性，但是仍有一些例外(Johnson et al., 1995)，大多數的案例主因係人為干擾使其產生不可預測性。例如島嶼生態系統，易受人為干擾之影響(Hughes, 2006)；人為排放廢污水，會造成河川續動中生物族群變異，造成縱向預測生物相的困難(Wu, 1999; Wu and Kow, 2002)。

在洪泛脈動觀念方面，河岸物種遷移、砍伐林冠運出、築壩攔水打斷了河川原始的連續性。當情況改變時，其預測的結果也隨之改變。再者，築堤防護和堤岸結構這些設施就阻斷了水體的流動。在此情況下，水流立即改道而受這些設施的妨礙而形成短暫的洪水狀態(Fang et al., 1993)。這樣的情形通常造成沉積物淤積，而使其失去原有水棲環境。因此洪泛脈動觀念不適用於受到堤岸結構設施改變其原有河道而與河岸濕地隔離的河川。因此，河川續動與洪泛脈動觀念對於人為干擾，若非完全改變水文生態狀況，應仍可具有預測河川生態系特質變化，惟應注意人為干擾之頻率、強度及干擾過程。

(四)空間與時間尺度多大才準確的爭議

在景觀學上的分析中，河川續動觀念為空間尺度的變異，而洪泛脈動觀念則屬於時間尺度的變異(Gage & Johnson, 1997; Rosi-Marshall & Bruce, 2002)。兩個觀念都有採樣過程中，空間與時間尺度多大才能精確預測的問題存在。原則上研究空間尺度應該越大，採樣點越多，時間跨度越大，測量分析及預測結果越準確。然而由於生態研究人力、時間及經費上的限制，許多研究並沒有採取「巨觀歷史」和「巨觀地理」的實驗態度來完成基礎實驗，導致河川生態學在「大地實驗室」中進行觀察及實驗會產生信度/效度上誤差。由於河川續動觀念不被視為時間尺度的變異，對於實驗者來說，實驗者終其一生，亦很難針對一條河川，進行數十年的採樣分析。因此，河川短暫的生物相改變，會導致實驗者僅經過短期的觀察，而混淆對長時間適應物種的演替及組成認知，甚至做出錯誤之判斷。河川經過幾十年甚至百年時間的洗禮，使得種類族群產生漸次改變而趨於穩定。實驗者卻因為一年、二年甚至數年短期的採樣，卻容易受到短暫出現生物表象的蒙蔽，不易察覺短期間河川中生物相僅是時間洪流下「偶遇的過客」。

此外，洪泛脈動觀念也有相似的問題。洪泛脈動強調

週期性，誠如佛教「成、住、壞、空」週期循環模式，在某些特殊時間與場合，因為颱風驟雨之不可預測性，特殊洪泛脈動也與理想化的洪泛脈動情形大相逕庭，導致當地水文、植被、魚類等生態相無法預測。又如洪水漲退時間亦是決定生物相存活之依據，洪水的脈動的時間太短，不足以讓魚類產卵及成長；當脈動時間太長，則會影響陸域植被的生長(Thorp & Delong, 1994)。此一大自然主宰的現象，恍若寓言中的「父子騎驢」中「父、子、路人」之間的矛盾選擇(The paradox of choice)關係。如果大自然有主宰者，到底主宰者是讓偶生濕地之水族生命繼續成長？還是讓陸化之陸域生命茁壯？還是考慮第三者：人類生命財產的安全？這都有賴考驗自然界主宰者的智慧。然而，依照治山防洪之傳統觀念，亦是考驗人類執政者在自然界「不為堯存、不為桀亡」之冷峻週期運作模式下，係依照道家自然模式進行「避洪/疏洪」？還是依據儒家模式「知其不可而為之」而採取鄰避式治水觀念之「辟洪/拒洪」？洪水無情，惟對水族有情，是否生態環境需要藉由人類不斷之試驗與操弄(manipulation)介入來代替「自然界的力」，藉以管理難以捉摸的生態環境？或是順應自然形式進行濕地自我設計(self-design)(Mitsch & Wilson, 1996)？這都有賴更深入的人文/自然哲學和生態管理關係探討。

六、河域濕地生態研究之管理

在臺灣的研究環境，想要藉由國外理論深入本土化的研究，以探討島內是否有類比的生態現象，將會面臨到研究上之挑戰，針對河域濕地生態研究，建議管理事項如下：

第一、了解台灣自然和人為干擾的競逐現象：誠如前述，人為堤防之構築、肥料濫用及家庭污水的排放，容易影響生態水文及養分之更替。在台灣，河川水道及灌溉池塘，常被改建為長期使用的渠道、堤堰、排水溝及水壩，造成水文的改變。此外，道路與建築物等都市發展因素，影響河川濕地與鄰近區域的地形變化。失去了洪泛脈動的影響，水位的波動就不再發生(Junk, 1989)，也不會有營養物質藉由洪泛時期，將其帶入內陸濕地，養分輸入影響初級生產力之條件。Keddy (1991)描述濕地植被帶(水生棲地、沼澤、草澤及灌木區)隨洪泛的波動的強度而增加其生長面積。由於洪泛退去後營養物質的不均勻分配，洪泛脈動會造成多同心圓(multi-core)的植被帶現象。中心區域會儲存較多的養分，周圍的棲地則較少；然而，若是養分的過度補充、長時間的洪泛、陸域物質的沉澱及高鹽度水分的輸入，則會極端地造成濕地區域植被單一化現象(Lugo & Snedaker, 1974; Thom, 1982)。

例如台北關渡地區沿淡水河及基隆河沿岸，原來堤防外是蘆葦(*Phragmites communis*)及荳荳鹹草(*Cyperus malaccensis*)的環境，現今為紅樹林棲地，從出海口及其鄰近濕地都長滿著紅樹林植被，造成原來鸕鷀、鷺鳥類數量減少，其餘生物之多樣性亦受到單一植被的影響。由於海水入侵、陸域濕地鹽化及陸化環境的演替，蘆葦則成為紅

樹林的演替物種(方及周, 2005)。此外，堤防內的關渡自然公園，同時受到水源不足、內陸水質(貴子坑溪、水磨坑溪)污染，陸域化植被(水燭(*Typha angustifolia*)、荳荳鹹草、巴拉草(*Brachiaria mutica*)→蘆葦→芒草(*Miscanthus floridulus*)的危機，原來荳荳鹹草、巴拉草、水燭的棲地，被蘆葦所取代。因為關渡自然公園(堤防內)及關渡自然保留區(堤防外)缺乏洪泛及淡水補充之自然擾動因子，濕地環境逐漸陸化及鹽化，造成生物多樣性逐漸降低。因此，建議將堤防及攔壩移除，以便引入週期性的洪泛來稀釋陸化、鹽化及優養化的濕地環境。適當的水文及養分的引入，營造河岸地中心區及周圍多樣性變化之棲地，植被也可根據洪泛脈動的時間及強度來預測。但是，關渡沿岸居住於行水區的居民是否會同意撤壩，這涉及社會人文、公共安全及人民私權因素，當撤壩造成民眾權益損害時，如何進行社會影響評估？此間學問即非自然科學研究者所能企及的。

第二、對台灣生態水文學研究建議：河川續動與洪泛脈動係為國外「生態水文學」及/或「水文生態學」(Eco-hydrology and/or Hydro-ecology)重要概念，兩者皆著重於了解水文/生態(生態/水文)之間的關聯性，這兩方面領域對於人為活動如何影響水文過程是重要的，為了解水文與生態之間的關聯性，以生態水文學的方式被用來評估生物與非生物環境因子間的相互影響，為近年來國際學界發展學術研究之目標。河川續動與洪泛脈動這兩個觀念源於自然過程，但對於人為干擾，仍然具有可預測河川生態體系特質及其變化的功能；但是針對台灣特殊的地域與人文環境，應特別注意地景利用的改變，影響水文及生態循環的量與質。

在此，本文係談論近代河域生態學之演進觀念，然而這些觀念不僅僅指的是一個概念，更應包容性地概括許多科學概念，藉以證明水域濕地環境在空間與時間尺度中，「河域生態學」是水文現象與生物動態研究的綜合科學，這種科學著重的是河川水文過程對生態系統分布，以及生物相與水流域所造成的影響。如今河域生態學其最主要的挑戰在於，該選用何種尺度以及如何測量生態水文的影響。尺度如何選用，如同一研究者對環境水文變因(即土壤濕度、滲透性、降雨量與河川逕流等)的測量頻率該如何拿捏一樣。尺度的問題依賴地景的異質性以及調查樣區的空間/時間的範圍。下列三項水文循環的原因，使得此問題更是棘手：(一)台灣水文現象瞬息萬變，監測不易；(二)台灣因經濟及都市範圍拓展及分割生態棲地，導致地形及生態現象碎裂，產生棲地不連續性；(三)測量儀器(即雨量計、濕度量測儀、湧泉與河水量測儀等)不足、政府公告標準檢驗方法(土壤及水文污染調查及檢驗)的改變及尺度範圍(地圖比例尺，例如 1904 年台灣堡圖運用 1/20,000 比例尺，1926 年台灣地形圖開始使用 1/25,000 比例尺)的改變，導致歷年測量及檢驗數據無法累加或比較。

在面對河川水源管理問題時，尺度範圍不符是最需要解決的問題，僅是根據一條或是數條河川調查，想要說明整條流域生態狀況，係犯了尺度擴張(scaling up)的錯誤；其

次，如何準確的測量是另一個問題。一般而言，結合數學模式與水文生態監測是預測流域生態的基礎。預測模式包括了一特定時期的水文系統。然而，大部分台灣本土水工模型及預測模式都太複雜化了，因為缺乏長期現場調查的生態數據，無法準確預測未來生態和水文相互作用之變化趨勢。這種水文生態預測內在的難題，與下述三項原因有關：(一)初期水文生態系統的不確定性；(二)水文生態系統中不確定的影響因子；(三)選用適當工程數學方式的困難。

在台灣進行水文生態研究，因為島嶼生態地域特殊，也會面對兩項環境之不確定因子，影響未來的預測準確性。例如：(一)環境不連續性；(二)環境協同作用(synergism)。由於地景利用改變時，水文循環的變化會造成環境不連續性。當自然與人為衝擊影響，造成地區性微氣候變化，使得降雨等水文循環變得難以預估。這種現象造成河域濕地植被及土壤分布之不連續性，影響濕地動物相。其次，兩個或數個環境因子共同造成的多重影響稱為「環境協同作用」，如水質水量保護區的點污染源排放(家庭污水)及非點污染源排放(汽機車廢氣、肥料氮磷排放、露營釣魚等污染)，造成水質保護區的累積性污染現象。環境協同作用為數個環境因子的共同影響，比單一影響總和還大。由於這些環境因子之間的因果關係難以了解，在台灣生態水文研究中，較少學者將焦點放在「環境協同作用」。然而，「協同作用」對水文循環的影響與傷害非常普遍，環境不連續性與環境協同作用，都應該視為造成環境衰竭的因素。這兩種因子，都是未來學者在進行依據國外學理探討台灣「生態水文」或「水文生態」，所要了解的現象。

七、結論與建議

河岸濕地地區為一動態且完整的功能性系統，這是由於河川內外因子共同反應出的現象。河川不是單一隔離的部份，而是縱向連結且與河岸濕地地區的關聯密不可分。1980年提出的河川續動觀念與1989年提出的洪泛脈動觀念係昔日創新之觀念。雖然今日仍存在其他水文生態的新概念，但整體而言，這兩個觀念仍可修正，以等待更多的挑戰。

河川續動觀念在全球各地的河川不斷被考驗，大部份的觀念架構是無庸置疑的。問題僅僅發生於其獨特的特徵與或人為干擾影響使其預測失準。例如門諾發展河川續動觀念，上中下游會出現可預測現象，例如上游碎食昆蟲必多，下游刮食昆蟲必多，這個現象在大河成立，小河如台灣的溪流不見得成立。這個預測，在美國東岸森林茂密的上游成立，在童山濯濯的美國西部上游河川未必成立。當這個空間觀念不能說明一切河川流域時，然後強克發展洪泛脈動觀念，以這個時間觀念，用一年洪水週期蔓延漲退的觀念，來預測河岸和河川中的昆蟲和濕生植物生存的現象。強克的觀念，是想補充門諾觀念的不足。可惜強克

觀念在大河河岸可以，大河流域的洪泛及溢淹區就不行，那是因為人為介入，如移除濕地、伐木、水壩建築干擾及影響河岸和河流之間營養和能量交換的關係。

因此，河川續動觀念可被視為監測河川健康程度的模式。物理化學因素的不當影響，將導致運用功群水生植物物種改善河川水質的努力計畫付諸東流。洪泛脈動觀念也在熱帶地區被考驗著，此一技術觀念也被引入許多以復育為目標的計畫中，如以間歇性洪水漫流，營造複層濕地植被區塊。脈動觀念已被視為復育濕地的中心觀念，但若未針對水文、生物、地質及化學總體因素考量，濕地復育目標不易達成(Fisher et al., 2004；行政院環境保護署水質保護處，2005)。總而言之，針對河川續動與洪泛脈動觀念連在大型河川生態系統中，對於管理河岸濕地地區的功能性有所裨益。在整合河域水文生態研究中，不同學科間之整合，更是有助於未來河域研究及管理，本文最後建議推動及更新研究項目如下：

(一)建立不同部門合作研究：建議科學家、環境規劃師與資源管理者之間進行良好的互動，藉以刺激出新的研究策略與管理模式解決方案，以解決河域水文生態的研究挑戰。

(二)擴大時間/空間尺度之研究：政府宜鼓勵及補助學界進行大尺度與長期的自然研究，將焦點放在如何了解空間與時間大尺度範圍的差異性，藉以了解河域水文生態環境。

(三)加強跨科技及學科之間的交互訓練：藉由不同學科之間研究協調、簡化與綜合規劃，將河域水文生態科學納入社會科學之管理，以進行城鄉實務規劃與設計的參考。

(四)增進測量技術的進步：藉由運用新的生態測量及管理技術，以增進河域生態及水文測量之信度與效度。

(五)增進數據的可用性：將測量方式及步驟的標準化，不同領域調查採用相同或同步的調查穿越線或是採樣點，並藉由地理資訊系統及網際網路交換資訊，可增進共享研究數據的可行性。

參考文獻

- 方偉達 周睿鈺
2005 〈濕地自我組織及其運用〉《中華飛羽》205:2-5，台北：中華民國野鳥學會。
- 行政院環境保護署水質保護處
2005 《河川水質淨化工法》台北：行政院環境保護署水質保護處。
- 賴明洲 薛怡珍 方偉達
2005 〈以生態系統服務功能探討濕地發展生態旅遊之潛

- 在效益》《雲嘉南濱海濕地永續發展研討會論文集》。(5)14-51，台南：雲嘉南濱海國家風景區管理處。
- 劉瓊霏 陳春雄 金恒鏞
2004 〈以主成份分析探討福山試驗林哈盆流域水化學的空間變異性〉《台灣林業科學》19(4):363-374。
- Aagaard, K., Solem J., Bongard, T. & Hanssen, O.
2004 “Studies of Aquatic Insects in the Atna River 1987 - 2002”, Hydrobiologia, 521:87-105.
- Bayley, P. B.
1991 “The Flood Pulse Advantage and the Restoration of River Floodplain Systems”, Regulated Rivers: Research and Management, 6:75-86.
- Benke, A. C., Chaubey, I., Ward, G. M. & Dunn, E. L.
2000 “Flood Pulse Dynamics of an Unregulated River Floodplain in the Southeastern U.S. Coastal Plain”, Ecology, 81(10):2730-2741.
- Beschta, R. L.
1991 “Stream Habitat Management for Fish in the Northwestern United States: The Role of Riparian Vegetation”, American Fisheries Society Symposium, 10: 53-58.
- Brinson, M. M., Swift, B. L., Plantico, R. C. & Barclay, J. S.
1981 Riparian Ecosystems: Their Ecology and Status. Kearneysville, WV: U. S. Fish and Wildlife Service.
- Chen, C.-S.
2005 “Ecological Risk Assessment for Aquatic Species Exposed to Contaminants in Keelung River, Taiwan”, Chemosphere, 61(8): 1142-1158.
- Chen, L.-H., Chu, K.C.-M. & Chiu, Y.-W.
2004 “Impacts of Natural Disturbance on Fish Communities in the Tachia River, Taiwan”, Hydrobiologia, 522:149-164.
- Cummins, K. W., Wilzbach, M. A., Gates, D. M., Perry, J. B. & Taliaferro, W. B.
1989 “Shredders and Riparian Vegetation”, Bioscience, 39:24-30.
- Cushing, C. E.
1994 “The Conception and Testing of the River Continuum Concept”, Bulletin of North American Benthological Society, 11:225-229.
- Cushing, B.
1995 “The River Continuum Concept: a Model to Explain the Distribution of Aquatic Species”, Trout Magazine, Spring 1995.
- Dudgeon, D.
1989 “The Influence of Riparian Vegetation on the Functional Organization of Four Hong Kong Stream Communities”, Hydrobiologia, 179:183-194.
1994 “The Influence of Riparian Vegetation on Macroinvertebrate Community Structure and Functional Organization in Six New Guinea Streams”, Hydrobiologia, 294:65-85.
1999 Tropical Asian Streams: Zoobenthos, Ecology and Conservation. Hong Kong: Hong Kong University Press.
2000 “The Ecology of Tropical Asian Rivers and Streams in Relation to Biodiversity Conservation”, Annual Review of Ecology and Systematics, 31:239-263.
- Downes, B. J., Lake, P. S. & Schreiber, E. S.
1993 “Spatial Variation in the Distribution of Stream Invertebrates: Implications of Patchiness for Models of Community Organization”, Freshwater Biology, 30:119-32.
- Fang, L.-S., Chen, I.-S., Yang, C.-H., Li, J.-J., Wang, J.-T. & Liu, M.-C.
1993 “The Fish Community of a High Mountain Stream in Taiwan and its Relation to Dam Design”, Environmental Biology of Fishes, 38:321-330.
- Fisher, S. G., Sponseller, R. A. & Heffernan, J. B.
2004 “Horizons in Stream Biogeochemistry: Flowpaths to Progress”, Ecology, 85(9): 2369-2379.
- France, R. L.
2002 Handbook of Water Sensitive Planning and Design. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Gage, S. H., & Johnson, L. B.
1997 “Landscape Approaches to the Analyses of Aquatic Ecosystems”, Freshwater Biology, 37:113-132.
- Heino, J. J., Parviainen, R., Paavola, M., Jehle, P. & Louhi, T. M.
2005 “Characterizing Macroinvertebrate Assemblage Structure in Relation to Stream Size and Tributary Position”, Hydrobiologia, 539: 121-130.

- Hynes, H. B. N.
 1960 The Biology of Polluted Waters. Liverpool, UK : Liverpool University Press.
 1972 The Ecology of Running Waters. Liverpool, UK: Liverpool University Press.
- Hughes, S.J.
 2006 “Temporal and Spatial Distribution Patterns of Larval Trichoptera in Madeiran Streams” , Hydrobiologia. 553: 27-41.
- Irons, J. G., Oswood, M. W., Stout, R. J. & Pringle, C.M.
 1994 “Latitudinal Patterns in Leaf Litter Breakdown: is Temperature Really Important?” , Freshwater Biology. 32:401-411.
- Johnson, B. L., Richardson, W. B. & Naimo, T. J.
 1995 “Past, Present, and Future Concepts in Large River Ecology” , Bioscience. 45(3):134-142.
- Junk, W. J.
 1999 “The Flood Pulse Concept of Large Rivers: Learning from the Tropics” , Archive for Hydrobiology. 115: 261-280.
- Junk, W. J., Bayley, P. B. & Sparks, R. E.
 1989 “The Flood Pulse Concept in River-floodplain Systems” , in: Proceedings of the International Large River Symposium. 110-127. ed. Dodge, D. P., Ottawa, Canada: Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences.
- Kaplan, L. A. & Newbold, J. D.
 2003 “The Role of Monomers in Stream Ecosystem Metabolism” , in: Aquatic Ecosystems: Interactivity of Dissolved Organic Matter. 97-119. eds. Findlay, S. E. G. & Sinsabaugh, R. L., San Diego, CA: Academic Press.
- Kaushik, N. K. & Hynes, H. B. N.
 1971 “Fate of Dead Leaves that Fall into Streams” , Archiv für Hydrobiologie. 68:465-515.
- Keddy, P. A.
 1991 “Biological Monitoring and Ecological Prediction: from Nature Reserve Management to National State of Environmental Indicators” , in: Biological Monitoring for Conservation. ed .Goldsmith, F. B., London, UK: Chapman & Hall.
- Lugo, A.E. & Snedaker, S.C.
 1974 “The Ecology of Mangroves” , Annual Review of Ecology and Systematics. 5:39-64.
- Middleton, B. A.
 2002 Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Minshall, G. W.
 1967 “Role of Allochthonous Detritus in Trophic Structure of a Woodland Springbrook Community” , Ecology. 48: 139-149.
- Minshall G. W., Cummins, K. W., Petersen, R. C., Cushing, C. E., Bruns, D. A., Sedell, J. R. & Vannote R. L.
 1985 “Developments in Stream Ecosystem Theory” , Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 42:1045-1055.
- Minshall, G. W., Petersen, R. C., Cummins, K. W., Bott, T. L., Sedell, J. R., Cushing , C. E. & Vannote, R. L.
 1983 “Interbiome Comparison of Stream Ecosystem Dynamics” , Ecological Monographs. 53:1-25.
- Mitsch, W.J. & Wilson, R.F.
 1996 “Improving the Success of Wetland Creation and Restoration with Know-how, Time, and Self-design” , Ecological Applications. 6(1):77-83.
- National Academy of Sciences.
 2002 Riparian Areas: Functions and Strategies for Management. Washington, D. C.: National Academy Press.
- Odum, E. P.
 1971 Fundamentals of Ecology. Philadelphia, PA: W. B. Saunders.
- Ormerod, S. J., Rundle, S. D., Wilkinson, S. M., Daly, G. P., Dale, K.M. & Juttner, I.
 1994 “Altitudinal Trends in the Diatoms, Bryophytes, Macroinvertebrates and Fish of a Nepalese River System” , Freshwater Biology. 32:309-322
- Poff, N. L. & Ward, J. V.
 1989 “Implications of Streamflow Variability and Predictability for Lotic Community Structure: A Regional Analysis of Streamflow Patterns” , Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 46:1805-1818.
- Rosi-Marshall, E. J. & Bruce, W. J.

- 2002 "Invertebrate Food Webs along a Stream Resource Gradient" , Freshwater Biology, 47:129-142.
- Sedell, J. R., Richey, J. E. & Swanson, F. J.
1989 "The River Continuum Concept: A Basis for the Expected Ecosystem Behavior of Very Large Rivers?" , Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 106:110-127.
- Stephan, U. & U. Wyhera.
1996 "Analysis of Flow Velocity Fluctuations in Different Macrophyte Banks in a Natural Open Channel" , Proceedings of Symposium Ecohydraulics 2000, Quebec, Canada.
- Thom, B. G.
1982 "Mangrove Ecology: A Geomorphic Perspective" , in: Mangrove Ecosystems in Australia: Structure, Function, and Management, 18-20. ed. Clough, B. F. Canberra, Australia: Australian National University Press.
- Thorp, J.H. & Delong, M. D.
1994 "The Riverine Productivity Model: A Heuristic View of Carbon Sources and Organic Processing in Large River Ecosystems" , Oikos, 70:305-308.
- Triska, F.J., Duff, J.H. & Avanzino, R. J.
1993 "Patterns of Hydrological Exchange and Nutrient Transformation in the Hyporheic Zone of a Gravel-bottom Stream: Examining Terrestrial-aquatic Linkages" , Freshwater Biology, 29: 259-274.
- U. S. Department of the Interior.
1991 Riparian-Wetland Initiative for the 1990' s. Washington D.C.: Bureau of Land Management.
1994 Riparian Area Management: Process for Assessing Proper Functioning Condition for Lentic Riparian-Wetland Areas. Washington D.C.: Bureau of Land Management.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. & Cushing, C. E.
1980 "The River Continuum Concept" , Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37:130-137.
- Wang, J. T., Liu, M. C. & Fang, L. S.
1995 "The Reproductive Biology of an Endemic Cyprinid, *Zacco pachycephalus*, in Taiwan" , Environmental Biology of Fisheries, 43:135 - 43.
- Ward, J. V.
1989 "The Four Dimensional Natures of Lotic Ecosystems" , Journal of the North American Benthological Society, 8:2-8.
- Welcomme, R. L.
1979 Fisheries Ecology of Floodplain Rivers. London, UK: Longman.
- Wu, J. T.
1999 "A Generic Index of Diatom Assemblages as Bioindicator of Pollution in the Keelung River of Taiwan" , Hydrobiologia, 397:79-87.
- Wu, J. T. & Kow, L. T.
2002 "Applicability of a Generic Index for Diatom Assemblages to Monitor Pollution in the Tropical River Tsanwun, Taiwan" , Journal of Applied Phycology, 14: 63-69.
- Zamora-Arroyo, F., Nagler, P. L., Briggs, M., Radtke, D., Rodriguez, H., Garcia, J. Valdes, C., Huete, A., & Glenn, E. P.
2001 "Regeneration of Native Trees in Response to Flood Releases from the United States into the Delta of the Colorado River, Mexico" , Journal of Arid Environments, 49:49-64.

