



第二十五卷第一期 2023.09

ISSN 1606-2604

行政院新聞局局版

北市誌第2415號

發行人：賴建信

發行所：中華水資源管理學會

總編輯：陳清田

副總編輯：張煜權

出版委員會委員：王藝峰、林國華

毛振泰、李丁來

張良正、林鎮洋

陳榮松、陳憲宗

林昆賢、陳榮福

陳春宏、簡昭群

本期企劃：陳春宏、廖桂賢

張良正、林國華

會址：408204台中市南屯區

黎明路二段501號地下室

電話：(04) 22501383

22501642

傳真電話：(04) 22501608

電子信箱：cwrms.org@gmail.com

會刊下載網址：



目錄

特別企劃

因應氣候變遷下水患治理的國際趨勢

趙榮台博士

1

專論

專題1 台灣推動水患治理自然解方的挑戰與建議

廖桂賢教授、鄒明軒秘書長

11

專題2 漫談河川復育與自然解方

楊佳寧博士

22

專題3 運用於海岸防護的自然解方

董東璟教授、廖征暉碩士、童正安正工程司

31

專題4 都市雨水逕流治理的自然解方

劉柏宏主持人

43

因應氣候變遷下水患治理的國際趨勢

台灣河溪網協會顧問/趙榮台

三十多年前，我和研究室的同仁在哈盆溪（南勢溪上游，目前的哈盆自然保留區內）調查野生動物。當時山區交通不便，沒有住宿，我們必須徒步帶著工具、營帳進入到調查地區，到了目的地就近在溪邊紮營過夜。有一次與我們同行的地質學家看到我們在溪床紮營，立刻提出警告，他說山區經常發生山洪暴發，山洪一來，我們會連人帶營帳一起被沖走。那是我第一次知道山洪暴發的危害！立刻從善如流，改在溪畔位置較高的地方紮營。

山洪暴發就是暴洪 (pluvial or flash flood)，又稱突發、驟發的洪泛。洪泛的類別有多種看法，蘇黎世保險公司簡單、實際地把洪泛分為暴洪、河流洪泛 (fluvial floods, river floods) 及稱為風暴潮的海岸洪泛 (coastal floods)。此外，暴洪、河流洪泛、都市洪泛及海岸洪泛可能同時發生，形成複合洪泛 (compound flooding)。

洪泛可能成災，例如台灣 1959 年的八七水災、2009 年的八八水災都曾造成民眾死亡和巨大損失，我們也用「洪水猛獸」來形容極大的禍害，因此一般人對洪泛都有負面的觀感。其實，洪泛就是溢出河道、淹沒河道周遭洪泛平原 (flood plain)¹ 的水或是沖入內陸的潮水，洪泛是水循環的一部分、是偶爾或定期地（暫時）淹沒土地的水、是河流發生的自然現象，也是重要的水文事件。世界上最早的文明（例如埃及、印度）都出現在洪泛平原，洪泛帶來的大量泥沙和養分，成為農業發展的搖籃。

不過，隨著河岸的農業發展，洪泛平原也吸引了更多聚居的人口，逐漸演變成洪泛和人類的衝突，而為了保障人類的生命財產，各式各樣的防洪措施（例如建堤、築壩）於焉而生。然而，即使科技大幅進展，防洪結構的數量、規模越來越大，人類終究不能阻止洪泛的發生，反倒在氣候變遷的推波助瀾下，洪災（水患）不斷加劇。

誠如美國地理學家懷特 (Gilbert F. White) 1942 年的名言：「洪泛是『上帝的作為』，但洪泛造成的損失大多是『人類的作為』」 (Floods are 'acts of God', but flood losses are largely acts of man)。懷特的意思是說，洪泛不必然會引發災害，災害通常是因為人類管理威脅的方式不當，營造了成災的條件，因此洪泛導致的災難是人類自己造成的。石門水庫建設委員會總工程師徐世大教授在台大授課時也持同樣的看

¹ 即高中地理課本中的「氾濫平原」，不是台灣多本碩士論文和研究計畫誤用的「高灘地」。

法：很多水災都是人與水爭地造成的，也就是說在不該開發營造的地方去建。可惜懷特的洞見過了半個世紀，才逐漸納入已開發國家的水患治理政策。

一、水患治理觀念的改變

1993 年美國中西部的大洪水 (Great Flood of 1993) 就影響的範圍、嚴重程度、持續時間而言，是史無前例的水文-氣象事件 (hydro-meteorological events)，造成 150-200 億美元的損失。現代化的堤防不但沒有擋住洪泛，潰堤反而助長了災害。更多人呼籲都市與鄉鎮應該建在洪泛平原之外²，讓密西西比河有奔騰、泛濫的機會。洪泛平原的沃土或可在非汛期的時節耕作，但不能有永久建物。這樣洪泛才能週期性地淹沒土地、滋養土壤和野生動物所需的溼地，而住在高地的人類，也才可能安居樂業、高枕無憂。

(一) 專有名詞的轉變

自古以來人類就採用各種控制洪泛 (flood control，或作防汛、防洪) 的做法，以期降低危害。類似控制洪泛的其他用語還包括防禦洪泛 (flood defence，為保護地區免受洪泛侵襲而建造的水壩、人工渠道等結構) 和洪泛防護 (flood protection，保護人員、關鍵基礎設施和環境免於洪泛的侵襲)。這些觀點和做法基本上是企圖防守、對抗洪泛，使洪泛的「攻勢」受挫，用近年的語彙來說，就是減緩 (mitigate) 洪泛以保障人類免於災害。

然而，洪泛從來沒有攻打人類的意圖，河道的容量一旦不夠，多餘的水就必須另謀出路、四處泛濫。在體認難以「控制」洪泛之後，就出現了洪泛管理 (flood management，減少洪水風險和破壞的技術和策略) 和水患管理 (洪泛危害管理，flood hazard management) 的概念、策略。水患管理認定洪泛是一種自然的危害 (natural hazard，或作隱患)，危害的程度依洪泛嚴重的程度、洪泛行為 (範圍、深度、速度、洪水上升速度、持續時間等)、地形及應急管理而定。這樣的轉變標誌著人類管理的對象不再是洪泛，而是洪泛可能引發的災害了。

洪泛危害管理的概念很快就融入風險管理 (risk management) 的領域，由於和洪災相關的金融、保險、管理、法律責任都有風險管理的概念和應用，21 世紀的前後，洪泛風險管理 (flood risk management, FRM) 也順勢受到廣泛的接受。晚近出現的承洪韌性

² 卡特總統曾於 1977 年頒布第 11988 號行政命令，規範洪泛平原的開發，降低佔用、改造洪泛平原造成的不利影響，不過該命令沒有規範已經開發的洪泛平原，以至於整體效果不彰。

(flood resilience) 則是指在洪泛發生期間將損害降至最低，降低人員和基礎設施的風險，並確保足夠的空間讓洪泛宣洩、讓河流自我調整。承洪韌性也有洪泛後的復原比過去更便宜，更快速的意思，同時讓水資源不受人為介入的負面影響，能夠自行復原。這種人與洪泛共存的觀點和做法，用近年的語彙來說，就是調適 (adapt, 適應) 洪泛風險。

不斷出現的新名詞，固然是科學界的老毛病，多少反映了觀念、認知以及實務上的轉變，而這些轉變也可以從學術期刊和研討會名稱的演變得到印證。

(二) 學術期刊³名稱的轉變

1949 年至 1964 年出版的《防洪期刊》(*Flood Control Journal*) 於 1964 年更名為《水資源期刊》(*Water Resources Journal*)，而後於 2004 年停刊。1987 年開始發行的《整治的河流：研究與管理》(*Regulated Rivers: Research and Management*)，關心人為整治（包括大壩、攔水堰、渠道化及引水（調水）的影響，然而這本期刊自 2002 年（第 18 卷）起改成《河流研究與應用》(*River Research and Applications*)，不再以河川整治為重。

2000 年出版第一卷的《洪泛工程》(*Journal of Flood Engineering*) 強調防洪工程、技術及應用，但才出版 8 卷（2008 年）就無以為繼。同一時期，反映洪泛管理多面向考量和做法的期刊卻蓬勃發展，例如 2003 年開始發行的《流域管理國際期刊》(*International Journal of River Basin Management*) 著重發表有關河流和洪泛平原（包括集水區、濕地和河口系統）綜合管理各個面向的研究。2008 年起開始發行的《洪泛風險管理期刊》(*Journal of Flood Risk Management*) 著重氣候變遷和調適；長期規劃和決策；預防、保護和整備；預測、預警和應急管理；風險認知、韌性及復原；民眾參與、政策及和立法等。最後，2010 年才出刊的《災害風險科學國際期刊》(*International Journal of Disaster Risk Science, IJDRS*) 則以促進風險綜合治理研究、綜合災害風險科學為目的，顯示災害（包括洪災）多學門、跨領域知識、技術的殷切需求。

(三) 國際洪泛管理大會 (International Conference on Flood Management) 名稱或主題的轉變

國際洪泛管理大會是一個重要的國際研討會，科學家、工程師、

³ 本文所討論的期刊是為呈現趨勢，因此並不完整。例如包括洪泛論文、專輯(特刊)，但不以洪泛議題為主的《水國際期刊》(*Water International*) 和《水》(*Water*) 期刊都沒有列入。

業者、政府官員、決策者等從 2000 年開始每隔二或三年齊聚一堂，討論與洪泛相關的知識、技術、案例。表一羅列歷年的會議名稱和主題，以呈現國際上對洪泛災害觀念、認知的轉變。

2000 年第一屆國際防洪專題研討會 (The 1st International Symposium on Flood Defence, ISFD) 強調的是防洪措施，第二屆專題研討會延續抵禦洪泛的思維，第三屆研討會的名稱不變，但加入副標題「洪泛：從防禦到管理」，浮現了防洪思維的轉變。此外，研討會開始強調災害為社會事件的觀點，揭櫫「與洪泛共存」(living with flood) 的原則，也就是要改變、調整因應洪泛的策略、規劃和措施。

2008 年的第四屆研討會指出減少洪泛風險是水資源管理的一個環節，強調以公平合理的方式擴大水資源管理產生的經濟和社會福祉，同時不損及重要系統的永續性：洪泛管理不再侷限於工程作為，而將視野擴及更廣泛的社會、生態及經濟面向。巧合的是，這一年正是《洪泛工程》期刊停刊的一年。

2011 年的第五屆會議名稱正式用「洪泛管理」取代先前幾屆的「洪泛防禦」，而專題研討會 (Symposium) 也改成大會 (Conference)，換句話說，研討會從單一議題 (防洪工程) 擴大為牽涉廣泛的多議題。第六、七屆研討會主題加入了氣候變遷、全球變遷的議題，第八、九屆研討會的主題轉向推動整全的、綜合的、跨學科的做法，從科學、技術、社會和經濟的角度全面討論洪泛相關議題。水患管理的概念先從脆弱性和風險導向轉變為風險和韌性導向，再轉變為韌性和永續性的整合，這個轉變的趨勢仍在繼續發展。

表一、國際洪泛管理大會 (International Conference on Flood Management) 歷屆舉辦的時間、地點、名稱或主題

屆	年份	地點	名稱或主題
1	2000	德國卡塞爾 (Kassel)	第一屆國際防洪專題研討會 (The 1st International Symposium on Flood Defence) (ISFD1)
2	2002	中國北京	第二屆國際防洪專題研討會 (ISFD2)
3	2005	荷蘭奈梅亨 (Nijmegen)	第三屆國際防洪專題研討會「洪泛：從防禦到管理」 (ISFD3: "Floods, from Defence to Management")
4	2008	加拿大多倫多 (Toronto)	第四屆國際防洪專題研討會「管理洪泛風險、可靠度及脆弱度」 (ISFD4: "Managing Flood Risk, Reliability & Vulnerability")

5	2011	日本東京	第五屆國際洪泛管理大會「洪泛：從風險到機會」 (The 5th International Conference on Flood Management (ICFM5) “Floods: From Risk to Opportunity”)
6	2014	巴西聖保羅 (São Paulo)	第六屆國際洪泛管理大會「變動環境中的洪泛」 (ICFM6 “Floods in a Changing Environment”)
7	2017	英國里茲 (Leeds)	第六屆國際洪泛管理大會「針對全球變遷的韌性—未雨綢繆」 (ICFM7 “Resilience to Global Changes-Anticipating the Unexpected”)
8	2021	線上會議	第七屆國際洪泛管理大會「以提高韌性降低風險」 (ICFM8 “Lowering Risk by Increasing Resilience”)
9	2023	日本筑波	第八屆國際洪泛管理大會「所有人的流域災害韌性和永續性 – 新冠病毒疫情後的綜合洪泛管理」 (ICFM9 “River Basin Disaster Resilience and Sustainability by All - Integrated Flood Management in the Post COVID-19 Era”)

二、水患治理做法的改變

(一) 從災害風險管理的角度看水患

根據聯合國降低災害風險辦公室 (UNDRR, 2019 年前稱之為 UNISDR) 的數據，過去幾十年世界各地的災害數量不斷增加，其中 90% 的災害與氣候和水文-氣象事件有關。

風險管理的基本公式 (災害風險 = (潛在的) 危害 (hazard) + 脆弱度(vulnerability) + 暴露度 (exposure)) 告訴我們，要避免新的災害風險、降低現有風險並提高韌性，必須分析、評估、處理公式右邊的三項要素 -- 危害、脆弱度及暴露度，水患風險的管理當然也不例外。不過，聯合國降低災害風險辦公室指出，評估水患風險三項要素的成熟度嚴重失衡：危害的建模(modelling) 非常先進，暴露度和脆弱度分析卻相對落後。

洪泛不必然會引發災害，災害是社會、政治及經濟背景下的產物，是缺乏系統性風險分析和降低風險行動所造成的結果。聯合國降低災害風險辦公室的數據顯示，預防災害的投資比災後復健的花費便宜 15 倍，60%的災害發生在貧困、暴露和整備不足的社區，受害的人數可能比準備充分、韌性高的社區高出 300 倍。因此，降低水患風險必須在災害風險公式的所有項目採取行動：減少人員、資產和環境的脆弱度和對可能威脅的暴露度來降低風險，就這兩項要素而言，惟有透過廣泛的跨部門合作，才有可能避免水患或大幅

減輕水患的衝擊。

(二) 利用生態系服務降低災害風險

健康、管理完善的生態系可以產出多元的服務，包括調節洪泛、降低災害風險。例如，維持健康、完整的河流洪泛平原所提供的服務主要包括降低洪水流量、持續漁業生產力、地下水補給和水的過濾。然而，直到二十多年前，全球才開始關注生態系在降低災害風險 (Disaster Risk Reduction, DRR) 上所扮演的重要角色。「仙台減災綱領」(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, 2015-2030) 將強化生態系的永續利用與經營列為優先推動的項目，這樣看來，降低洪災風險的要務首當維持、改善河流生態系的健康。

生態系劣化是災害風險的主要驅動力之一。環境劣化會造成甚至加劇災害 (例如，毀林會增加崩塌的風險)，而災害則會造成環境劣化或惡化，對環境產生負面的影響。反之，健康、狀況良好的生態系不但可以降低災害風險，還能提升社區的韌性 (災後的復原)，無論森林、沙丘、珊瑚礁還是濕地，這些自然的生態系都可以幫助我們降低災害風險，而利用生態系服務來減少災害風險，就是所謂的生態防減災 (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction, Eco-DRR)。

劣化的生態系加劇了氣候變遷的負面影響，而氣候變遷又導致生態系益發劣化，這個惡性循環的結果是生態系的能力弱化，無法繼續為人類提供重要的服務與利益，從而增加人口面對災害的脆弱度。因此，氣候變遷的影響需要考量整全的 (holistic)、綜合的 (integrated) 風險管理做法，並評估健康生態系對加強社區抗災能力的好處。

(三) 生態防減災：減少災害風險的自然解方

生態防減災的定義是「為達到永續發展與韌性的目標，可持續地經營管理、保育並修復 (restore，或作復育) 生態系，以減少災害風險。」，實際的行動從地景修復、濕地修復到都市綠化、災前和災後管理，不一而足。近年來氣候變遷的影響日益擴大，災害風險也日益升高，因此生態防減災的核心原則還包括氣候風險管理和氣候變遷調適，這個做法和「基於生態系的調適」(Ecosystem-based Adaptation，利用生物多樣性和生態系服務作為總體調適策略的一部分，幫助人們調適氣候變遷的不利影響) 有許多共同點，生態防減災和基於生態系的調適都強調環境管理，都和永續的土地管理、生態系的保護和修復有關。生態防減災要解決的是氣候和非氣候因

素造成的危害，而基於生態系的調適要解決的是氣候造成的危害和調適長期氣候變遷及其影響。這兩種做法 (approach，或作取徑) 都歸類為自然解方 (Nature-based Solution, NbS)⁴。

在風險管理的脈絡下，國際社會 (尤其是歐盟) 強烈鼓吹將自然解方 (又稱綠色的解方) 納入減少災害風險和調適氣候變遷的在地策略。自然解方進入風險管理的轉捩點是 2015 年，也就是《2015-2030 年仙台減災綱領》(SFDRR)、《聯合國氣候變遷綱要公約》(UNFCCC) 的《巴黎協定》、《聯合國 2030 年永續發展方案》(2030 年議程) 等全球協議通過的那一年。這些國際協議一致同意我們的未來取決於能否恢復健康的自然系統，也就是為我們提供糧食、乾淨水，清潔空氣及穩定氣候的自然系統。

此外，自然解方還能幫助《生物多樣性公約》、《拉姆薩濕地公約》及《聯合國抗荒漠化公約》等國際公約的締約國履行其公約義務，並為調適氣候變遷的規劃做出貢獻。目前國際上有關生物多樣性、生態系修復及調適氣候變遷等的倡議、方案都強調採用自然解方，以期在 2050 年時達成人類與自然和諧相處的遠大目標。

(四) 一些已開發國家的做法和經驗

荷蘭應該是最早落實自然解方，尤其是生態防減災的國家了。荷蘭早就注意到單一部門做法 (sectoral approach) 的缺陷，因為它使民眾普遍認為洪泛極其危險，甚至不惜一切代價與之抗衡，實際上，多部門的協作、維持動態的河流系統才是減少風險的核心。

經過幾個世紀的洪泛平原開墾、運河化 (渠道化) 及 堤壩建設，荷蘭政府逐漸體認用灰色基礎設施控制河流的傳統做法已不足以應付日益增高的洪泛風險。1993 年和 1995 年的洪災最為明顯，高水位迫使萊茵河 (Rhine) 和默茲河 (Meuse) 沿岸 10 萬人遷移。按照氣候變遷、海平面上升和土壤沉降的趨勢，預計峰值流量還會增加，加固堤防的成本和風險都太高，必須改弦易轍。

在一些小規模先驅計畫的啟發下，荷蘭發展出新的做法：恢復河流自然的流量動態 (natural flow dynamics)，並恢復洪泛平原儲存水、調節水的能力。這些做法終於使「還地於河方案」(Room for the River) 成形，於 2007 年獲得荷蘭政府的批准。方案在四條河流的 39 個地點執行生態系修復措施，例如清空、降低先前的洪泛平原，堤防後撤、降低丁壩、營造分流用的側渠道等，這些都是恢復自然、

⁴ 自然解方有 12 種做法 (IUCN 2016)，包括本文提到的生態防減災、基於生態系的調適、基於生態系的海岸防護、綠色基礎設施以及台灣熟知的生態工程 (ecological engineering) 等做法。

修復生態系的做法。2015 年完成的修復計畫降低了萊茵河、默茲河和艾瑟爾河 (IJssel) 沿岸 400 萬人的洪泛風險。

在德國，2002 年 8 月破紀錄的降水造成易北河 (Elbe) 和多瑙河 (Danube) 洪泛和多處潰堤，導致 21 人死亡、財損 116 億歐元，是迄今為止德國損失最慘重的自然災害事件。其實，早在 1993 年和 1995 年萊茵河沿岸發生洪泛之後，德國聯邦州和聯邦政府水問題工作組 (LAWA) 就提出了綜合的洪泛風險管理。然而，這些新的思維和準則並沒有充分轉化為行動。2002 年 8 月的洪泛引發了立法改革，例如《歐洲洪泛指令》和《德國聯邦水法》修正案，從而強化綜合的洪泛風險管理，尤其是預防災損。2013 年 6 月德國發生 60 年來最大的洪泛，雖然再次成災，但因為將近十年的洪泛風險管理改革，總損失 (60 至 80 億歐元) 卻遠低於 2002 年。這樣的成效增加了德國政府的信心，乃加速轉向更全面的綜合洪泛風險管理系統，摒棄過去完全以技術為導向的洪泛保護概念，考慮非結構性措施，盡量減少洪水的不利影響，並定期調查諸如氣候變遷、土地利用改變、經濟發展或人口變化等風險驅動因素以及由這些變化所產生的風險，重新評估減少風險的策略和進程，並持續與所有權益關係人的對話。

英國 (特別是英格蘭) 從 1990 年代就從「防禦洪泛」轉向「洪泛風險管理」。「讓地給水」(Making space for water) 的觀念在 21 世紀初期已逐漸成為主流。政府部門越來越重視軟工程 (soft engineering，以自然 (非人工結構) 的做法管理海岸)、生態過程、土地利用規劃及消洪技術搭配的策略 (例如重新造林 reforestation)，同時和民眾、私人企業、非政府組織及其他治理機構合作，以落實洪泛風險管理。

梅迪梅里 (海岸) 管理調整計畫 (Medmerry Managed Realignment Scheme) 是英國最知名的自然解方。梅迪梅里的海堤切斷了海岸和內陸的銜接、養分的循環，而海岸侵蝕則增加了海平面上升帶來的洪泛風險，同時造成潮間帶和泥灘棲地的大量減少，因此採取基於生態系的海岸防護 (Ecosystem-based coastal defenses) 做法，營造新的濕地 (鹽沼)、拆除並後撤海堤的管理調整 (河流、河口或海岸防護的重新配置規劃)。這樣不但避免了沿海地區淹水，銜接了海岸和內陸，同時恢復了潮間帶和泥灘棲地。

2013-14 年的冬天是英國過去 50 年來暴風雨最大和最潮濕的冬天。2008 年同等規模的暴風雨造成了 600 萬英鎊的損失，而 2013-14 年卻沒有絲毫損失。洪泛風險明顯降低，加上野生動物棲地擴大、

觀光旅遊明顯成長等的連帶效益⁵ (co-benefit)，證明基於生態系的海岸防護十分成功。

美國在過了 21 世紀之後才開始大力推動自然解方。2005 年卡崔娜颶風 (Hurricane Katrina) 襲捲美國路易士安那州和密西西比州海岸，海岸洪泛、河流洪泛加上多處堤防潰決，造成一千多人死亡，1250 億美金損失，紐奧良市更淪為水鄉澤國，無家可歸者無以數計。這個美國歷史上損失最慘重的風暴之一迫使工程師、決策者的思維從防禦洪泛、洪泛防護轉向降低洪泛風險。

全球最大的公立工程、設計、營造機構——美國陸軍工程軍⁶ (USACE) 在卡崔娜颶風之後，在海岸防禦的措施中將自然的特色⁷ (natural features)、基於自然的特色⁸ (natural-based features)、非結構的做法⁹ (non-structural approaches) 與結構的做法 (structural approaches) 並列，並於 2010 年啟動「與自然同工的倡議」(Engineering With Nature (EWN) Initiative)，他們的操作經驗顯示自然解方成本低、效益高，還有許多連帶效益。

卡崔娜颶風 10 年之後的 2015 年，歐巴馬總統第 13690 行政命令要求建立聯邦洪泛風險管理標準 (Federal Flood Risk Management Standard, FFRMS)，以靈活的管理標準架構，提高因應洪泛的韌性，並保存洪泛平原的自然價值。歐巴馬政府也強調保護和修復濕地、珊瑚礁、牡蠣礁、離岸沙洲島等海岸「綠色基礎設施」既能緩衝波浪能、減少侵蝕、提供生態系服務，又有助於保護海岸、強化韌性，因此要求聯邦部會深化自然解方。

拜登政府在去 (2022) 年公布美國的自然解方路線圖，其中五項策略行動的第一項就包括經營管理洪泛平原的自然解方。美國國會通過 1 兆 2000 億美元的《基礎設施投資和就業法案》與《降低通貨膨脹法案》預計徵收的 8,000 億美元有相當的比例會投資在各類自然解方，包括生態防減災、基於生態系的調適及綠色基礎設施等。

三、尾聲

⁵ 非計畫主目標的其他效益。

⁶ 首長為司令兼總工程師，官拜三星中將軍長，其下有八個常駐師 (Division)，分別由兩星少將師長統率，但全軍 98% 為文職人員 (civilian employee)。台灣習稱為美國陸軍工兵團。

⁷ 透過自然物理過程逐漸演變的既有資源；包括珊瑚礁、離岸沙洲島 (barrier islands)、沙丘、海灘、濕地及海岸林。

⁸ 模仿自然特色的工程做法，例如透過工程手段修復濕地和離岸沙洲島，以減少波浪能。

⁹ 包括土地利用和其他政策、管制的做法，減少以有害的方式進行開發，或確保建物的設計更禁得起洪泛和侵蝕。

我看過一篇「今日不留餘地，明日山窮水盡」的文章，內容是談作人的道理：留人寬綽，於己寬綽；與人方便，與己方便。做人處事留餘地，才不致走上絕路。人與人之間應該留餘地，人與自然之間何嘗不是如此？荷蘭的還地於河、英國的讓地給水及美國修訂洪泛平原經營管理規定的精神正是給河留餘地——讓河流擁有自己的空間、步調，恢復河流生態系正常的過程和運作。人類與自然停止戰爭、重修舊好，自然會減輕水患、造福人類。反之，人類如果繼續掠奪自然，不懂得留餘地給自然，山窮水盡或不遠矣！

台灣推動水患治理自然解方的挑戰與建議

臺北大學都市計劃研究所教授、台灣河溪網協會理事長/廖桂賢

台灣河溪網協會秘書長/鄒明軒

一、前言

超越單純的生態保育考量，「自然解方」(nature-based solution) 進一步利用生態系服務 (ecosystem services) 來解決社會挑戰，將人類福祉與生態多樣性視為相輔相成，而非彼此互斥的目標。當前國際政界與學界已形成高度共識，認為自然解方是因應氣候變遷的重要取徑 (Seddon et al., 2020; Cook-Patton et al., 2021; Girardin et al., 2021; IPCC, 2022b)。國內於二〇二二年三月公布的「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略」以及第三期「國家氣候變遷調適行動方案」，亦將自然解方納入為重要策略之一¹。順應自然、低碳排的環境治理已是國內外必然趨勢，台灣的水患治理領域亦無法置身事外。

國內水患治理從二〇〇六年起施行八年 1160 億的「易淹水地區水患治理計畫」，二〇一四年起施行六年 660 億的「流域綜合治理計畫」，以及二〇一六年起在「前瞻基礎建設—水環境建設」下推出八年 1104 億的「縣市管河川及區域排水整體改善計畫」，近二十年間中央政府光是以特別預算編列的水患治理經費，就高達三千億，且治理水患的方式不脫「工程手段」(structural measures)，亦即傳統防洪排水工程，例如堤防、護岸、橋樑改建、排水閘門等以束水與強化排水效率為主的河川整治工程。這些工程手段固然可以顯著降低淹水頻率，有一定的減災效果，然而「副作用」卻不少，包括造成河川生態劣化、河相沖淤失衡、失去親水美景等社會功能、帶來安全假象削減承洪韌性、以及增加碳排減少碳匯等。

為因應氣候變遷挑戰、減少工程手段副作用、並回應民眾漸漸增加之生態意識，國內的水患治理有必要開始強化「非工程手段」(non-structural measures)，並進一步推動自然解方。

二、何謂水患治理之自然解方？

¹ (1) 臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明：

https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=FD76ECBAE77D9811；

(2) 國家永續發展委員會第 54 次工作會議討論案二—國家氣候變遷調適行動方案(112-116 年)

雖然自然解方為新名詞，但歐美應用同樣概念於水患治理已行之有年。其中最為完整成熟的是在蘇格蘭已推動近四十年的「自然式洪水管理」(Natural Flood Management) 政策，強調順應自然水文與河相，以復育與強化河川自然形態與特性等措施，來管理洪水的源頭與流路；相關做法包括集水區及洪泛平原造林、重建河川與洪泛平原連結、修復河川蜿蜒與粗糙度等 (SEPA, 2016)。英國於二〇〇五年推出的「給水空間」(Making Space for Water) 計畫，以及荷蘭於二〇〇七年推出的「還地於河」(Room for the River) 計畫等，都可說是自然式洪水管理概念的具體落實。

結合自然式洪水管理與國際自然保育聯盟 (IUCN) 的定義，本文定義水患治理之自然解方為：著眼流域尺度，透過保護、復育、師法水域生態系及流域之自然水文作用與自然形態，來減少災害之宏觀水患治理手段，涵蓋工程本身與後續維護管理。

水患治理自然解方涵蓋以下兩大策略：其一，盡可能恢復流域自然水文循環，包括截流、入滲、蒸發散、窪蓄等水文作用，從源頭減少雨水逕流；台灣可推動的做法包括增加植物覆蓋、移除不必要之硬鋪面、已人工化之高灘地（洪氾平原復育）進行生態復育以強化滯蓄洪功能、恢復堤內濕地滯蓄洪功能、利用農地與魚塭滯洪、公園綠地與其它開放空間增加滯蓄洪功能等。其二，恢復自然河川形態，透過擴大河川廊道空間以減少下游洪水量或延遲洪峰，透過恢復粗糙度以減輕水勢、減緩水流衝擊；相關做法包括還地於河（並進行洪氾平原復育）、濱溪帶復育、恢復自然河相（包括適度保留河道中的倒木與漂流木）等。

水患治理自然解方需對生態「增益」，因此不包括傳統抵禦或破壞生態之防洪排水工程。此外，自然解方仰賴自然元素，因此也不包括以人為設施為主之滯蓄洪措施，例如建築筏基滯洪與其它形式之地下滯洪池。

三、國內推動現況

主責水患治理的中央政府部門經濟部水利署，於民國一一〇年開始推動「中央管流域整體改善與調適計畫」(以下簡稱流域調適計畫)，在執行策略中明確提及「擺脫以往傳統灰色工程的河川治理思維，並以管理治理並重模式，採 NbS (Nature-Based Solution) 概念，以融

合自然為本的治水思維」(水利署 2020: 47)，可算是台灣最早明確將自然解方納入政策文件中之政策。

該計畫以水道風險、土地洪氾風險、藍綠網絡保育、水岸縫合等四大規劃主軸，預計完成二十四條中央管河川及二條跨直轄市、縣(市)河川之整體改善調適規劃。然而，根據該計畫核定本所示，高達77.12%的經費(六年633.9億元)仍預計用於基礎設施防護、橋樑與農田水利設施配合改建、海岸防護整建、建造物整建改善等。顯然，流域調適計畫仍未擺脫傳統灰色工程，嚴重排擠逕流分擔、在地滯洪、河川環境管理、水漾環境等非工程面向，難以創造應用自然解方的空間。

另一方面，主責山坡地範圍治山防災及河川界點以上野溪整治之行政院農業委員會水土保持局(以下簡稱水保局)，也於民國一一年起針對「具水砂運移機能退化或棲地改善等需求」共七處集水區，試辦自然解方。然試辦經驗顯示，因各執行團隊對自然解方內涵理解不同，部分試辦案缺乏宏觀地景尺度考量、缺乏對自然過程的充分理解，因而將自然解方視作單純的生態保育而無關水土保持問題之解決，甚至誤解自然解方僅是為「對生態影響較小」之工法。

水利署與水保局願意走出傳統防洪治水工程，嘗試新觀念，推動納入自然解方之計畫，值得鼓勵。然而，目前相關工作的推動仍面臨諸多挑戰。本文作者基於參與相關計畫審查或討論、以及與相關從業人員互動經驗，歸納以下挑戰。

四、當前挑戰

當前推動水患治理自然解方所面臨之挑戰，可分為執行、權責、制度、觀念等層面的限制。

(一) 執行層面之限制

1. 工具箱缺乏多元的非工程手段

水患治理除了工程手段，也包括非工程手段，例如土地利用管制(例如洪氾平原開發管制)與耐淹建築、自然解方等。非工程手段在「水患風險管理」(flood risk management)與災害韌性的概念中，扮演重要角色。然而，過去台灣之水患治理高度仰賴工程手段，非工程手段之應用限縮於防災預警、避難疏散等，屬

於災害管理四階段（減緩、整備、救災、重建）中災害已形成之後端措施；甚至，僅是作為堤防或護岸興建完成前的之過渡措施。而最重要、最前端的「減緩」(mitigation，亦即避免淹水釀災)，全然欠缺非工程手段。

在我國河川治理計畫中，雖然依據《河川治理規劃標準作業參考手冊》及「中央管河川水道治理計畫線及用地範圍線局部修正作業注意事項」附件 2，非工程措施可包括避災建築、洪災保險；配合措施包括洪水到達區域之土地利用管制、拆遷安置等，然而實務上因涉及跨單位配合而往往流於建議性質，配合成效不彰且法律效力不足³。

近年水利署推動「逕流分擔」與「出流管制」，表示水患治理的「減緩」階段已開始納入非工程手段。然而，逕流分擔受限於地方政府低度配合意願，至今推動困難；而出流管制僅是抑制新開發案新增的逕流，無助於減少既有的水患風險。而水利署針對農地推動之「在地滯洪」，目前仍處於初期試辦階段，設定一公頃補助一萬元至二萬元，且須自行負擔田埂加高加固及後續復舊費用⁴，效果尚有待進一步觀察。

要能運用自然解方，必先減少對工程手段之依賴，然目前相關部門因長年過度仰賴工程手段，以工程專業訓練為主之水患治理專業「工具箱」中嚴重欠缺非工程工具，可說是推動自然解方的先天不足。

2. 現行治理計畫之執行壓力

我國河川與區域排水之水患治理，主要依據《河川管理辦法》及《排水管理辦法》分別訂定河川治理計畫與區域排水治理計畫，透過設定保護標準，以計畫洪水位劃定治理線並擬定治理措施，計畫內容包括治理基本方針、水道治理計畫、河川治理措施及其他配合措施。雖然上述之「治理」相關手段並未排除非工程手段，但現有之治理計畫高度仰賴堤防、護岸等工程手段，非工程手段僅被視為完成治理前之過渡手段，阻礙施作自然解方的可能性。

² 附件二—水道治理計畫線及用地範圍線局部修正作業注意事項。

³ 參考監察院—民國九十三年敏督利颱風造成陳有蘭溪沿岸居民生命及財產損失之糾正案文
<https://cybsbox.cy.gov.tw/CYBSBoxSSL/edoc/download/34870>

⁴ 參考「經濟部水利署暨所屬機關辦理在地滯洪獎勵及補償作業要點」。

若要積極推動自解解方，原則上尚未依據治理計畫施作或有河防建造物重複受災之河段，若仍有保護標的者，應優先考量非工程手段，包括自然解方。然而根據觀察，第一線的河川局在執行流域調適計畫時，因承受已公告治理計畫中所規劃工程之執行壓力，難以大膽參採上述原則。

3. 治理計畫配合措施章節指導作用不足

仔細檢視《河川治理規劃標準作業參考手冊》中治理計畫工作項目，其中所謂的「配合措施」，包含「計畫洪水到達區域土地利用」、「都市計畫及區域計畫配合」、「中上游流域水土保持保育治理措施」、「生態維護或保育之配合措施」、「環境營造之配合措施」、「河川維護管理注意事項」等，其實留有採用非工程手段、甚至自然解方的空間，然而實務上多為形式與原則性建議。

以「宜蘭河水系支流大湖溪治理計畫（尚德橋至逸仙橋段）第一次修正」為例，針對計畫水道以外之洪水到達區域土地利用，僅提及：「保持農業或綠地等低度使用，如為建築等使用，應有耐水性之保護措施，並應有完善之排水設施以維安全」；針對都市計畫及區域計畫配合，除了提及應配合治理計畫劃設河川區、水利用地以外，僅另外提到主支流交界區域應保留適當土地、設置蓄洪池。由於這些配合措施缺乏充分法定效力及時程要求，因而指導作用不足。

4. 缺乏決策層級更明確堅定的支持

上述治理計畫之執行壓力，並非沒有轉圜餘地，端視決策層級的態度。在公務體系中，任何政策之落實皆需要明確之政治意志(political will)。若欲積極推動「融合以自然為本的治水思維」，相關部門之決策層級長官需要對下展現更明確且堅定的政策態度與指示，包括改變治理計畫基本原則、積極與土地規劃與管理部門跨部會協調合作、提升非工程手段與管理配套工具之重要性、開展河川治理計畫通盤檢討、檢討治理率的管考壓力等。唯有決策層級明確展現對自然解方之支持，為第一線工作者開拓出創新與實驗的空間，才得以鬆綁傳統工程方案的執行壓力。

5. 行政管理缺乏跨專業協作支持條件

除此之外，政策溝通、採購設計、品質督導、績效考核、計畫管理等行政管理措施，是任何機關推出新興政策計畫時，能否有效落實的關鍵。以水利署流域調適計畫為例，在資訊公開方面增設各流域調適規劃之專案網站，加上借助大小溝通平台設置，一定程度促進對外及跨單位溝通。然而，各流域為期兩年的調適計畫委辦案，一年經費至多 300 至 400 萬元，且需完成流域整體課題盤點、改善與調適策略研擬、辦理十數場溝通會議，並提出「流域整體改善與調適規劃總報告」及「水道與土地洪氾風險」、「藍綠網絡保育」、「水岸縫合」三分項報告。大量繁雜工作下，委辦廠商難以深入探討各項課題，並聚焦提出自然解方。除此之外，部分流域調適計畫之跨專業協作團隊量能不足、缺乏空間規劃或生態專業加入，且缺乏對計畫之評價機制，未能從行政管理上表達政治意志、形塑從計畫中相互學習的良性競爭。

(二) 權責層面之限制：水土截然二分的土地使用

為滿足與河爭地之開發需求，傳統防洪排水工程以築堤束水、加速排水等違背河川自然運行方式減災。有鑒於傳統工程治理方式帶來的種種問題，水患治理的自然解方本質上與防洪排水工程背後思維背道而馳，力求尊重河川自然運行，強調還地於河、現地處理、減緩水勢；因此，自然解方精髓可歸納為「順應而為、善用自然」。例如，在外水的治理上，自然解方必須透過容許現有河道外、本就屬於河川「固有領域」的土地氾濫、侵蝕、堆積，才可以減少下游或周遭淹水的機率。換句話說，自然解方需要土地，若沒有空間規劃與土地管理部門在事權上的配合，將難以落實自然解方。

中央管河川依據計畫洪水量，水道旁一定範圍之土地(灘地)均已納入水利署擁有管轄權之「河川區域」。然而，堤內之土地，即便過去曾是河川自然溢淹或擺盪範圍，在空間規劃與土地利用上均排除淹水考量。而區域排水則無所謂「河川區域」可言，每每積淹水事件發生後，在民眾與民代要求下，進一步強化防洪整治工程。

而河川界點以上野溪，治理措施著重排水、固床護坡之工程手段，因不屬《水利法》及《河川管理辦法》所認定的河川，未能劃訂一面積範圍來治理，無法擁有如「河川區域」般之「野溪

區域」，而僅能依照《水土保持法》、《非都市土地使用管制規則》、各目的事業主管法規等，由土地管理單位審核野溪周邊土地利用及水土保持計畫。

過往，若需在河川區域外建造滯洪池，均是透過徵收土地、變更土地使用之方式為之，換句話說，給「水」用的地就不能有其它用途。今日，結合休閒功能之「多功能滯洪池」雖然漸趨普遍，但台灣的土地利用思維中，水土仍然截然二分，住宅、商業、農業等土地利用仍欠缺「與洪水共存」之多元利用模式。若水患治理之責任仍完全落在不具備空間規劃與土地使用管理事權的水利、水保部門，就不可能期待事權侷限於河道和河川區、以工程為導向的部門可落實自然解方。

(三) 制度層面之限制

目前，依據「政府公共建設計畫先期作業實施要點」，行政院國家發展委員會（以下簡稱國發會）於核定各機關推動之實質建設計畫，皆須符合經常門不得超過資本門之二分之一的規定，另外亦要求「各年度公共建設計畫經常門經費總額，仍應以不超過當年度公共建設計畫總經費百分之二十為限」⁵。其中經常門是指各部會公務運作所需的一般基本需求，包括人事費、業務費、事務費等；資本門則包括設備採購、營建工程、車輛、土地、房屋建築等。

由國發會與主計總處決定的經常門、資本門比例限制，造成各部會多以公共工程爭取預算，致使公共工程浮濫，缺乏非工程措施所需之人事業務、維護管理等經常門經費，於此同時由於公共設施漸增，機關每年例行預算卻難以增加，造成維護管理經費嚴重短缺。有研究指出「此項制度的確使經、資門支出無法合理配合，影響資源分配」（吳中書、李顯峰，2006）。我國水患治理長久以來亦深受資本門及經常門的劃分制度所影響，問題仍有待檢討突破。

(四) 觀念與文化層面之限制

如前述，自然解方之「順勢而為」在於尊重自然運行，還給

⁵ 參考「政府公共建設計畫先期作業實施要點」：

https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=E48273C119CFE3B1

河川原本的洪氾平原讓其自由溢淹，讓流域中本就相對低窪、易積水的區域作為滯蓄洪區。如此作法有賴民眾理解：積淹水本乃正常現象。

台灣長年以工程手段劇烈改造河川溪流，有效降低淹水與侵蝕頻率，帶給民眾穩定環境與便利生活。然而，政府完成治水工程後往往以「徹底解決水患問題」宣揚政績，並且以「不淹水」為政策目標（例如前瞻水環境建設中之「水與安全」），使得民眾再也無法接受任何積淹水情事，即便積淹水不造成災損，仍抱持負面刻板印象，視為不正常、不該發生的「水災」；而若發生災損，則一味怪罪政府未做好防洪排水工作。而為滿足選民，地方民意代表在競選及服務時，常以爭取防洪排水工程為政績，挾民意對相關部門「勒索」，凌駕水利水保專業判斷。此外，在房地產價格高居不下、土地炒作已是全民運動的台灣，防洪排水工程實質上已成為「開發工具」，施作之主要目的為允許更高強度之開發，而非保護現有居民，臺北市社子島之開發計畫，即為一例。

上述種種觀念與文化層面之因素，使得台灣持續投注大量經費於防洪排水工程。當民眾認定居住環境必不能淹水、水患治理必需要防洪排水工程，就會難以理解非工程手段，亦可能會難以接受似乎看不對任何「建設」或設施的自然解方。

五、建議

如何克服挑戰，需深入討論。然限於篇幅，此處我們僅拋磚引玉，初步提出以下幾點可努力的方向：

（一）推動修法

台灣河川之治理主要依據《水利法》與《河川管理辦法》，前者著重規範河川資源之取用、河川區域之管制、河道防護、防災治理等面向；後者雖於條文中提及參酌自然景觀及生態保育，卻並未就河川生態健康有任何具體規範。

台灣欲推動水患治理自然解方，藉由修復河川自然功能與形態來面對氣候變遷的挑戰，應先檢討《水利法》子法規中不利於河溪生態的規定，如河川區域種植規定（限制河畔林復育方案）、水權登記審查作業要點（限制水權檢討）等。此外，亦需有更完

善之機制整合目前分散於各部會的河川流域相關事權，包括水質改善、生態保育、土砂管理、水源涵養、野溪治理、集水區土地利用管理等工作。

(二) 推動河川環境管理計畫，強化河川區域之保育功能

延續上述建議，針對河川治理計畫涵蓋不足之管理與配合措施，水利署其實有一項具法律效力之工具：「河川環境管理計畫」，乃依據《河川管理辦法》擬定綜合該河川水系之水質水量、自然保育、土地利用等管理目標，將河川區域內（甚至擴及流域範圍）土地，依其適用性質劃設分區予以管理。水利署河川環境管理政策推動至今，雖已完成多條中央管河川環境管理規劃，但仍尚待核定實施。

此外，依照「全國國土計畫」揭示的國土功能分區劃設原則，「國土保育地區」劃設條件之一為「符合國土保育性質，或屬於水資源開發、流域跨區域治理之水系或經公告之水道」，目前是以公告河川區域線作為劃設之基準⁶。現有以計畫洪水位、搭配堤防施設所劃設的河川區域，雖已具備一定的防洪功能，但受堤防束縮的河川空間，可能因過往治理規劃缺乏河相觀點，河川長期深槽化使能量無法均勻消散，沖淤失衡而增加構造物受損風險（楊佳寧、郭鎮維，2020），在反覆工程施作維管需求下，也不利於河川生態系的健康發展。

為回應現況下的河川區域在國土計畫中擔當國土保育之功能，因應目前高灘地遊憩利用、水砂資源取用、生態保育、河相復育等面向衝突漸增，有必要儘速透過包容並尊重多元功能/價值之河川環境管理計畫之落實，來開創自然解方應用之空間。

(三) 「河川廊道」納入國土計畫考量

如前文所述，自然解方之落實需要土地，因此國土計畫需要納入可容許恢復河川自然過程之機制。我們建議，長期可考量將「河川廊道」實質概念納入國土計畫。河川廊道可理解為「河川發育所需空間」，其空間範圍之劃定，應交叉考量歷史河川廊道範圍、未來變動範圍、主要堆積範圍、溢淹範圍等（楊佳寧、郭鎮

⁶ 見《國土功能分區及分類與使用地劃設作業手冊》表 3-3。

維，2020)。台灣河川變動性高，因此河川廊道之空間範圍很可能比現行之河川區域大得許多，但並不代表以土地徵收方式擴大現有的法定河川區域，而是增加相關政策工具，讓現行河川區域以外、屬於河川廊道範圍內之土地可以在颱風豪雨季節容許自然作用發生，包括氾濫、侵蝕、堆積等。

將河川廊道概念納入國土計畫，不僅可將其河川支流與中上游野溪也納入相同的管理體系，也可藉河溪生態系視角重新修訂相關使用規則，尋求兼顧防災、生物多樣性、生態系服務之治理(governance)，找回環境治理秩序。

六、參考文獻

1. Cook-Patton SC, Drever CR, Griscom BW, Hamrick K, Hardman H, Kroeger T, Pacheco P, Raghav S, Stevenson M, Webb C, Yeo S, Ellis PW. 2021. Protect manage and then restore lands for climate mitigation. *Nature Climate Change* 11: 1027-1034.
2. Girardin CJ, Jenkins S, Seddon N, Allen M, Lewis S, Wheeler CE, Griscom BW, Malhi Y. 2021. Nature-based solutions can help cool the planet—if we act now. *Nature* 593: 191-194.
3. IPCC. 2022b *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, P. R. Shukla et al., Eds. Cambridge University Press.
4. Seddon N, Chausson , Berry P, Girardin CAJ, Smith A, Turner B. 2020. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions B* 375: 20190120.
5. SEPA (Scottish Environment Protection Agency). 2016. *Natural Flood Management Handbook*.
6. 吳中書、李顯峰、楊子菡、郭昱瑩。2006。因應經濟轉型及環境變遷，政府預算經常、資本門重新劃分之研究。行政院經建會研究報告。

7. 經濟部水利署。2020。中央管流域整體改善與調適計畫（110~115 年）。
8. 經濟部水利署第四河川局。2012。河川治理規劃標準作業參考手冊（核定本）。
9. 經濟部水利署。2016。蘭陽溪水系宜蘭河支流大湖溪治理計畫（尚德橋至逸仙橋段）（第一次修正）。
10. 楊佳寧、郭鎮維。2020。台灣沖積河川廊道界定手法初探。中華水土保持學報, 51(4):159-168。

漫談河川復育與自然解方

中興工程顧問股份有限公司/楊佳寧

關鍵字：河川復育、自然解方

一、口號快速代謝的時代

每隔一陣子，國際間就會出現一個環保的新口號。對了，「環保」大概是元老級的樸實口號，就.....環保呀！然後是永續，永續的概念衍生出永續發展目標 SDG，還有企業必須談的 ESG、CSR，然後是生態系服務 ESs，還有綠色基礎建設 GI、自然防減災 Eco-DRR，近期是淨零排放 Net-zero，當然還有自然解方 NbS。

你會發現，這些詞大都有英文縮寫，你剛聽到時都會愣一下，然後就得趕快 Google，跟著用縮寫，還得注意，b 是小寫喔！而那些沒有縮寫的，是本土口號，像是節能減碳、循環經濟、海綿城市，但概念多半是歐美來的。三年前還很夯且同樣值得追求的自然防減災、綠色基礎建設，今年拿來當會議或專刊主題，好像就過時了。口號代謝的速度越來越快，算不算是一種浪費？有沒有人人在回收它們？

就個人的啟蒙過程而言，最觸動我的概念是永續，因為那意味著長遠的生存，個體可以消失，但透過某些作為，可以幫助人類、生物們及地球持續存在。取用與回饋、各種流動之間有著平衡與循環，因此生生不息。好耶，那就朝這方向行動吧！幾十年前的我以為，就這樣而已。

但，口號一個一個出來了，卻沒有人告訴我，前一個做到什麼地步？成效如何？有什麼難行之處？為什麼我們需要下一個口號？或許它們強調不同的行動面向，蘊含不同的量化方法，但對我而言，都沒有離開永續的範疇。每個口號都很有道理，我的疑問只是，我們真的需要那些披著英文縮寫的新口號嗎？是誰在推動？為什麼需要這樣推陳出新？

這些疑問，在今年初「動物行為暨生態研討會」的直播中，無意間獲得了解答，那是中研院盧倩儀博士的演講，「我的自然不是你的解方」(盧倩儀，2023)。我同意她所言，自然解方的概念沒有人會反對，但當它變成了專有名詞，而推動者(排碳大戶、國際銀行，及受前二者資助的「保育大戶」)只是不斷推出響亮的新口號，來遮掩自身持續破壞環境的負面行徑，就有相當大的問題。

另一方面，在某些領域，如果環保先進國已經大致達成了舊口號的要求，需要下一個目標，新口號就很必要了。那麼在台灣，口號又是怎麼代謝的呢？我個人的觀察是，環保或保育的推手們也知道，這些口號背後的核心精神並沒有變，要做的事都一樣，而台灣許多面向的環保還未體制化，難以正規常態地推動，因此國際間每一波有道理的新口號，便被視為推動終極目標的助力。但對於並非以保育為業務的公務機關來說，一波波的新口號也可能製造混亂，教人分心。但如果撇開口號本身，只看它的本質，我們或許能看清前進的方向。

二、自然解方的高標準

講到自然解方，最常被引用的是國際自然保護聯盟(IUCN)給予 NbS 的定義。這有許多中譯版，我把它翻成：「保育、復育、永續管理生態系的行動，透過滾動檢討，有效解決社會挑戰，且同時照顧人類與生物的福祉。」這是個沒有人會反對的定義。這裡的社會挑戰，雖然只列七點，但已十分包羅萬象：氣候變遷調適、降低災害風險、社會經濟發展、維持人類健康、確保糧食、確保水資源、環境劣化與生物多樣性喪失。

再來是 IUCN 提出的八項 NbS 全球標準，同樣有許多版本，我的解讀如下表。

空間或實體設計 (乙方主導)	體制設計 (甲方主導)
1. 解決迫切的社會挑戰	5. 決策經過充分的參與和培力

2. 能在對的尺度跨域整合	6. 取捨之際維持公義
3. 增進生物多樣性及生態系的健全	7. 具備反饋機制
4. 考慮長期外部成本後經濟可行	8. 永續且主流化

仔細想想，如果這 8 個指標都要滿足才算 NbS，那真是高標準。

前 4 項屬於「空間或實體設計」，需要強大的專業者。從工程構造物、建築到城鄉地景的規劃設計，這些概念對實務工作者並不陌生，但都不容易做到。以第 1 項來說，業主各有任務屬性，從其本位來看，在手問題都是迫切該解決的問題，至於何者較迫切，大概是預算分配者說了算。

第 2 項，是過往「好設計」的正字標記，也就是能超越原本專業或機關任務的框架，從更寬廣的角度指認問題，使解答畢其功於一役。這表示除了執行團隊要夠專業，機關也得有骨氣，願意多做一點才行。

第 3 項的概念很簡單，但要有證據說生物多樣性增加了，需要事前事後完整的生態調查與量化分析，這立即把執行時間拉長了。

第 4 項使傳統的益本比、單價分析都不合格，而且即便導入環境會計，重點是要考慮到多長期、多外部？正因為長期、外部成本難有公認的量化方法，益本比計算大都淪為好看的數字。

後 4 項屬於「體制設計」，需要強大的管理者。也就是說，主導者從乙方逐漸轉成甲方。其中第 5 項近年在台灣甚受重視，幾乎什麼計畫都有工作坊、說明會、協調會、平台會議。如果主辦方的預算期程設想週到，執行方深入社區經營，是有機會達成充分參與。但參與不可能無限上綱，培力(培養知識力和品格力)則可能是提升公民素養的漫漫長路。

第 6、7 項難度更上層樓。許多議題在方案執行後，需要多年時間累積成本效益的證據，方能判定對各方的實際影響，繼而調整做法，進一步維護公平正義。而在這期間，如何與各方利害關係人保持理性互動，如何破解民粹

主義與受害者情結，靈活應對，堅韌不拔地讓對的事情持續下去，都是一大挑戰。這絕對已超過單一計畫的生命週期，如果一位公務員的生涯中，能辦成幾件這樣的美事，就算他沒在體制內受到升等加給的禮遇，我由衷為他戴上鑲滿寶石的冠冕。

至於第 8 項，那個在某計畫裡終於實現的自然解方，必須能永續，而且變成主流的行動……哇，時空尺度整個拉大了！在台灣要讓一個口號主流化，透過主流媒體和千千萬萬自媒體勤奮的小編們，或許只要幾天的功夫。但要讓一個真正的自然解方在體制內推展起來，那可不只是甲方、乙方共同努力就足夠的；那需要公務員的長官的長官也投入，多個機關可能得調整預算分配；需要學界良知挺身而出，許多跨域對話得大量發生；需要立法者的推波助瀾，有一連串的法規要改。產業的樣貌會變，人們的生活習慣也會變。如果一個自然解方能一步步走到第 8 點，典範轉移就發生了。

雖然在實務上困難重重，這 8 個指標仍是個恢宏的藍圖，是通往永續的路徑，大概夠人類追求一個世紀。它顯然包含了許多過往口號的理念，但關鍵仍是行動。因此，我擁戴自然解方的口號、定義與指標，希望它一世紀都不過時，徹底獲得實踐，且在那之前，沒有別的口號或縮寫再來轉移我們的注意力！

三、河川復育的萌芽與成長

另一方面，河川復育不是專有名詞，你大概不會看到有人把 stream restoration 變大寫或縮寫。「復育」一詞有個直白的意思，即「恢復到原本健康的狀態」。這件事在各地的萌芽過程不同，但通常是專業與草根力量長期灌溉的成果，沒有哪個國際組織在大張旗鼓地推動。

例如 1960 年代，德國一位懂植物又懂水的水利工程師 Wolf Begemann，研究了各種植物的根系特性與強度，發展出多種用自然材料來保護河岸的方法。到了 1971 年，德國以「植生水力學」為名，發布了植生護岸工法的國家

標準規範，內容細微到植生材料如何採取、如何保存，才能達到預期的強度，且至今仍不定期增修。

1970 年代晚期，瑞士蘇黎士工務局河川課的公務員 Christian Göldi，想辦法把生態考量融入自己經手的溪流工程，以一系列復育成果，開創瑞士近自然工法的先河。到了 1988 年，蘇黎士政府展開名為「溪流概念」的政策，以 1850 年的水文系統為理想情境，要讓全州的明渠、暗渠排水系統變身為地表小溪，每年以實現的公里數作為 KPI，至今不歇。

1980 年代晚期，種種機緣巧合下，日本一家顧問公司的老闆福留脩文，帶著同事和一群 NGO 夥伴，與瑞士、德國展開民間交流，進而發展出日本的近自然工法。緊接著日本政府從 1989 年開始推動恢復自然的河川營造(多自然型造川)，至 1997 年乾脆修河川法，明定水利工程師在防災、確保水資源之外，也有照顧水環境的職責，之後河川法的方向未曾再調整。

美國的河川復育發展脈絡，則和早年社區、學界、NGO 對大型工程的陳抗事件脫不了關係。過程通常是某人意識到危機，開始奔走宣傳，並搜集更多事證讓更多人看到後果的嚴重性，然後形成組織，促成社會辯論，讓更多替代方案被討論，讓機關同意選擇替代方案。因此在美國談復育，主軸常常是拆堤拆壩。當法規越來越嚴，設施越來越老舊，各種長期外部成本也就逐漸內顯，最後常是在財務考量下實施「減法工程」。雖不見得每個機關(美國有許多壩是私人企業在營運)都拆得心甘情願，終究也走到了某種程度的主流化。

也就是說，回顧各地河川復育的歷史，你會發現自然解方的指標俯拾皆是，彷彿那些前輩是依循 NbS 的藍圖在前進。但事實正好相反，這樣的努力幾乎都從個人開始，如果沒有被既得利益者刻意打壓，好的解答與案例會激起一些漣漪，於是個人逐漸匯聚成小眾，小眾再擴展為大眾，最終促成體制變革。日本的牡蠣爺爺上山造林，創立非營利組織「森林是大海的戀人」，難道不是看到了解決迫切問題，需著眼全流域的尺度，需整合從防災到生物化學的多重領域？

從這樣的觀點，應該就很容易理解，為什麼混凝土魚巢製品無法真正增加生物多樣性(尺度侷限，缺乏對系統或多樣性的認知)。考量稍微長遠些的外部成本，也就能明白為什麼尼龍包覆的鐵線蛇籠會引起爭議(尼龍包材會降解成微粒進入食物鏈，鐵線斷裂會讓生物受傷)。

與其說這些河川復育作為如何符合自然解方的標準，不如說受聘為 IUCN 編寫 NbS 標準的專家，是整理了長期以來人類謀求與環境共生的經驗，設法用這些準則在教導我們怎麼調整步伐，怎麼把眼光放遠，看到長遠的、大範圍的生存。

在台灣，自然解方的口號就這麼澎湃洶湧地襲來了。有人可能會說，環保或保育人士「撿到槍了」。但身為實務工作者，我反而不希望河川復育搭上這班子彈列車，因為子彈飛兩下就過去了，因為真正的自然解方，是從土壤裡長出來的。

四、水耕蔬菜與平面國

我上班途中轉乘的捷運站，最近多了個新玩意兒。那是水耕蔬菜展示區，類似無塵室的玻璃櫃中，水槽格框裡一株株蔬菜，在 LED 照射下綠得帶紫。據說這技術是把各種營養直接注入水中，強調純淨、健康、無污染，只要 10 餘坪空間，每年就可穩定生產 1,500 公斤蔬菜。或許有些人會把這視為解決糧食與人類健康問題的自然解方，但如果我是蚯蚓或益生菌，會覺得被侮辱了。土壤的化育以百年為尺度，人類到現在都還沒法弄清，土壤中千千萬萬微生物間複雜的交互作用；頂尖的生化學者每每得從某些區域，採集生長於某種土壤的某種植物來研發新藥材。我相信這項技術在某些極度匱乏的情境(如戰爭人道救援)很有價值，但對現況的台灣來說，如果不把重點放在恢復土壤健康，卻告訴小朋友吃這些人工調配的速成蔬菜最健康，對環境也最好，我不會同意的。

政策口號也是一樣，我清楚記得，20 年前有一波生態工法的熱潮，儘管推動者用意良善，但突然要求一群手上拿慣了鐵鎚的人去做針線活談何容易？

當年的生態工法固然撒下了希望的種子，各種反撲也隨之而來，指控生態工法在坡陡流急強降雨的台灣「沒效」。實際情況是，其他國家走了幾十年的復育路，我們如何用口號及幾個試辦計畫追趕？當救災預算核定，大餅浮現，大家就硬著頭皮上場，沒有人願意承認，在這方面台灣與他國的技術落差仍然巨大。

時至今日，你會發現我們的工程師養成教育裡，還是缺乏讓學生看清楚河川面貌的基本學科。德國 1971 年的植生水力學規範，台灣現在也未見蹤影，而我們的技術規範，還在用 150 年前的水文公式，甚至是來路不明的幽靈公式(黃彥碩等，2021)。當 CNS 國家標準只認證鋼筋混凝土，他國行之有年的工法我們還不知怎麼施做與驗收，又如何能責怪民眾仍然認定混凝土才安全，技師對新工法視而不見裹足不前？

多一重目的需要多一個維度的思考。若僅以防災為目的，那流量沿用 19 世紀的公式也沒問題，輸砂量沒人說得準，所以也不用太考究。在法律究責的壓力下，簽證技師再保守都不為過。一旦加上用水的目的，水文分析就不只是洪峰，還得包括低流量，因為早期也要取得到水。反過來說，單純只以取水為目的，那建堰壩抬高水位，讓河道圳路不漏水就好，但加上防災考量，就得考慮水位太高會溢淹，能量太集中構造物會損壞等等。如果這兩個主要目標已讓人夠頭大，生態再加進來簡直就亂了套。

水域生物廊道不能只看基流量，重要的其實是早期的連續水深，而水深的估算需要對河道內阻力有正確掌握，但一般二維水理軟體少了第三維，也無法模擬床型發育，不能解答這樣看似簡單的問題。廊道也不只是縱向的，還有橫向和垂向的，所以流量不能只看地表逕流，還要看地表、地下水的交換，以及河岸、河道水的交換，而一般水文模擬也經過簡化，無法同時掌握這些跨界的流況。土砂就更複雜，要讓集水區在消化完大事件的土砂後，恢復成常態棲地，就必須對集水區產砂、輸砂特性有更精確的理解，所以需要更好的工具來評估產砂量、飽和輸砂量，也要知道河溪如何在不同的消能機制之間變換。掌握了來砂與輸砂才能做規劃設計，如果是防砂設施，它必須

能簡易調整或無害分解；如果是囚砂區之類的非工程手段，也不能阻害土砂連續性。

上述尚未脫離 NbS 標準 1-4 的範疇，但一考量這些，就必然得理解河相，即溪本身的體質與樣貌，這些考量進來，就會發現在既有的空間範圍內，不容易找到完整的自然解方，因此需要談還地於河、與水共生，進一步而言就是國土規劃。這又加了一個維度，需要精準溝通及研擬制度配套的高階管理藝術。

復育先進國幾十年來不斷地在發展這些技術專業，進化自身體制，而台灣要跨越這麼多維度跟上，不禁讓我想起艾伯特的小說《平面國》(Flatland)。不是辦不到，但是，那個落差我們得要先看到才行。

五、不過時的自然解方

朋友告知，因為新口號橫空出世，有的單位甚至要安排一個全職人力來應付各種研討會、教育訓練、宣傳活動。我接觸到的大部分公務員，只是很守本份地在宣導這個新政策。他們會禮貌地請我們在報告中「多寫點自然解方的東西」。相處久了，他們看得出來，我們的規劃設計方向應該符合自然解方的精神，但為了讓長官也看清楚，還是希望我們多用關鍵字。

或許真正的自然解方，是在沒有口號、沒有壓力，任你選擇的情況下，你願意為環境做點什麼的那份初心。以河川復育為例，有空時，探望一下身邊那條不講話的河流，看看你能否解她的心意？也或許幫她尋回記憶，從 Google Earth 或歷史航照圖，看看她過往的模樣，查明為何事隔幾年，她的面貌卻恍如隔世？套用公式前想一下，是否同意這公式裡的這些參數，可以掌控並改變一條溪的生命？防災讓土地上的人安居樂業，是份高尚的責任，但如果災後我們的生活恢復常態，卻留下構造物，讓災害成為一眾生命過不去的檻，是否有點怪怪的？取水滋養農田、便利生活，是文明得以前進的關鍵，而文明發展至此，現在是否有不同的作法可以嘗試，讓更多生命得以自在？

如果靜靜觀察後，你願鼓起一點勇氣，在壓力可承受的情況下，盡可能追求自身專業的進步，讓自己在每個機會來臨時，做出更好一點的選擇，那你大可以說，你正在實踐自然解方。誰知道，或許我們在各自崗位上這樣小小的努力，正是人類得以朝更高階層演化的動力。

參考資料：

1. 盧倩儀，2023，「我的自然不是你的解方」，動物行為暨生態研討會(2023/1/16 演講)，<https://www.youtube.com/watch?v=hlVfQzJwuZw>。
2. 黃彥碩、楊佳寧、鄒青穎、陳樹群，2021，由探源芮哈 Rziha 公式到檢視集流時間，中華水土保持學報 52(3)，135-144。

運用於海岸防護的自然解方

國立成功大學水利及海洋工程學系教授/董東璟

國立成功大學水利及海洋工程學系碩士/廖征暉

經濟部水利署第四河川局正工程司/童正安

摘 要

臺灣常面臨著海岸侵蝕、洪氾溢淹、暴潮溢淹和地層下陷等潛在災害，加上人為開發干預，海岸環境已變得惡化且脆弱，對於因應此等社會挑戰，基於自然的解決方法(Nature-based Solutions, NbS)已獲得國際關注，在面對氣候變遷的嚴重威脅下，NbS能以自然生態系統提供減緩和調適等因應氣候變遷的行動，成為當前緊急狀況的有效解方。本文針對海岸防護課題，彙整國外案例與相關文獻，提出 18 種 NbS 措施，並提出具共識的海岸 NbS 評估指標與實施 NbS 較為缺乏的群體決策優選方法，提供推動海岸防護 NbS 時之參考與應用。

一、前言

近年全球性報告揭示了氣候變遷的嚴重性，如世界經濟論壇(WEF)於 2023 年發表的全球風險報告，強調氣候變遷將會在未來造成自然資源、自然災害、極端天氣、環境破壞和生物多樣性的嚴重災害，是未來十年世界需面臨的最大風險。在極端氣候的影響下，僅透過以往的水泥「硬」工法將無法應對加劇的水文氣象災害和適應氣候的變化，人們或許回過頭來，從根本思考，構思如何減緩氣候變遷，減少水文氣象風險的較佳方案。

近年來，主要從歐洲開始，國際自然保護聯盟(IUCN)提出基於自然的解決方法(Nature-based Solutions, NbS)，NbS 定義為「使用模擬、結合或受到自然啟發的方法以解決社會挑戰，同時提供生物多樣性等多重利益(Co-benefits)」，IUCN 認為 NbS 需為對自然生態系統的保護或復育，以面對社會挑戰，歐盟(EU)則認為模擬、結合或受到自然啟發的行動皆可歸類為 NbS。

NbS 的優勢與重要性源自於自然生態系統的強大潛力，它提供了

「支持(Supporting)」、「供給(Provisioning)」、「調節(Regulating)」與「文化(Cultural)」等四大面向的相關服務，將有助於人類抵禦自然災害，帶來眾多面向之多重利益；在相關公約無法有效應對氣候危機時，NbS 提供了具有競爭優勢的新途徑。在海岸防護標的中，採用 NbS 被認為具有較低的成本、較高的生態效益、較佳的景觀及較珍貴的教育意義等，能夠在「水」、「自然」、「人」三大面向中取得三贏，促使臺灣海岸朝向永續發展。

二、海岸災害與國外解方案例

(一)海岸災害

臺灣位於東亞及西北太平洋季風氣候帶，每逢夏秋之際，常遭受西太平洋颱風或熱帶性低氣壓帶之侵襲，造成人民安全隱患。依據內政部海岸管理法內容，臺灣面臨著海岸侵蝕、暴潮溢淹、洪氾溢淹、地層下陷等潛在災害，而對於此等災害，臺灣過去時常僅採用傳統的水泥硬工法來防護海岸，包含海堤、突堤、離岸堤、潛堤和護岸等，然而此等工法往往忽視建設影響到的自然與環境生態；近年環保意識抬頭下，與自然共同「合作」已成時代發展趨勢，將傳統工程與 NbS 核心概念相互結合，不僅具安全性、經濟性、功能性等面向，同時兼顧自然生態環境之保護與復育。

(二)國外自然解方案例

1. 美國活海岸線(Living Shoreline)

2019 年，美國通過「活海岸線法(Living Shoreline Act)」，由美國海洋暨大氣管理總署(NOAA)主導，協助地方政府及非政府組織，透過天然材料的應用，研擬相關措施來保護海岸，建立更具氣候韌性的海岸線，他們使用了「自然或基於自然的措施(Nature or Nature-based measures)」、「結構性措施(Structure measures)」和「非結構性措施(Non-structure measures)」等作為。自然或基於自然的措施包含復育海岸自然生態系統，如紅樹林、珊瑚礁或沙丘，透過其物理、生物、地質及化學作用提供相關服務；結構性措施指的是工程結構物納入自然啟發重新設計，譬如

海堤或突堤的設計納入當地原生材料如牡蠣殼、木材、椰子殼等增加生態服務，如圖 1；至於非結構性措施則是指公共政策的建立、公民的認知及相關法規的修改，提升相關利益者對 NbS 的認識。活海岸線法在美國眾多海岸實施，預期可以有效減緩海岸災害，同時創造生態棲息空間、增加生物多樣性及教育意義。



圖 1 美國活海岸線計畫推動由牡蠣礁及近岸植生建造具生態服務的海岸線(資料來源: <https://floridalivingshorelines.com>)

2. 親水離岸堤(Living Breakwater)

親水離岸堤旨在透過 NbS 降低沿海社會挑戰，恢復自然生態棲息地和增加海岸韌性，2021 年由紐約州「風暴恢復辦公室(GOSR)」提供資金，於紐約史泰登島近岸 500 公尺建置了總長共 1 公里的親水離岸堤，建置方法為透過結構性措施，將牡蠣石籠置於防波堤中，透過牡蠣相互疊加生長形成穩定、複雜的三維硬結構，在減少波浪能量的同時提供屏障結構和生物庇護區，如圖 2。報導指出，該計畫實施一年後，一隻海豹出現並將此親水離岸堤作為它的棲息地點，帶來了偌大的觀光效益，再次證明了 NbS 的多重效益。

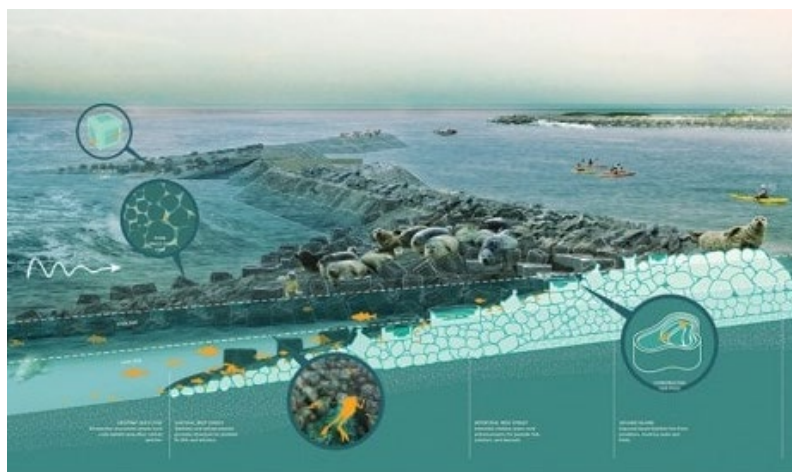


圖 2 親水離岸堤結構性措施(上圖為全景，下圖為近景之一)
(資料來源: <https://stormrecovery.ny.gov/living-breakwatersproject-background-and-design>)

三、海岸保護自然解方

海岸自然生態系統包含紅樹林、鹽沼、海草、沙丘、珊瑚礁及牡蠣礁等，然而，海岸防護措施需應對極端波浪，並須面對高鹽度環境，因此，海岸防護的安全設計標準極高，海岸自然生態系統往往無法在短時間復育建置完畢，導致無法達到高安全設計標準，若要將 NbS 應用於海岸防護，與傳統禦潮抗浪結構結合較具效益，是最佳的策略。然而，這種作法仍然面臨著重大挑戰，包含在不同的水文地文條件下，生態系統的有效性存在不確定性，缺乏成本、有效性資訊及相關研究等，因此，在實施 NbS 前全面瞭解相關資訊以避免非預期

之負面影響是必要的。本研究不僅彙整了海岸自然生態系統，同時將受到自然啟發或與之結合的相關工程措施納入海岸防護 NbS 措施中。本研究蒐集國內外案例與學術研究，共歸納出 18 項可應用於海岸防護的 NbS 措施，如圖 3 所示，詳如下文說明：

(一) 紅樹林(mangrove)

紅樹林為耐鹽木本植物，生長於熱帶和亞熱帶地區，紅樹林的特殊根系可有效減緩波浪能量、增加表面粗糙度及降低波浪高度，此外，紅樹林具有經濟優勢、增加生物多樣性及提供碳儲存效益。

(二) 鹽沼(salt marsh)

鹽沼由耐鹽草本植物組成，生長於平均潮位以上，一般為先驅植物，有很高的恢復能力，能隨海平面上升而生長，鹽沼可捕捉沉積物並隨時間積累土壤高程以穩定海岸線，同時，為各種植生動物提供重要棲息地。

(三) 海草(sea grass)

海草由被子植物所組成，生長於潮間帶，可生長於延伸深度 40 公尺處，組成植物廣泛，海草在淺水區有較高的波減能力，且海草提供很高的初級生產力，形成重要的生物育苗區。

(四) 沙丘(sand dune)

沙丘為近岸沙灘經風力作用所集合的堆積物，在短期和長期間不段變化，具高度適應性，由於沙丘阻擋了海風吹拂，後方有利耐旱植物生長，這些植生可更加穩固沙丘，增加海灘高程，限制陸向侵蝕等，同時提供植生動物作為棲息地，具淨化地下水的功能，另外，沙丘也提供了民眾遊憩空間。

(五) 珊瑚礁(Coral reef)

珊瑚礁為藻類、礁類或其他生物經鈣化作用而形成之石灰岩礁石，通常生長於熱帶和亞熱帶的近岸水域，珊瑚礁本身會產生沉積物，從而提供一受保護的環境，因此，珊瑚礁不僅能減少波浪能量、提供生物棲息地，還有助於沙灘和沙質海岸的形成。

(六) 牡蠣礁(Oyster reef)

牡蠣礁為珊瑚或雙殼類動物所組成的底層結構，其相互疊加生長可以形成穩定、複雜的三維硬結構，能改變物理環境，減少波浪能量，同時提供屏障、生物庇護區及魚類的育苗區等，有助於提升漁業發展，同時，雙殼類動物具過濾能力，可改善近岸水質。

(七) 養灘(Nourishment)

養灘為透過船隻、車輛或抽砂幫浦等方式，將他方砂土置於欲實施之位置，可避免海岸侵蝕，是一與自然海岸相似之柔性工法，借助沙灘以削減波能、營造生物棲息地和恢復生態環境，且養灘工程可利用無法處置之剩餘土方，進而提供民眾遊憩空間。

(八) 海岸緩衝帶(Buffer zone)

海岸緩衝帶指陸域及海域間的過渡地帶，一般為海水及陸地交界的水際線至水深 20 公尺之區域，可在舊壩體內陸區建造新壩體，在不同潮汐或波浪較強時使波浪流入及流出該區，藉由該過程減緩能量，降低內陸地區洪水發生的可能性，同時，緩衝帶提供了大量的生物自然棲息地及人類遊憩空間等多重效益。

(九) 親水離岸堤(Living Breakwater)

親水離岸堤為生態材料所建置的離岸堤設施，是平行且獨立於海中之結構物，能有效減少波浪能量，以減少砂土隨波浪飄走的機會，並增加離岸堤後淤沙，使用材料包含牡蠣殼、當地石塊或木材等，提供減緩海岸侵蝕、增加生物多樣性等多重效益。

(十) 人工魚礁(Artificial reef)

人工魚礁為天然或人造建置的結構體，包含石塊、水泥、電線桿、輪胎等，放置在淺岸水域中，可減緩波浪能量，進而減緩海岸侵蝕作用，同時為水生生物提供棲息地，保護和恢復繁殖空間，從而促使生態系統的恢復和發展。

(十一) 親水突堤(living groin)

親水突堤為以木板、木樁或其他生態材料作為建設材料，突堤為一排垂直或斜向排列的結構物，主要用於保護海岸線免受侵蝕和海浪衝擊的影響，並防止沿岸漂沙。

(十二) 重力排水(Gravity drainage)

重力排水為在海灘中埋設透水層以增加沙灘透水能力，透過高透水能力以降低水位，穩定海灘。

(十三) 人工沙腸(Geotextile tube)

人工沙腸主要由聚丙烯纖維及聚酯纖維組成，又稱地工織布，具繞曲性和高強度韌性，同時聚丙烯纖維具備良好的透水性與過濾性。

(十四) 人工岬灣(Artificial headland)

人工岬灣是指人為在海洋中建造的突出陸地，通常由岩石、砂土、人工沙腸等材料組成，經過特殊設計可改變入射波向，進而減緩波能，減少沿岸漂沙量，最後依據長時間交互作用，可使沿岸逐漸成為平衡海岸線。

(十五) 編籬定沙(Sand fence)

編籬定沙是由竹子、樹枝或其他永續材料製成的網格、柵欄狀結構，能減緩風力降低沙粒的遷移速度。在潮汐變化過程中，

編籬結構有助於防止沙粒被沖刷，可穩定沙灘地形，並適應各種沿海環境，是一種經濟、環保和永續的海岸保護方法。

(十六) 人工浮島(Artificial floating island)

人工浮島為人工設立於水面的島嶼，組成材料包含植物植栽、卵石或人工構造物等，根據設計外型可分為浮筒式、框架型等，將人工浮島應用於水域邊坡防護，有利於減緩波能、增加海岸景觀和保護淨化水質等效益。

(十七) 自然消波工(Eco-friendly wave breaker)

自然消波工為一種受到自然啟發所設計之消波工，常見材料為牡蠣殼、椰子纖維、木材和當地石塊等，這些生態材料可以吸收波浪能量、穩定沉積物、減少侵蝕和提高生態系統的恢復能力，進而達到穩定海岸線和提供大量生物棲息地等多重效益。

(十八) 半自然消波工

半自然消波工與自然消波工較為相似，其差別在於組成材料較多為使用水泥石塊，然而在這些水泥石塊上增加不同紋路、凹陷及坑洞，可提供生物自然棲息地和庇護所，半自然消波工具立即有效性，且一般民眾觀點中認為此工程在視覺感受下較為安全，因此半自然消波工也被廣泛應用於海岸防護。

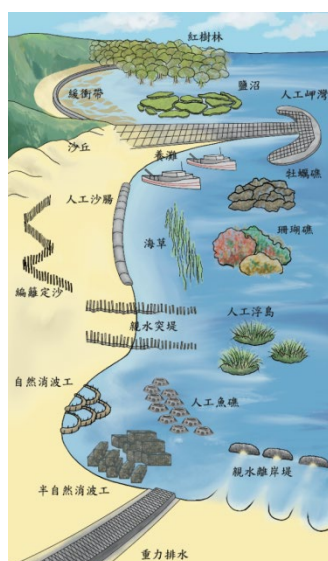


圖 3 本研究所提 18 種海岸防護自然解方措施

四、實施方法

目前實施 NbS 尚無特定框架及研究，該如何選擇正確的 NbS 解方為一大挑戰，且 NbS 領域廣闊，相關利益者面向不同，在評估設計 NbS 時，時常遇到以下四大挑戰：

- (一)難以直接評估：NbS 多重利益多為未來交互作用中衍生，如旅遊機會、直接與間接經濟作用和社區凝聚力等，難以在實施前精準評估。
- (二)語意評估模糊性和不確定性：覺式的語意評估不具同樣單位，且無明確值，較難以轉化為量化的數字進行計算。
- (三)評估指標來源：評估指標多為由過往計畫蒐集或專家之經驗，此過程較具主持人主觀意見，且因主持人之研究領域可能較不宏觀，將造成不同領域間難以在權衡，導致設計過程不具共識。
- (四)相關利益者、評估指標之重要性及權重：此步驟之權重訂定方法具主觀性，為最大挑戰。

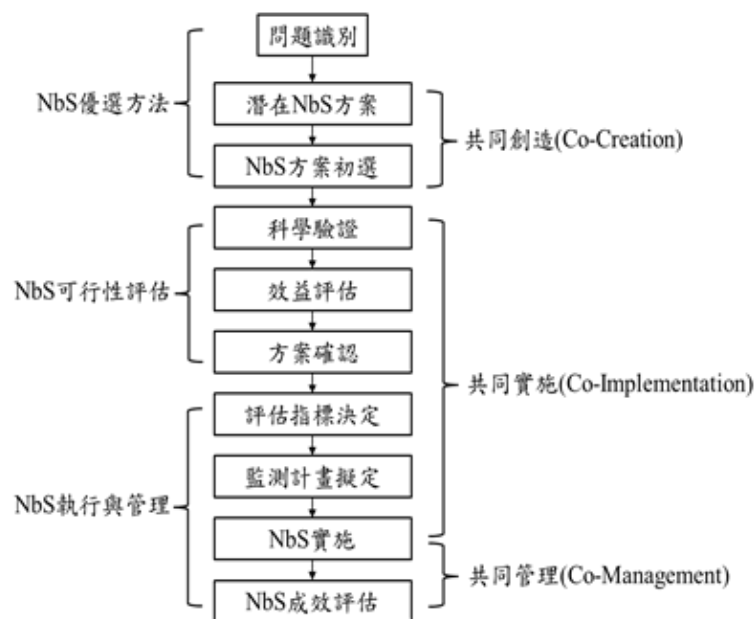


圖 4 本研究所提之 NbS 實施框架

為解決上述四點困難，本研究設計了 NbS 實施框架中之優選方法，透過模糊德爾菲法、理想解相似度順序偏好法和熵值法等方法解決上述挑戰，NbS 實施框架包含共同創造(Co-creation)、共同實施(Co-implement)及共同管理(Co-management)三大步驟(如圖 4)，其中共同指的是與相關利益者進行、討論、尋找最佳共識解方。

特別說明前述框架中第一步共同創造中的優選方法，其流程如圖 5 所示，首先蒐集海岸 NbS 之相關指標，依據「可監測」、「可實現」、「耗時較少」為標準，共蒐集 63 項評估指標(廖，2023)，接著透過相關利益者和專家進行模糊德爾菲法，根據共識值計算得「共識海岸 NbS 評估指標」，接著決定決策者、評估指標和備選方案後，進行直覺式模糊群體理想解相似度順序偏好法，該方法在傳統理想解相似度順序偏好法中加入了直覺模糊環境，將人的主觀評估轉換為直覺式模糊數，包含正向資訊、負向資訊及猶豫資訊，本研究將此資訊進行熵值法計算混亂程度，並依熵值分配評估指標及相關利益者之權重，最後，進行直覺式模糊環境下之理想解相似度順序偏好法(TOPSIS)，經過該方法可計算出備選 NbS 方案在共識評估指標下的優先順序，可提供給計畫決策者進行參考。

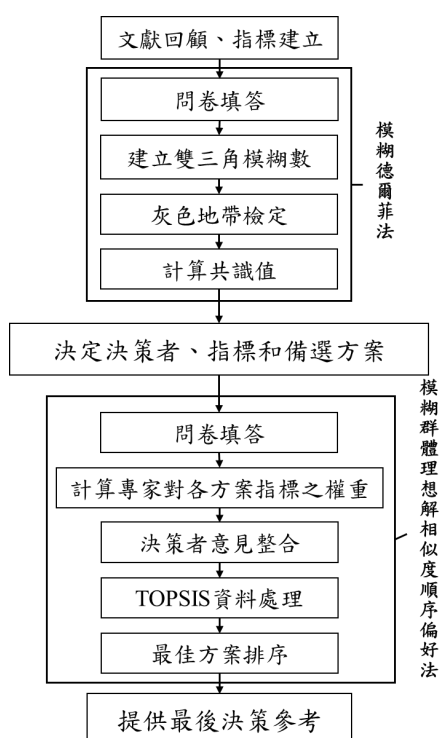


圖 5 本文所提之 NbS 優選方法

五、結論與建議

將 NbS 應用於海岸地區的作法近年來在國際間日益興盛，NbS 並非沒有供成措施，它是同時考慮了「水」、「自然」與「人」的一種新方法，較好的作法是結合傳統有效的工程，加入考量生態服務的「自然」要素，以及能讓「人」有幸福感的解方，針對海岸防護，此處的「水」指的是會造成災害的海水，包含海浪、溢淹的水等。本文彙整了國內外研究計畫與文獻，提出了18種適用於海岸防護的NbS措施。本研究也提出了一套海岸保護的 NbS 優選方法，採用了直覺式模糊決策方法，由於 NbS 帶來的多重效益主要由主觀性評估，先前的評估結果難以量化。因此，本研究根據模糊集合理論計算熵值，以此表示專家評估和指標之間的模糊程度，並用此為分配權重的依據。研究結果涵蓋了 18 種潛在措施對多重效益最大化的排序。此結果不僅有助於評估 NbS 的效益，也可供決策者參考，協助解決目前國際對於 NbS 所能帶來的多重利益的共識難題和決策困難。

本研究提出的評估框架及其相關成果，對於推廣並實施海岸防護 NbS 的決策過程具有重要的參考價值。透過有效的評估與排序方法，我們能夠更全面地了解不同的 NbS 工法及其多重效益，並依此做出最適合的選擇，這成果有助於推動 NbS 應用至海岸地區。

六、參考文獻

1. 廖征暉，2023，應用直覺式模糊環境決策方法建置海岸防護 NbS 治理之研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2021，連結歐盟 NBS 計畫及共同開發評估模式報告。
3. Bilkovic, D.M., Mitchell, M.M., Peyre, M.K.P., Toft, J.D., 2017. Living Shorelines: The Science and Management of Nature-Based Coastal Protection, CRC Press.
4. International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2020.

Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN

5. Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Plavšić, J., Doong, D.J., Bahlmann, T., Alves, A., Franca, M. J., 2021. Incorporating Stakeholders' Preferences into a Multi-criteria Framework for Planning Large-scale Nature-Based Solutions. *Ambio*, 50, 1514-1531.
6. United Nations Environment Programme (UNEP), 2022. Nature-based Solutions: Opportunities and Challenges for Scaling Up. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/40783>

都市雨水逕流治理的自然解方

經典工程顧問有限公司主持人/劉柏宏

前言

臺灣近年隨著高度都市化及河川流域中上游地區大量的土地開發，以及氣候變遷影響，極端降雨造成地表逕流量較於過去來得量大且急，導致都市積淹水現象與日俱增。面對瞬間超過保護基準之極端降雨狀況，傳統防洪工程思考已不足以因應。從「國土規劃」、「綜合治水」、「流域治理」面向思考整體治理策略，水土林、上中下游需有不同治理對策，而都市地區因人口密集都市化過程、土地開發需求，致使具保水及儲水功能的濕地沼澤等水域及原始自然地貌逐漸消失，而都市化後的區域不僅缺少植被，地表硬鋪面面積及人工構造物增加，不透水率越大，地下滲透量減少，當豪雨發生，逕流量增加，洪峰到達時間縮短，造成既有雨水下水道容量不足，地表逕流迅速流入河水是洪水氾濫的原因，因此都市的雨水逕流治理策略非常重要。

故經濟部推動水利法修法新增「逕流分擔及出流管制」專章，於107年6月20日經立法院完成三讀並經總統公布，水利署依據水利法之授權訂頒相關子法並於108年2月1日施行，以避免新增之土地開發行為增加現有防洪設施之負荷，確立開發不增加尖峰逕流量之機制建立與執行，落實出流管制。透過逕流分擔策略，將降雨逕流妥適分配於土地及水道以達「水土合治」，有助於提升土地耐淹能力，分擔排水系統及河川水系承納洪水的壓力，緩和都市淹水風險減少生命財產損失。

都市雨水逕流治理的自然解方

自然解方(Nature-based Solution, NbS)依第五屆聯合國環境大會(UNEA-5) 2022 定義，為採取保護、保育、修復、永續利用及管理自然或經改造的陸地、淡水、沿海和海洋生態系的行動，以有效、調適的方式運用資源，應對社會、經濟和環境挑戰，對人類福祉、生態系服務、韌性以及生物多樣性提供效益。

自然解方考慮的面向即要同時解決永續發展所面對的挑戰，故行動關鍵在於保護、修復及永續管理健康的生態系，並同時提供多樣的「生態系服務」。生態系服務有助於提升人類福祉的各樣功能，包括供應服務(provisioning services)、調節服務(regulating services)、支持服務(supporting services)及文化服務(cultural services)。因此，都市生態系就應修復與營造更多的公園、綠地及綠廊系統，並復育河溪、埤塘、湖泊、水圳及濕地等藍帶系統，且擴大藍綠系統的串聯，以有效降低都市熱島效應並調適暴雨造成的洪泛、提升民眾生活身心健康。

都市雨水逕流治理的自然解方，在於同時要將城市氣候變遷、生物多樣性、民眾健康及生活品質的議題納入解決的策略中。根據聯合國人居署預估 2050 年世界人口的 70%可能居住在都市。由於群居模式消耗大量資源、造成環境負荷超載，面對災害風險更可能造成更嚴重的損失。在全球暖化、極端氣候事件頻傳的時代中，都市化趨勢無疑對自然環境或人類社會都是一大挑戰。而基礎設施(Infrastructure)又是一個都市發展所必備的基本設施，是維繫都市、支持市民生活的結構與基礎。

因而，都市雨水逕流治理的實踐就在基礎設施相關作法上，改變傳統的洪災管理方式——以堤防、水庫、下水道系統、抽水站等，執行需耗費大量資源、卻不盡然防止洪水還可能增加淹水風險的灰色基礎設施(Grey infrastructures)，改為綠色基礎設施（綠色基盤）(Green infrastructure, GI)，利用自然過程調適洪水，並能帶來環境、社會、經濟利益的方法。綠色基礎設施作為洪水治理下的一個關鍵策略，形式上如綠地、濕地、雨水花園、綠屋頂、連續型樹穴、透水鋪面、河道自然化...等，不僅可調控雨水逕流以降低都市淹水潛勢，亦能調節改善都市微氣候條件。

都市雨水逕流自然解方的治理策略

策略一：公園綠地系統策略規劃

公園綠地作為綠色基礎設施的其中一環，是串聯、平衡生態系統的關鍵單元。公園綠地扮演調節環境、引導自然的機能角色，可以調解雨水逕流以降低淹水潛勢，調節改善都市微氣候條件降低熱島效應，也提升了市民生活、休閒文化活動。

「公園綠地系統」規劃，即將都市的公園、綠地，及其他潛在的綠色資源，以一種「由部分構成整體」的觀念重新檢視，使整體效應大於個別部分的總和。公園系統的概念在北美 17-18 世紀出現，其背景伴隨著既有都市的擴張和西部城市的開發，以及自然環境遭到大量破壞的年代。透過綠地（公園、河流、湖泊、都市林地等）和綠化道路連結成網絡、形成都市的基礎，並以此基礎引導都市發展的策略。

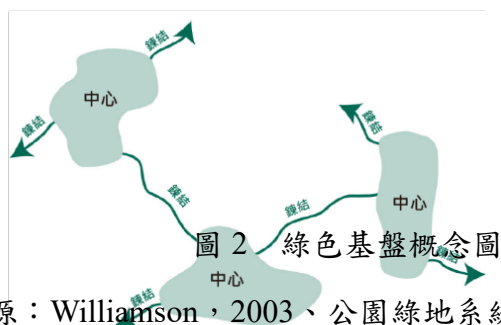
筆者曾主持臺北市政府委託之《公園綠地系統策略規劃委託技術服務案》（2016-2019），以臺北市為例，面對氣候變遷，全球暖化都市熱島效應等現象正急劇的影響都市生態環境，作為都市之肺的公園綠地此時此刻實扮演非常重要的角色。臺北市是一個四面環山的盆地地形城市，也名列全球脆弱城市之一、公園綠地可以提供防災避難空間，並可提供民眾在都市生活適意的休憩場所，亦和民眾的健康息息相關，因此臺北市企圖建立一個完整的公園綠地系統來因應前述任務。以下從綠色基盤（Green Infrastructure）的設計原則、邁向生態基盤（Ecological Infrastructure）目標，來闡述整體性公園綠地系統的願景方向，並嘗試提出對應自然解方的思考。

一、綠色基盤的結構主要是由多個節點（中心，Hub）及連結（廊道，Link）這兩大元素所構成。是維繫自然生態系統及提供人類相關益處的「環境資源」與「綠色空間」之間所形成的彼此相互連結的網絡。（Benedict and McMahon, 2006）。



圖 1 綠色基盤與灰色基盤關係圖

資料來源：Krueger, R., 2008，第 17 頁



資料來源：Williamson, 2003、公園綠地系統策略規劃計畫修改

二、連續尺度的規劃設計原則：在環境設計上落實從自然區域、鄉村區域、城郊、一般都會區域、市中心、市中心商業區等「連續尺度」下，因應不同地理空間類型而各有不同的綠色基盤的規劃與應對策略。在建成區需強調綠色與灰色基盤的整合。在鄉村區域，綠色基盤以類農業生產保留區的方式，回應農業生產與野生動物的生存；在人為發展的都市邊緣郊區，綠色基盤應具有回應休憩活動的公園綠地與步道系統；而建成都會中心區域，綠色基盤以雨水花園、綠屋頂等形式，回應都市暴雨、滯洪需求的逕流分擔治理。

為達到臺北市「創造宜居永續的生活環境，逐步實現一個安全、生態、親水的海綿城市」的施政目標，基地開發減洪與滯洪成為重要之課題，目前一般建築開發，自民國 102 年 10 月起均已依據「臺北市下水道管理自治條例」第九條及「臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準」使用人應設雨水流出抑制設施，以控制基地向外排放雨水逕流，除建構透水保水之海綿城市之目標外，同時可協助提升本市既有雨水下水道保護標準，而有效協助防洪，但這非自然解方。而公園綠地之透保水條件較一般建築基地為佳。臺北市約有 946 處公園、綠地及廣場，透過「公園綠地系統」檢討其承擔逕流分擔的可行性及未來改善成兼具有提升透水、保水及滯洪能力之公園綠地，不僅支持提供市民休閒、遊憩、綠化等主要任務及需求下，也能改善公園綠地周遭社區淹水情況。有系統性把全市公園有計畫的朝逕流分擔改善方向進行，全面導入零出流設計，才是符合自然解方準則。

三、從綠色基盤到生態基盤：與綠色基盤相比較，生態基盤更具保衛式規劃（Defensive Planning）的概念。此理念的發展約起於 1980

年代，從城市研究、生物棲地保護規劃的領域汲取養分。在棲地保護規劃中，生態基盤用來表達生物棲地網絡與某些地景元素的生物保護功能，如「核心區」和「廊道」（Mander et al., 1988；Selm, 1998）；生態基盤在荷蘭的實踐則是由「自然核心區」、「自然發展區」、「廊道」與「緩衝區」所組成（Bohemen, 2002）。

綠色基盤的規劃通常是以現況為基礎，生態基盤通常是「面對未來情境」。（俞孔堅、王思思和李迪華，2012，第7頁）。都市的發展狀況需因應未來 50 或 100 年的氣候變遷。透過綠資源多樣性、都市防災、綠色生活、韌性水環境、熱島效應及公共政策等六大層面議題之地理資訊系統套疊與適宜性分析，綜合起來形成臺北市發展的生態基盤架構。以此作為關鍵生態棲地的保衛，並作為限制、引導都市發展的空間布局。.



圖 3 臺北市公園綠地系統願景、服務指標與功能項目說明圖

臺北公園綠地系統提出 9 大環境分區，4 大發展目標，並從臺北市土地的本質和剖析環境議題，依據計畫核心觀點，各環境分區代表著臺北市不同區域的環境特性與問題，賦予各分區於臺北市全市公園綠地系統中不同的角色，並提出建構全市性公園綠地系統的設計準則。以達成以下四個目標：1.保育與修復臺北綠色資源（Preservations and Rehabilitation）。2.促成綠資源擴展與連結（Extensions and Linkage）。3.建立多樣性的邊界（Diversity of Boundaries）。4.形成交織的網絡（Systems and Networks）。積極朝向「自然解方」原則邁進。

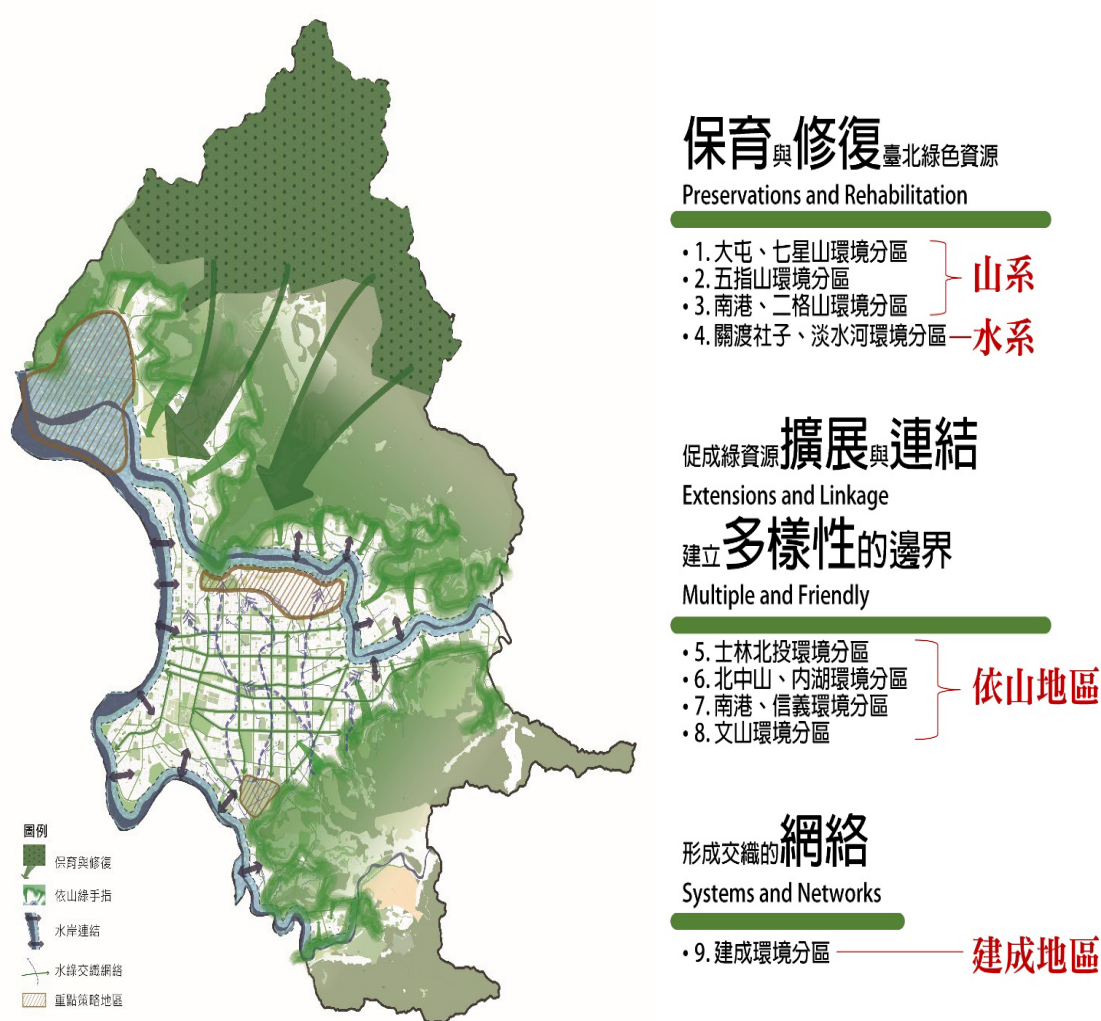


圖 4 建構全市性臺北公園綠地系統發展目標示意圖

策略二：都市水文系統治理原則

「水」，作為支持都市存在的重要元素，卻往往被民眾忽略；「內水」大多被規劃儘速排除或埋藏在都市環境地表下，消失在民眾生活的當中。然而，如此處理「內水」方式的快速排水系統，在面對極端氣候變遷及都會化趨勢下短延時劇烈降雨的挑戰時，往往有其極大限度且有反效果。

故從自然解方的指導原則在既有都市的傳統排水系統，到整合性的都市雨水管理系統是必要且重要。透過下圖比較，可以看到對照與差異。有別於傳統灰色基盤，綠色基盤是幾個面向的效益包含：1、改善局部地區的水之循環使用（re-use），讓水資源的保育與都市發展之間，取得平衡。2、因透過更多植被綠化過濾與滯留方法，以提昇水質。3、可藉由自然材料改善基礎設施來營造滯留、儲存等增加地表表面的透水狀況，以減緩雨水與暴雨時的逕流，分散排水系統的負擔。4、因結合暴雨管理策略，支持都市地區對於親水的休憩需求，以及地景上的修復兼顧人與其他的需求，讓都市的基礎設施能夠有多

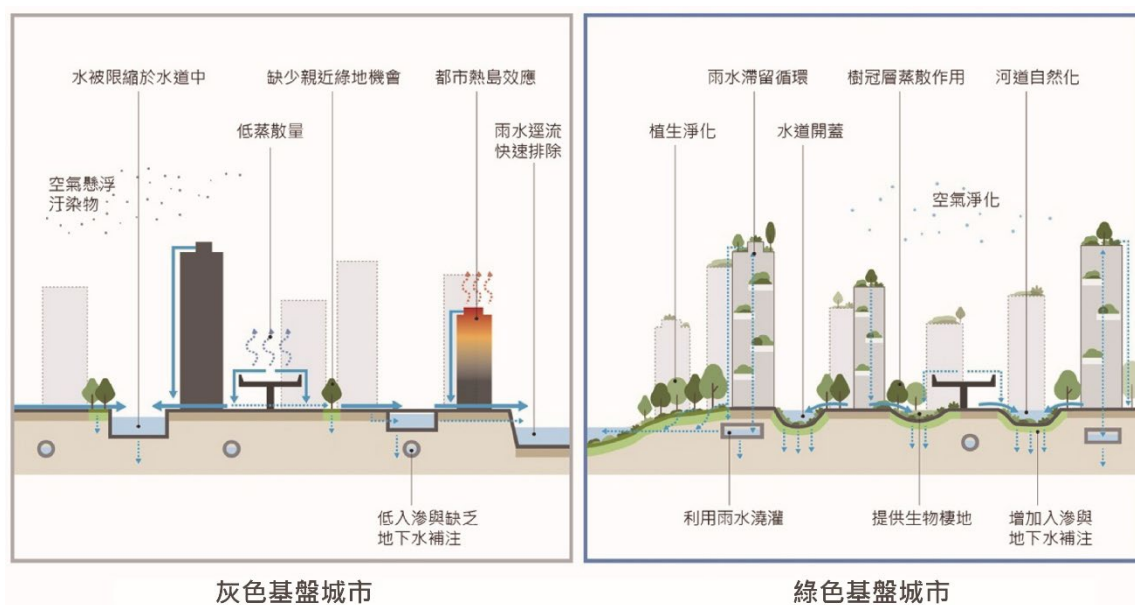


圖 5 都市從灰色基盤到綠色基盤的概念示意

（繪製參考：Strengthening Blue Green Infrastructure in Our Cities

重功能。特別在逕流分擔的治理上，這些與水文相關的基礎設施，可

以是自然、近自然及以修復地景的策略，提供減緩、入滲、蒸散等，達到水與自然環境的交互作用與連結。

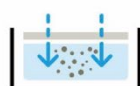
綠色基盤在水文的「水量」與「水質」兩層面皆應有所治理。對於「水質」的控制，可透過植栽的根系與土壤，土壤的基質可以過濾雜質。且，天然可透水的地表可以讓水入滲，提供水資源的補注。對於「水量」的控制，則透過種種滯留設施，彈性的容量安排，達到減緩洪峰流量與流速的任務。來達到逕流分擔，減緩集水區下游的負擔。

水質控制



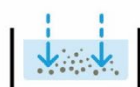
生物吸收

植生藉由根系吸收生長所需營養物質



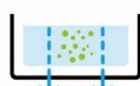
過濾

藉由通過介質從水中分離土砂



沈澱

使水中所夾帶顆粒落下、沈澱



滲透

允許水進入土壤中並補助含水層



循環

水資源的再使用

水量控制



蒸發

水從液體的型態，蒸散成為水蒸氣



輸送

藉疏導雨水流動進入最終的排放區



滯留

使洪峰的雨水在某處稍微停留



過濾

利用透水鋪面或土壤吸收雨水



儲存

收集乾淨或淨化後水資源

圖 6 都市綠色基盤對於水質與水量的控制工具
(繪製參考：Strengthening Blue Green Infrastructure in Our Cities)

在既有的灰色基盤下改造為綠色基盤，可透過逐步、漸進式的改造，透過整體的規劃，以其短—中—逐步融合的過程，融合水、地景、與建成環境等使成為更具韌性的系統，呼應自然解方的準則。從第一階段都市原有之排水設施以灰色基盤的機能為主；漸進過渡到藍、綠設施彼此緊鄰，但功能上卻分開；再到藍、綠設施彼此互相交疊（例如透過渠道護岸的自然化）；最後期許能達到藍、綠設施垂直與水平面整合，形成都市暴雨治理系統（如下圖）。以自然解方的準則推動

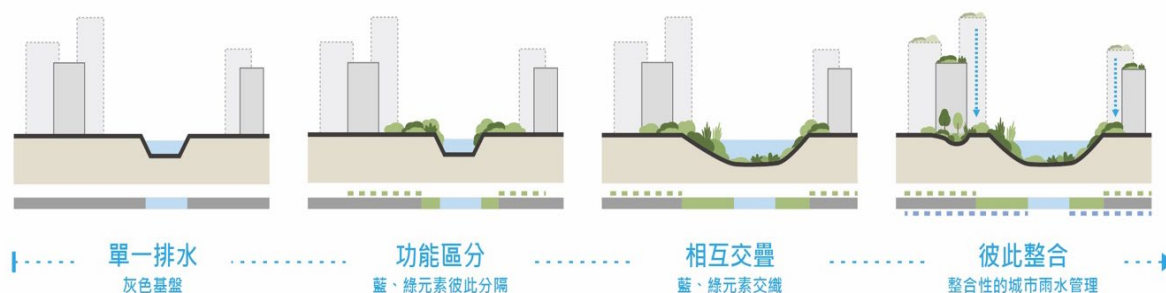


圖 7 都市從「灰色基盤」逐步演化到「綠色基盤」的過程。
 (繪製參考: Strengthening Blue Green Infrastructure in Our Cities by Ramboll)

的綠色基盤作為地景系統 (landscape systems)，相較於灰色基盤，綠色基盤考量自然物理過程，提供了更多元的生態系服務效益。

除降低地區淹水風險、改善水質及減緩都市熱島外，最重要是增加都市生態多樣性，都市發展意味著土地利用的變遷，其中改變最大的就是與水域有關的土地利用型態，如，曾經的自然溼地、陂塘，河溪的自然河道與支流的消逝，其所造成的影響，即是自然與近自然棲地的減少，而對應以水為棲息環境，覓食、躲避、生育的物種受到嚴重影響。透過營造都市綠色基盤，可對於都市的生物多樣性做出貢獻。而在提供人類休憩需求上（文化服務）針對環境與生態所帶來的好處外，也能夠帶來社會文化的正面效應。譬如，藉由營造的過程，創造地方感。藉由水體、水圳、陂塘等水文化意義的營造，強化人與土地的連結，以及對於地方認同的提昇；營造的過程，也能協助環境本身發揮它潛在環境教育的能力，能夠傳遞人們知識、增進對於環境與其變化過程的了解。都市的綠色基盤，也提供了人們休閒遊憩的機會，藉由提升地景的視覺品質，能夠促進五官的感受。社區、人們在其中活動，能夠帶來愉悅的感受。

（一）以永春陂濕地公園為例

永春陂為四獸山麓的天然凹地，百年前曾為波光粼粼的陂塘，經歷時代變遷，陂塘淤塞消失，戰後作為軍營使用。當軍營廢棄後，臺北市政府因應氣候變遷，重新檢視全市綠地系統，並考量都市減災、串聯依山地區生態跳島及恢復百年陂塘風華之目的，將原為住

宅區用地的土地使用，變更為兼具滯洪減災與生態復育的濕地公園，開啟臺北市都會型濕地生態環境營造首部曲。本計畫歷經4年辦理用地取得、規劃、設計及施工，並廣納專家學者、市民、周邊學校與NGO團體意見，以「環境共生」、「生態復育」、「韌性設計」與「永續教育」四個設計理念，重建百年陂塘空間場域，成為臺北藍綠帶樞紐，延伸四獸山系生態棲地，成為都市生態跳島，串聯都市邊際的自然環境。在雨水逕流的治理設計上，有下列幾點特色：

1、生活與生態的共好

永春陂濕地公園位處信義計畫核心發展區與四獸山系間，須符合市民生活需求，並肩負延伸四獸山生態系統延伸與復育目標。依照人為活動強度與生物棲息資源豐富度，將園區分區管理，基地北側離城市等人造環境較近，故以人為使用度較強的活動為主；南側鄰近四獸山，為生物出沒與棲息的場域，適合作為生態復育區；活動區與生態復育區之間則為緩衝區。人為活動區對一般民眾開放，其餘區域則僅供志工、維管人員及相關環境教育課程申請進入。儘量減低人為生活干擾生物棲息，找到生態復育與市民活動的平衡點，創造都市療癒空間與生物棲地共存、共好場域。

2、陂塘濕地地景修復

原為營舍基地為大面積的混凝土平整鋪面，修復為陂塘濕地，地景設計則取法周邊自然地形，以順應山峰靈秀之四獸山山勢。

濕地之挖方、硬鋪面拆除所產生之營建土石方因數量龐大，透過設計將現地挖掘出之卵石、混凝土塊等，整理後融入設施，成為濕地環境的一部分，如卵石石籠牆、卵石造型座椅、廢料回收鋪面。可以減少購買新材料的費用與為了生產新材料所耗費的能源；同時，廢料的展示也作為成為環境教育的一環，且減少造成運輸的能源耗費，降低外溢的環境成本。混凝土塊破碎後除回填至土壤表層下方作為蓄排水層外，也能整地形成高低不同的土丘營造陂塘濕地地景。

3、串聯生態跳島與多樣棲地營造

因永春陂濕地公園座落臺北藍綠帶樞紐，可串連後山陂、三重埔陂，修補四獸山與基隆河間綠地系統。區內引上游豹山溪水與無名溪水，匯入形成不同深淺的開放水域，並配合多種類的植物相，營造「次生林帶」、「林緣濕地」、「淺水區草澤」、及「開放性水域」等多樣性棲地環境，提供動植物友善棲息與覓食空間，發揮生物避難所效應，也促進四獸山系物種的豐富性。而在多樣棲地營造上，透過盤點過往文獻對於臺北依山區與陂塘的生態描述，並實際調查基地周邊四獸山與南港公園陂塘既存之生態種源，本案以大赤鼯鼠、領角鴉、水鳥(鷺科、秧雞科等)與高體鯉鰻...等作為生態復育之目標物種。

為營造適當的棲地及生物廊道，在開放水域設置人工浮島、枯木微棲地、鳥踏、翠鳥土壁等；次生林帶規劃領角鴉樹屋等，並規劃爬藤隧道、生態通道、及生物逃生坡道；種植烏柏、白柏長吻白蠟蟬棲息；種植青剛櫟食用植物群吸引大赤鼯鼠，透過適宜生物植栽，延伸四獸山系生態棲地，進行棲地修補與縫合，成為都市生態跳島，串聯都市邊際的自然環境。工程完成後已能看到台灣原生種水鳥如紅冠水雞、白腹秧雞、翠鳥與紫嘯鶇等生物的蹤跡，期待未來能慢慢地讓四獸山系的生態物種更為豐富。

4、逕流治理之減災設計

園區拆除大部分營舍，並移除大面積不透水鋪面，共增加6873平方公尺的水域、新增18,701平方公尺的灌木與地被綠地、保留7,268平方公尺既有老樹群與1,568平方公尺的透水鋪面，總透水面積占基地面積之86.3%，保水量達4895.32m³。利用地形塑造深淺不一之開放水域，提供水土保持滯洪沉砂功能。基地內地表逕流量減少率達33.36%，有效降低下游既有下水道流量約0.5876cms，瞬間暴雨可滯留8.77小時。確實能落實海綿城市，建構以綠為本的都市環境。



圖 8 改造前後的永春陂濕地公園空拍照片



圖 9 綠色基盤與灰色基盤關係圖

資料來源：Krueger, R.，2008，第 17 頁

結語

因應著高度都市化及大量的土地開發，經濟部推動水利法修法新增「逕流分擔及出流管制」專章，逕流分擔不同於傳統由水道概括承受所有逕流，藉由水道與土地共同分擔，將降雨逕流妥適分配於水道及土地，提升土地耐淹能力。策略上，可以有工程及非工程作為，但要符合「自然解方」的準則內涵，更應透過土地空間的治理，把「逕流分擔、出流管制」融入縣市都市計畫、各級國土計畫中推動，而非僅在單一計畫或工程中思考，才符自然解方的「Design at scale」準則。以永春陂濕地公園為例，從原為都市計畫的住宅區土地使用，因應氣候變遷，重新檢視全市綠地系統，評估所在位於四獸山系都市雨水承洪需求、串聯依山地區生態系及恢復百年陂塘文化，變更為公園用地，且定位上設計為兼具滯洪減緩逕流、修復陂塘地景與生態系服務的濕地公園，是有都市雨水逕流治理之「自然解方」策略。

參考文獻

1. ABC Waters, Certification。檢自
<https://www.pub.gov.sg/abcwaters/certification> (2020/05/04)。
2. IUCN, Gland Switzerland (2020). A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions First edition. Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions。
3. PUB (2018). Active, Beautiful, Clean Waters Design Guidelines, 4th edition.
4. Liao KH., Deng S., Tan P.Y. (2017). Blue-Green Infrastructure: New Frontier for Sustainable Urban Stormwater Management. In: Tan P., Jim C. (eds) Greening Cities. Advances in 21st Century Human Settlements. Springer, Singapore.
5. PROF. Herbert Dreiseitl Bettina Wanschura LIVEABLE CITIES LAB (2016) Strengthening Blue-Green Infrastructure In our city Ramboll.
6. Ramboll, & Ramboll Studio Dreiseitl. (2016). The Copenhagen Cloudburst Formula: A Strategic Process for Planning and Designing

Blue-Green Interventions.

7. E Cohen-Shacham, G Walters, C Janzen, S Maginnis (2016) Nature-based Solutions to address global societal challenges.
8. American Rivers (2013). Daylighting Streams : Breathing Life into Urban Streams and Communities.
9. City of Copenhagen (2012). Cloudburst Management Plan 2012.
10. City of Copenhagen (2011). Copenhagen Climate Adaptation Plan.
11. 李玲玲 (2022) 從生態檢核到自然解方：跨領域實務挑戰。從生態檢核到自然解方：跨領域實務挑戰研討會
12. 施上粟 (2022) 漫談生態水利自然解方。土木水利。第49卷第二期。頁6-10。
13. 經典工程顧問有限公司(2020)。市區排水系統環境營造規劃工作中期報告書。臺北市政府工務局水利工程處
14. 郭勝豐、陳世楷。農用生態水路與休閒遊憩環境規劃之探討。檢自 <https://reurl.cc/Md09v3> (2020/09/08)。
15. 經濟部水利署 (2020) 逕流分擔技術手冊。
16. 臺北市政府工務局水利工程處，防洪安全-海綿城市。檢自 <https://heo.gov.taipei/cp.aspx?n=06200F283BE5CD46> (2020/04/28)
17. 張哲生，37 年前，台北市新生北路「堀川」。檢自 <https://www.facebook.com/ZhangZheSheng/posts/10153053533614531> (2020/04/29)
18. 經典工程顧問有限公司 (2016) 公園綠地系統策略規劃委託技術服務案 結案報告書。臺北市政府工務局公園路燈管理處。
19. 彭振聲 (2016)。永續台北-海綿城市。土木水利，43 卷，5 期。
20. 臺北市都發局 (2016) 「地區綠色環境資源推展規劃」委託專業服務案期末報告書。
21. 李涵茹、王志弘 (2016) 構框與織網：臺灣濕地的社會生產與治理。
22. 楊偉甫 (2015)。流域綜合治理計畫之績效管理機制。國土及公共治理專刊，第三卷第三期，頁 96-105。
23. 臺北市工務局水利處、臺灣世曦 (2014) 臺北市總和治水成效評量及控管系統開發建置。
24. 臺北市政府 (2012) 瑠公圳環境共生改造計畫。
25. 王秀娟 (2011) 綠地計畫之理論與實證。

26. 臺北市工務局水利處、臺灣世曦（2011）。臺北市總合治水總體目標與綱要計畫規劃及推廣業務。
27. 內政部建研所（2010）生態城市都市設計操作手冊之研究委託專業服務案成果報告。
28. 臺北市政府（2010）。推動都會區熱島效應退燒策略計畫。
29. 石婉瑜（2010）。
Optimising Urban Green Networks in Taipei City-Linking Ecological and Social Functions in Urban Green Space Systems。
30. 郭城孟（2009）。生態臺北城。自然步道季刊，41 期。
31. 中華顧問工程司（2005）。總合治水對策規劃。台北：臺北市政府工務局養工處。
32. 中華民國景觀學會（2000）公園綠地系統規劃設計手冊暨操作案例-研究成果技術報告。
33. 郭城孟（1999）臺北市綠綱要計畫
34. 臺北市政府（1999）臺北都會區綠色基盤綱要計畫總結報告書。
35. 郭瓊瑩、郭城孟、許榮輝（1999）臺北市綠政發展策略暨實施方案之研究。
36. 張哲生（1977）。興建中的台北市新生北路高架道路。檢自 <https://www.facebook.com/photo?fbid=10151983532624531&set=a.10151511331044531> (2020/04/29)。
37. 洪啟盛、林宏仁。逕流分擔推動程序與做法。學術天地。