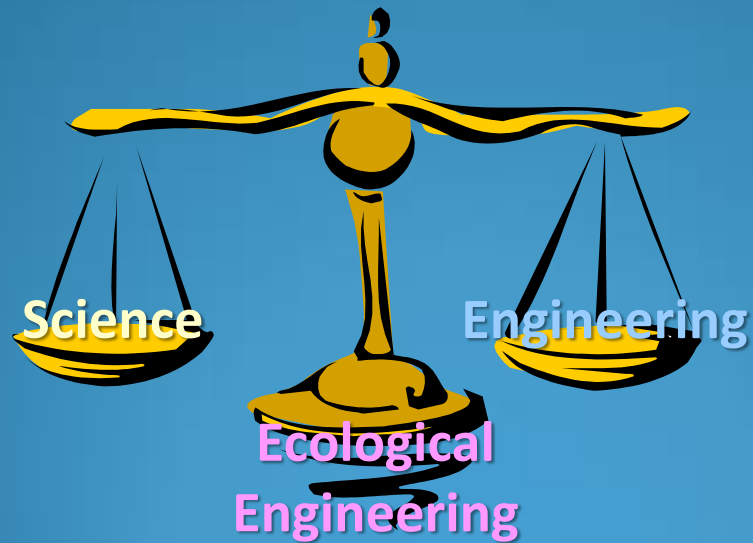


生態工法

- 生態工程基礎理論



綱要

- 生態工程的歷史與發展
- 生態工程的分類
 - 依應用
 - 依尺度
- 生態工程之基本概念
- 生態工程之設計原則
- 生態的復育

生態工程的歷史與發展

- 生態工程的起源與演變
- 生態工程的歷史
- 生態工程的理念基礎
- 生態工程的定義
- **Straskraba**生態系運行原則
- 生態工程應用準則
- 美國生態工程學會
- 台灣生態工程的發展

生態工程的起源與演變

- 二十世紀初，歐洲地區拜工業發展所賜，社會經濟驟然起飛，在提昇物質生活豐富度之餘，也因各項需求接踵而至，必須大量開發自然資源以因應社會發展步調。但隨著森林野地的過度開發利用，大規模的災害也接二連三發生。
- 各國環境管理的發展歷程皆有其獨特的背景、成因以及主要階段性難題。以台灣為例，因地形和氣候條件之限制，必須比其他國家承擔更多防洪、防災的壓力。在**水質、水量、生態**三面向上，生態往往成為被忽視或被犧牲的一環。
- 人類所面對的環境問題已無法侷限於個別之集水區治理議題上，越來越多負面效應交互影響。
- 而經驗指出，唯有**不違反大自然的運行規則**，以生態系為環境管理之基本單元的原則，始為根本的解決之道。因此人類開始展開各種利用或遵循生態特質技術的研究與探討。

生態工程的歷史

- 1938年德國Seifert首先提出『**近自然河溪整治概念**』，此不違反生態原則之治山防洪工程，可謂生態工法之開端。
- 1951年，德國Kruedener提出『**生物工程(bioengineering)**』一詞，指出生物工程是一種在進行大地或水資源工程時，用於處理不穩定之邊坡、河床、河岸時，所採行之應用生物學知識的工程技術。與現行生態工法觀念極為吻合。
- 1962年Odum等人提出將**自組行為(self-organizing activities)**的生態學概念運用工程中，首度提及『**ecological engineering**』一詞。將生態工程定義為：
 - 「一些由人類提供能量，這些能量是幾乎與自然沒關係的，但是足以對結果或過程產生重大的影響」
 - 「人類使用少量補充能源控制，由自然能源主導的系統，為一種環境操控」

生態工程的歷史

- Odum(1971)在『*Environment, Power, and Society*』書中詳細說明生態工程的範圍，以「生態工程是利用自然的方法來進行管理，並力圖補充傳統工程的不足。」。在『*System Ecology*』書中又說：「設計一個新的生態系統應利用自我組織的觀念」。

生態工程的歷史

- 1970年代中後期，美國針對特定物種，進行小範圍之河川修復 (Brookes et al., 1996)。
- 1980年代初期，美國進一步以地型學為考量，進行小範圍之河川修復 (Brookes et al., 1996)。
- 1984年，日本舉辦之『日歐近自然河川工法研究會』中確立『近自然河川工法』一詞，及其定義與精神(山協正俊，1990)。
- 1989年，生態學家Mitsch和Jorgensen彙整具有共同特質與原則之各類型工程技術並賦予定義，至此首次明確界定『生態工程(ecological engineering)』的觀念以及適用範疇，生態工程正式誕生，而生態工法亦成為應用主軸。

生態工程的歷史

- 1980年代中期歐洲中部同時也在發展生態科技，Uhlmann(1983)、Straskraba(1984, 1985)、Staraskraba與Guauek(1985)將這個類似的專業定義為：
 - 「以深入的**生態理解度**，利用**科技**的手段管理生態系統，減低成本及對環境的傷害。」
- 1990年代中期開始，美國已經累積足夠之學理與經驗，**著手進行大型生態復育計畫**，最著名者為佛羅里達埃佛格雷(Florida Everglades)生態復育計畫(Brookes et al., 1996)。
- 1991~1997年，日本著手進行生態工法之推動，共完成5000事例，總計1185公里長之區段整治與復育。

生態工程的歷史

- 生態工程在西方與中國發生的時間一致，各自發展。中國在其生態工程之父馬士駿領導下，1960年代中國的生態學家開始在中國出版物上使用生態工程一詞。
- 馬士駿(1985)首次在西方文獻上說明中國應用生態工程的生態原則。
- 在中國，主要的環境管理以人文科學開始，但在過去的20年來，中國已明確的使用生態工程一詞了，第一次正式使用是在以自然哲學處理廢水的描述中。

生態工程的歷史

- 馬士駿(1988)將生態工程定義為：
 - 「一種特殊的生產過程系統，其中生態系統物質的再生、物種的共生的關係和循環等原則，結合工程科技、新技術和優良傳統生產方法，使物質產生多種用途」。
- 馬士駿指出中國首次出現生態工程於1978年，現已遍佈全國。1988年出版物指出當時已有500個基地在施行農業生態工程(agroecological engineering)，並定義為「生態工程在農業上的應用」。1990年，中國生態工程實施的基地已達2000個(Yan and Zhang, 1992; Yan et al., 1999)。

生態工程的歷史（會議、期刊）

時間	重要事件
1962	H.T. Odum首度提及「ecological engineering」一詞
1989	Mitsch及Jørgensn所撰寫之『生態工程(Ecological Engineering)』一書發行
1991	在瑞典的Trosa第一次針對生態工程舉辦國際性研討會
1992	科學期刊『 <i>Ecological Engineering</i> 』問世
1993	研討會「US National Academy of Sciences Workshop on Ecological Engineering」在華盛頓(Washington, DC)召開
1993	在重要科學期刊『 <i>Environmental Science and Technology</i> 』中，專題探討生態工法

生態工程的歷史（會議、期刊）

時間	重要事件
1993	國際生態工法學會(International Ecological Engineering Society, IEES)在荷蘭Utrecht成立
1994	環境問題科學委員會(Scientific Committee on Problems of the Environment, SCOPE)之「生態工法於生態系復育計畫(Ecological engineering and ecosystem restoration)」在法國巴黎正式通過
1994	在美國華盛頓由NAE(National Academy of Engineering)所舉辦的研討會中，將生態工法列入主要議題之一，報告書在1996年完成
1994	期刊 <i>Ecological Engineering</i> 與美國土木工程師協會(ASCE)之 <i>Environmental Engineering</i> 合併出版權
1995	在瑞典Standsund召開生態技術會議
1995	美國生態協會(Ecological Society of America)於美國猶他州第一次召開生態工法研討會
1995	第一個SCOPE座談會在愛沙尼亞(Estonia)的Tallinn舉行

生態工程的歷史（會議、期刊）

時間	重要事件
1996	在丹麥Copenhagen召開之生態高峰會議將生態工法列入生態學新領域中
1996	在國際水理學會(IAHR)成為一獨立的部門(Section)
1996	在中國大陸北京第一次召開遠東地區生態工法研討會
1999	於俄亥俄州立大學舉辦生態工法研討會(Ecological Engineering Workshop 1999)，會中決議應儘速成立「美國生態工法學會(American Ecological Engineering Society)」，以整合學術研究之成果、技術，加速交流與推動
2001	於俄亥俄州立大學舉辦生態工法國際研討會(Ecological Engineering Workshop 2001)
2001	生態工法學會(American Ecological Engineering Society)於喬治亞州立大學舉辦第一次年會
2002	生態工法學會(American Ecological Engineering Society)於佛蒙特州立大學舉辦第二次年會

生態工程的歷史

河川整治所需的「**近自然工法**」至今仍是生態工程最主要的應用軸心

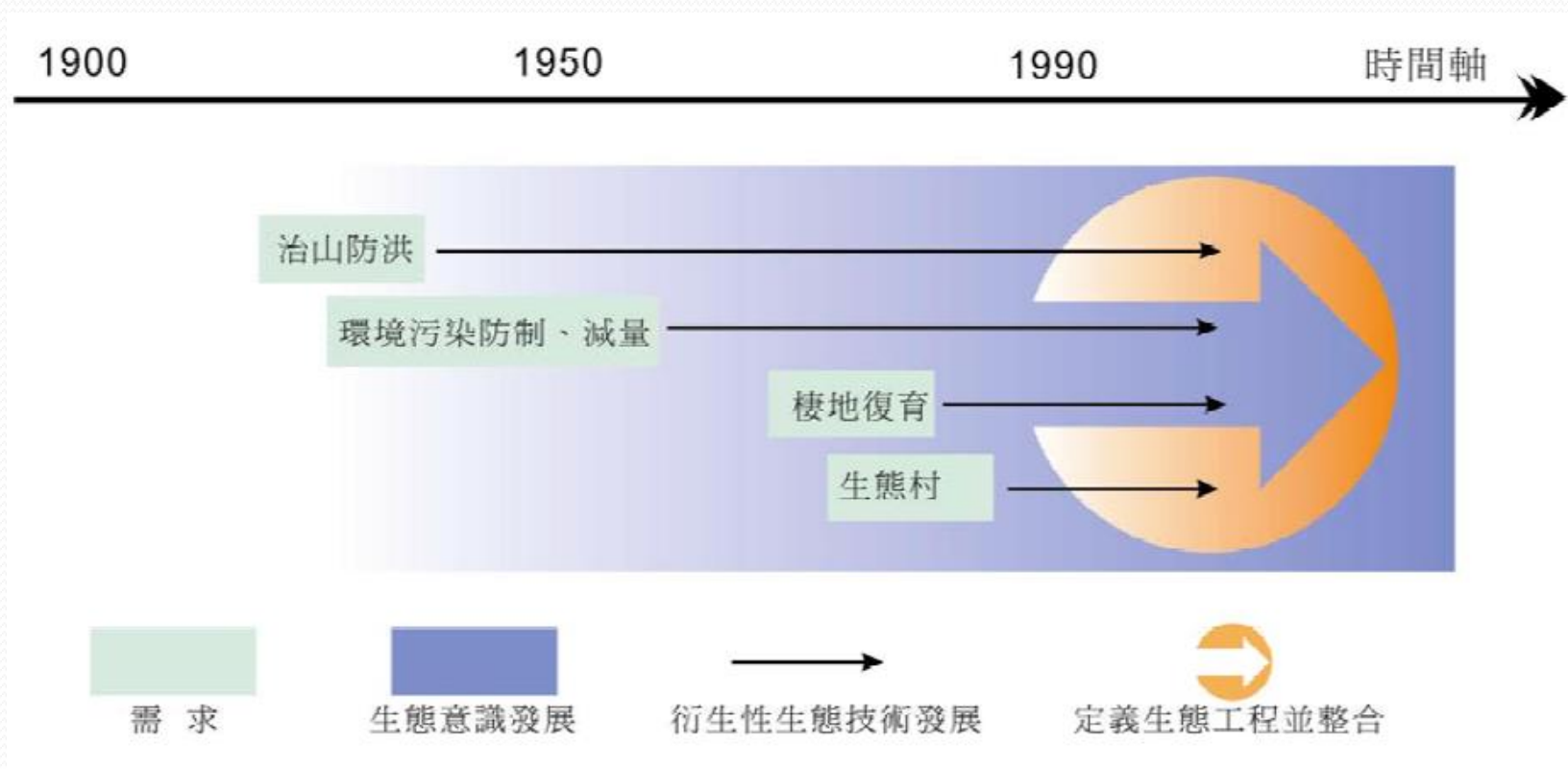


圖 2 各類型生態技術發展進程與整合

生態工程的理念基礎

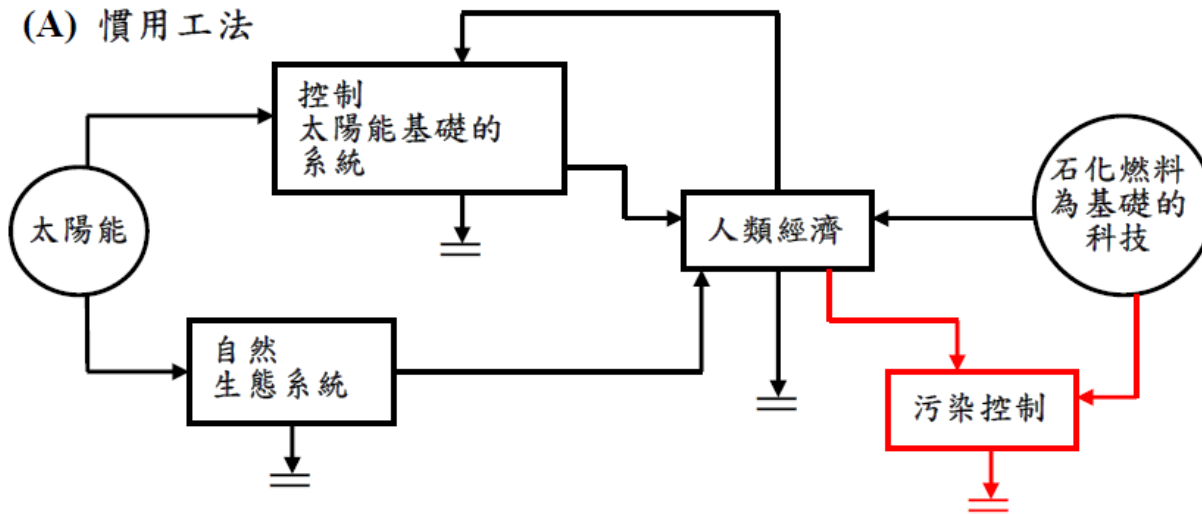
- 歷經數十年醒悟與觀念和技術之調整，各界對於生態工程的精神與原則，逐漸產生一定之共識。而Mitsch和Jørgensen於1989年彙整各家見地後，清楚界定**生態工程所應具備的本質與內涵**：
 - 1) **自我設計(self-design)**：生態系具有自我操控的能力，並藉此改變調整系統中物理或化學環境，使其更加美好(palatable)。這種特質，使大自然能進行部份的建造(engineering)工作，人類能於系統中擔任促進者的角色，但由大自然自行發展。
 - 2) **生態系保育(ecosystem conservation)**：生態工程需仰賴豐富的物種和極多元化的生態系來設計、建構各式過程及產物。因此，除非絕對必要，否則對生態系任何的**限制、干擾、消耗**，都會產生不良後果。而這種對於生態系價值的認知，將促進人類對於生態保育的正面態度。

生態工程的理念基礎

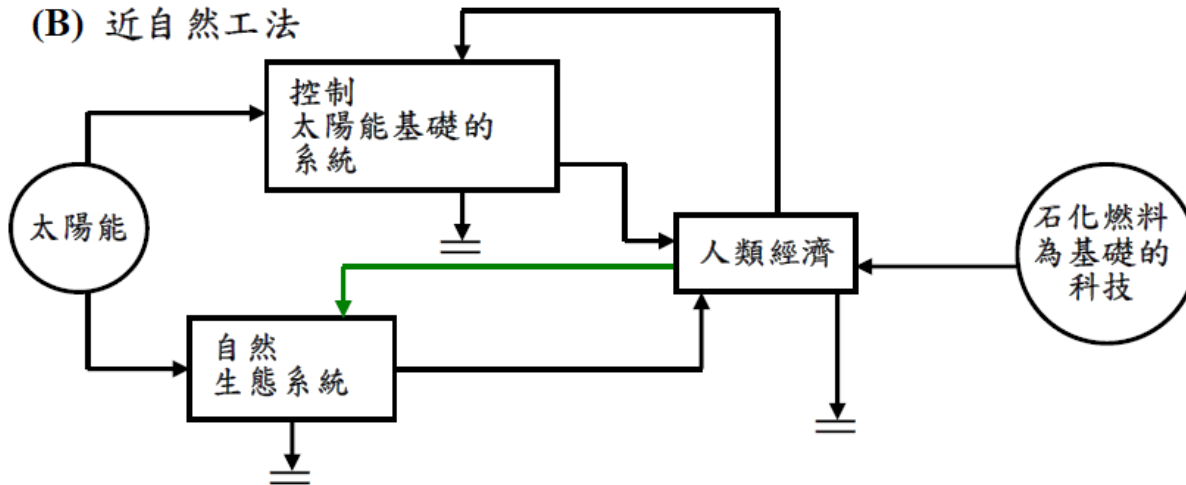
- 3) **以太陽能為基礎(Solar basis)**：生態系以太陽能為基礎，因此生態工程或生態技術便應該建立在對於這種**自我永續(self-sustainability)**的認知上。大自然必須依賴人類的技術或高科技方能生生不息，人類社會與自然環境之間，如能設計適當的介面，則少量的人為介入即可維持生態系的永續。
- 4) **大自然密不可分的一部分(a part of, not apart from nature)**：當一個社會將生態系自日常生活中抽離(除了享受遊憩和自然所提供的美之外)，就必須另外開發利用非再生資源，以彌補額外處理人類所製造出來的污染；而若將社會視為生態系的一部分，則人類不但能享受大自然所提供的遊憩與美的附加價值，同時也能減少污染的產生，降低對於非再生性資源的需求。

生態工程的理念基礎

(A) 慣用工法



(B) 近自然工法



傳統工法及生態工法之比較

<http://www.youtube.com/watch?v=DYuLI88scyA>

圖 3 慣用工法 (A) 未將人類與生態系視為一體；近自然工法意念 (B) 中則重新檢視人與生態的互動關係(資料來源：Mitsch & Jørgensen, 1989；本文重繪)

生態工程的定義

H. T. Odum :

- 可謂第一個定義『ecological engineering』一詞的學者。
- 其於1962年一場研討會中，發表『Man in the ecosystem』一文，提出以能量為基礎的觀念：「在人類所操縱的環境中，利用一小部份額外的能量，控制一個以自然能量為基礎的系統，生態工程所應用的規則雖以自然生態系為出發點，但之後所衍生的新系統將有別於原者」。

生態工程的定義

- 之後(1971年)，於所著『Enviromental, Power and society』一書中，延伸生態工程的概念：「生態工程便是**自然之經營管理**，力圖以獨特的觀點補強傳統工程(conventional engineering)，或可謂一種**與大自然合夥關係(partnership)**」。
- 近期(1983年)，H. T. Odum在系統生態學的研究領域中，再次為生態工程下註解：「這種融合生態系的新式工程設計便是一種利用**自律行為(selforganization)**系統的領域」。

生態工程的定義

Uhlamn(1983) , Straškraba(1984,1985)與
Straskraba和Gnauck(1985) :

- 所謂**生態技術(ecotechnology)**是指基於對生態的深
度認知，一種用於管理生態系的技術，其目的在
於將執行相關措施的成本，及其對環境造成的損
害降至最低。

生態工程的定義

Mitsch和Jorgensen(1989) :

- 使人類社會與其自然環境都能受益之設計。

(the design of *human society* with its natural environment for the benefit of both.)

美國國家科學院(National academy of sciences, NAS) :

- 整合人類社會與其所在之自然環境，並使兩者皆能受益之可持續的生態系統設計。

(the design of *sustainable ecosystems that integrate human society* with its natural environment for the benefit of both.)

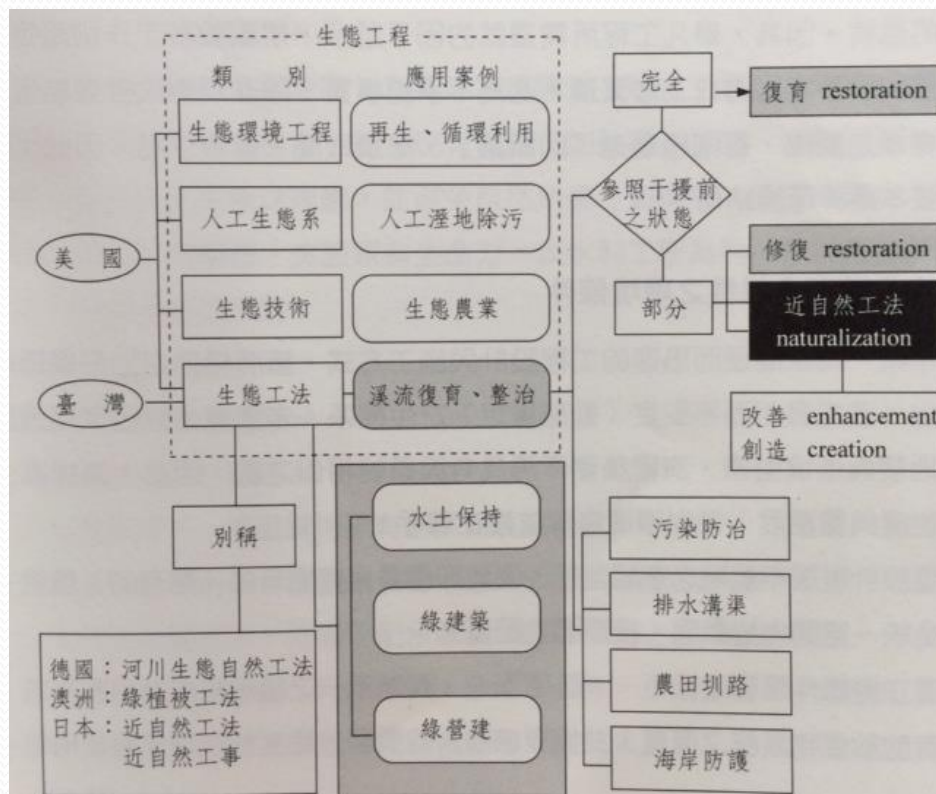
生態工程的定義

- 生態工程(Ecological Engineering)是「整合**人類社會**與**自然環境**，基於兩者的利益，而發展的**永續生態設計**」。(Mitsch, 1998)
- 簡而言之，生態工程包含創造與修復對人類與環境有利的**永續生態系統**。

生態工法

- **生態工法(Ecological engineering method)**是根據生態工程的理念所衍生之”遵循自然生態特質的解決問題的方法”，亦即，生態工法並非”特定工法”，舉凡能以兼顧生態需求並有效治本的技术皆屬之。

因此，有形的工程構造物，無形的管理措施，只要有助於回復生態功能，同時滿足人類的工程目的者，都應納入考量，且不宜過分強調或偏重任何一者。



廣義、狹義生態工法之應用彙整 (林鎮洋，2003)

生態工程的目標

- 修復受到人類環境污染與土地干擾等活動所破壞的生態系統。
- 發展同時具有人類與生態價值的生態系統。

Straskraba生態系運行原則

- Straskraba強調生態系統之所以能存在並進行，是依循一套不變的原則，包括下列11項：
 - 1) 能源與物質不減定律
 - 2) 可接受並儲存信息與資訊
 - 3) 具擴張性，傾向由能源高處移至能源低處，由高組織性轉為低組織性
 - 4) 具開放性，能接收能源與資訊
 - 5) 能成長
 - 6) 有限制性
 - 7) 有區別性，分高低等動植物及不同生態位階
 - 8) 有多種回饋系統，如直接、間接回饋
 - 9) 具穩定性
 - 10) 有能力調整適應與自我重組
 - 11) 具連貫性與一貫性，牽一髮而動全身

生態工程應用準則

- 下列準則提供作為應用生態工程時參考，其中有許多認知與Mitsch和Jørgensen等人提出論點不謀而合：
 - 1) 減少能源浪費，善用太陽能
 - 2) 加強資源回收，減少不必要的開發
 - 3) 盡量保存所有的生態結構，如河川山坡等，以維持應有的多樣性
 - 4) 應著眼於未來，追求永續經營
 - 5) 人類需仰賴各種生物(有機體)以維繫生命
 - 6) 考慮生態系統之動態平衡
 - 7) 從大自然學習如何處理複雜的系統，尤其是適應力
 - 8) 人類對外來刺激具有一定的敏感度
 - 9) 將生態系統視為一個有連貫性、整體性的動態系統來進行經營管理
 - 10) 評估所有可用之經營生態系統方法

生態工程應用準則

- 11) 避免在別處造成二次傷害
- 12) 各種行為不應超過生態系統的涵容能力
- 13) 生態系統對人類經營措施，具有某種程度的自我調整、適應性
- 14) 評估環境資源的外部成本，如發展高山農業所帶來的利益和所能造成的負面影響
- 15) 評估人類對自然環境所有的使用情形

美國生態工程學會

- 美國生態工程學會(American Ecological Engineering Society, **AEES**)與國際生態工程學會(International Ecological Engineering Society, **IEES**)可說是現今在生態工程的研究、應用及推廣領域中，最重要的兩大非營利性組織。
- IEES成立於1993年，主要行政核心位於瑞士。而AEES於2001年成立，宗旨在於發展整合人類社會與自然環境的永續生態系統，並透過教育宣導及社區服務達到增進自然環境整體利益，同時擴展專業性及組織性，促使政府正視生態工程議題及鼓勵原創性研究。

美國生態工程學會

- 近年年會主題如下：
 - 「生態工程於都市發展之應用」
 - 「生態系統模式與分析」
 - 「河川溪流棲地復育」
 - 「生態工程及廢棄物管理」
 - 「生態復育監測」
 - 「生態工程應用於水質淨化的管理」
 - 「發展中國家之生態工程」

美國生態工程學會

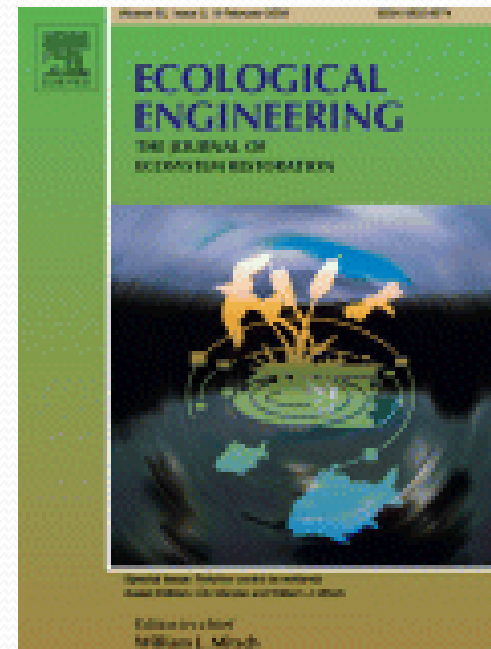
- 歐美地域幅員廣大包含多種氣候類型，原本境內多數為農業，早期因過度農業開發、發展各種產業及人口聚集都市化結果，使得大規模濕地成為農田及建設用地，衍生如水質汙染、物種減少、自然河溪棲地嚴重破壞、水資源浪費、植物物種單一化等多項問題。
- 歐美學者發起推行生態工程理念，加上政府機構及民間顧問公司積極參與，配合理論基礎與實務經驗，應用於溪流整治、水資源管理、汙染去除、濕地保育及永續農業經營等相關領域，逐漸回復自然生態環境。

美國生態工程學會

- 相較於美國大陸型氣候特性，境內河川流線甚長、山林坡地較緩等地理特性，台灣的地貌及亞熱帶氣候條件較為特殊，如海島地形、地震頻繁、降雨量集中、河川流線短小水流湍急、坡地陡峭等條件均與美國差異甚大。
- 但AEES、IEES過去在生態工法的發展史中，將學術研究試圖結合實務應用，對學術界及工程界貢獻不遺餘力，特別是在生態復育及河川溪流、濕地生態工法方面，其經驗值得我們學習。

Journal of Ecological Engineering

- 於1992年創刊，創刊與主編者為William J. Mitsch，同時也是美國俄亥俄州州立大學教授。
- 在其創刊編輯上說：「生態工程與生態系統復育的需求在開發中與已開發中國家已越來越受到重視」。
- 「此外，生態工程的成效也使得其相較於傳統工程(為了解決環境問題)更為廣泛的被接受，因其具有低成本、持久性較長等優點」。



台灣生態工程的發展

- 近年來隨著環保意識的抬頭，維護自然生態環境的呼聲不斷，有鑑於此，行政院公共工程委員會(以下簡稱工程會)在實踐『**維護生物多樣性**』的政策下，致力推動生態工法以達綠色營建的終極目標。
- 國內自1998年起積極推動於水利工程中應用生態工法之研究與嘗試，直到2001年起，在行政院公共工程委員會的提倡下，陸續引起其他類型工程應該採用生態工法之探討。
- 2000至今，國內從學術研究領域，開始從**集水區治理**的面向切入，進行專題的深度探討。
- 2001年，**九二一重建委員會**推動生態公法進行崩塌、邊坡整治。約從2002年起，配合相關政策之推動，積極擴大嘗試河川、水土保持，以及道路等各類工程之應用。

台灣生態工程的發展

- 行政院公共工程委員會為加強推動生態工程，於2002年協調相關部、會、局分別設置生態工程相關網站，全面性收集相關資料。
- 各政府有關單位，如：交通部、內政部營建署、農委會水土保持局，以及經濟部水利署等，亦開始著手應用生態工法之研擬，因此至2002年，生態工程相關成果如雨後春筍般萌發。
- 由於各國對生態工法（近自然工法、生態工程），皆有不同的解釋，為宣導生態工法避免造成混淆，工程會於2002年8月議成國內生態工法之統一定義：「所謂生態工法便是指基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展。而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。

台灣生態工程的發展

- 於2003年10月25日舉辦全國生態工程博覽會，在總統的帶領下發表生態工程宣言六點：
 - 1) 用「全球思考、在地行動、尊崇自然、追求永續」作為永續臺灣的指導原則。
 - 2) 基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，應採取對生態系統造成傷害最小的永續系統工程，以達到經濟、環境及社會公平兼容的目標。
 - 3) 政府應優先採用符合生態原則的工程，以建立綠色家園，恢復臺灣山川地貌、生物多樣性為施政重點。

台灣生態工程的發展

- 5) 建立產、官、學、研及社區居民、地方保育人士等多向溝通交流管道，以匯集政府、產業、民間三股力量，落實生態社區與永續發展的目標。
- 6) 避免過度開發、超限利用，結合工程與生態，融合人文與環境，將尊重與關愛及於每一個人、每一種生物，促進人與環境的共生共榮。
- 7) 致力推動環境、生物多樣性及生態工程教育，以追求「永續發展」的氣魄和格局，讓臺灣回復美麗風采，讓大地重現盎然生機。

台灣生態工程的發展

- 行政院公共工程委員會為強化各部會對生態工程之研究及整合，於2004年2月邀集各部會及專家學者研究，自2005年開始成立『生態工程及生物多樣性』專案研究計畫，並分為七組分別指定主管機關：
 - 溼地生態工程組(環保署)
 - 海岸生態工程組(水利署)
 - 溪流生態工程組(水利署)
 - 山坡地生態工程組(水土保持局)
 - 城鄉生態工程組(營建署)
 - 道路生態工程組(公路總局)
 - 資料庫建置組(特生中心)

台灣生態工程的發展

- 前述『生態工程』專案計畫，國科會原擬於2005年行政院公共工程委員會提升為國家型計畫，但經內部協調後決定改以重大科技計畫提報。
- 行政院公共工程委員會於2005年委請交通大學郭一羽教授研究並作成『生態工程重大科技計畫整體規劃』案，以為各部會署研擬生態工程計畫時之參考依據。
- 行政院公共工程委員會於2006年6月將『生態工法』改為『生態工程』並行文各相關單位施行。

生態工程的分類

- 依應用
- 依尺度

生態工程的分類 – 依應用

- 生態工程和生態系統重建依據應用的類型或功能，可分為5個類型（Mitsch & Jørgensen, 1989）：
 - 1) 生態系統應用於減低或解決污染的問題
 - 2) 模仿 (imitated) 或複製 (copied) 生態系統來減低或解決資源的問題
 - 3) 修復嚴重受創的生態系統
 - 4) 以生態的方法修正生態系統
 - 5) 善用生態系統且不破壞其生態平衡

生態工程的分類

- 例如水域和陸域的生態系統，顯示著生態工程的廣泛與應用性。

生態工程方法	陸域	水域
生態系統應用於減低或解決污染的問題	植物矯正(利用植物處理污染)	廢水溼地
模仿(imitated)或複製(copied)生態系統來減低或解決資源的問題	森林復育	溼地替換
修復嚴重受創的生態系統	礦區復育	湖泊復育
以生態的方法來修正生態系統	選擇性伐木	生物操縱
利用生態系統且不破壞其生態平衡	永續農業	多種水生物種栽植

生態工程的分類-(1)減低污染問題

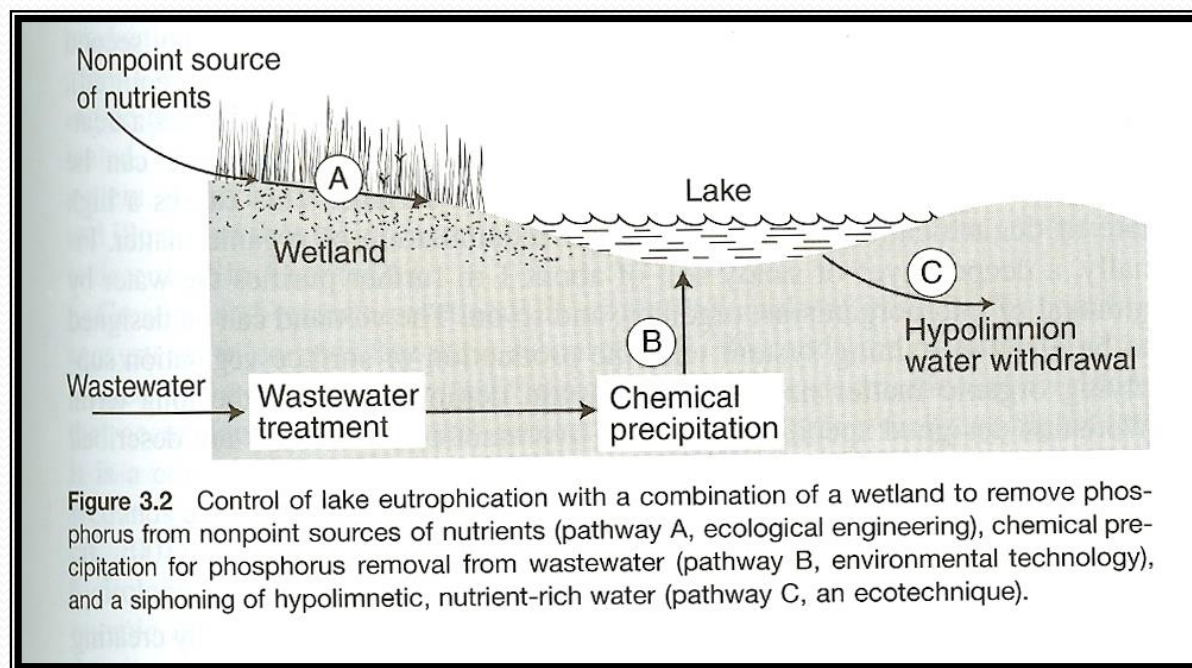
1) 處理湖水中過量的氮磷

- 湖中的氮磷含量被認為是污染問題，而環境科技可應用來減低營養物的輸入(input)。如果來源為非點源，將無法有效的控制氮磷造成的藻類增生。

生態工程的分類—減低污染問題

- 海岸邊的濕地用來攔截潮流中的營養物，營養豐富的深水層利用虹吸的原理吸出湖底的營養物。溼地也提供動物棲息的場所。這例子說明了環境科技無法單獨發生效果，因此可以利用生態科技補強。

控制受氮磷污染導致藻類急速生長的湖泊和溼地，從非點源的營養源中消除磷(路線B，環境科技)，和利用深層水的虹吸原理，吸出水中豐富的營養物(路線C，生態科技)

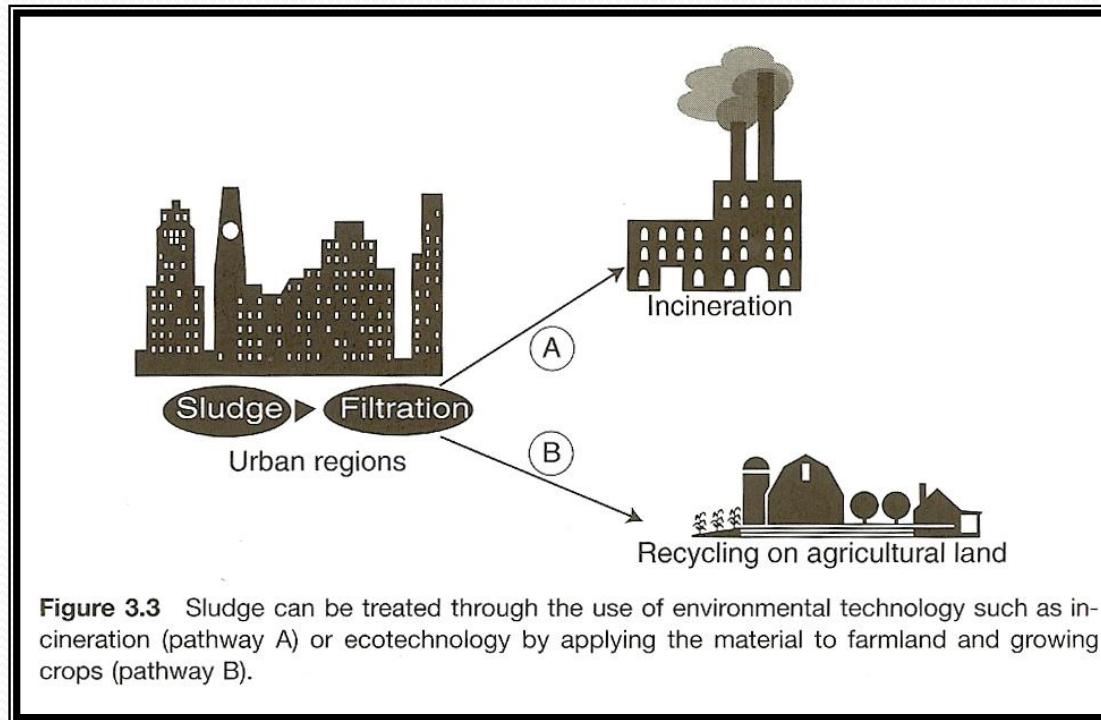


生態工程的分類—減低污染問題

2) 污泥處理：

- 廢水處理場使用焚燒(環境科技)的方法來處理污泥，會造成空氣污染，且焚燒後的爐渣和灰燼還是需要處理。
- 但在另一方面，如果污水處理廠所處理的廢水中無工廠廢水輸入(如有將會造成污泥中含有重金屬)，生態科技可將污泥視為營養物與有機物，可以堆積在農地上作肥料。

生態工程的分類—減低污染問題

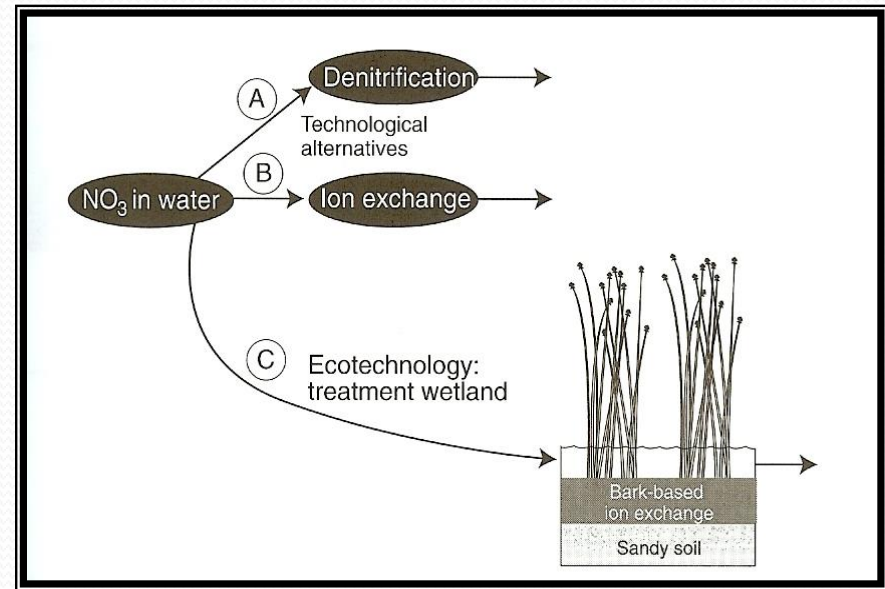


- 污泥可以透過環境科技作處理，例如焚化(A路線)或利用生態科技在農地上施用污泥作為農作物的肥料。

生態工程的分類—減低污染問題

3)消除水中的硝酸鹽：

- 環境科技法 (Environment technology)
 - 利用離子交換法或除氯法來進行去除。這兩種方法的成本較高。生態科技使用一個處理型 (treatment) 的溼地來處理。

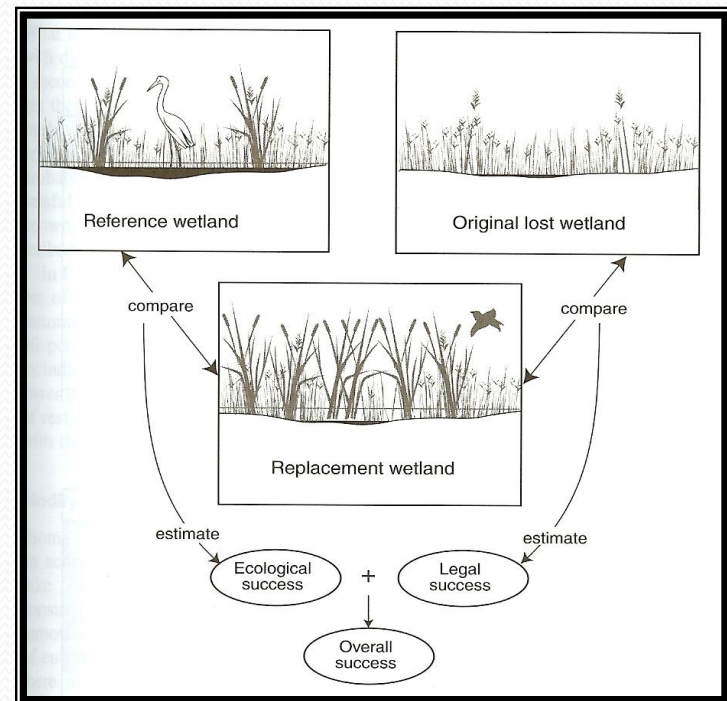


- 利用除率與離子交換(A、B路線)等環境科技與溼地處理(C路線、生態科技)來去除水中的硝酸鹽。

生態工程的分類-(2)模仿或複製生態系統

模仿(imitated)或複製(copied)生態系統來減低或解決資源的問題

- 模擬現有的生態系統，創造或重建一個和自然生態系統一樣的系統，來解決污染或資源問題。
- 當設計或模擬一個生態系統時，區分出水質標準的成功或生態的成功很重要。

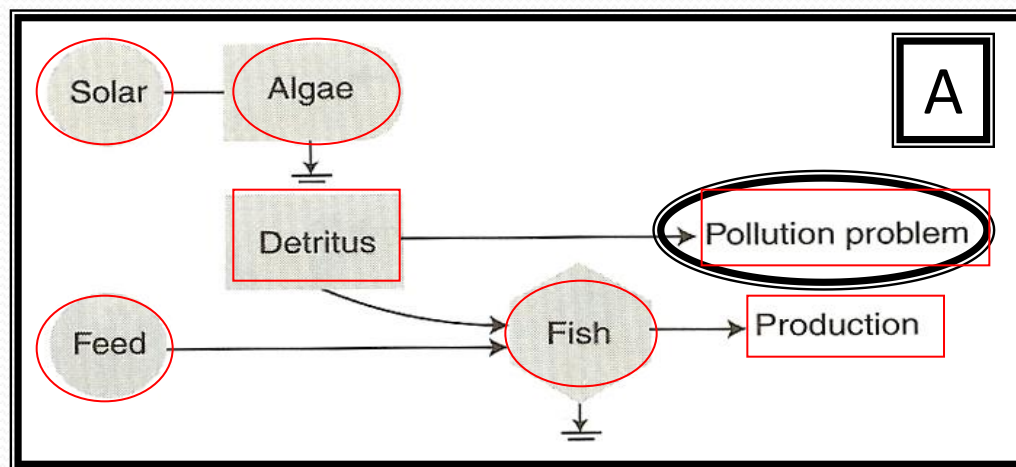


生態工程的分類-(2)模仿或複製生態系統

- 在二十世紀初期，人類便已知利用溼地承接污水，而近幾十年間全球計有逾千個溼地系統被實際應用，其中又以人工溼地（**constructed wetland**）為大宗。此類研究與應用之目的在於以人工溼地當做二級處理程序或高級處理程序，尤其人工溼地之建置對環境之衝擊相對較低，一旦完工後基本營運之管理成本亦較低（荊樹人等，2001），且與周遭環境自然融合，提供多樣之生物棲地等附加價值，致使許多國家願意發展此類技術。

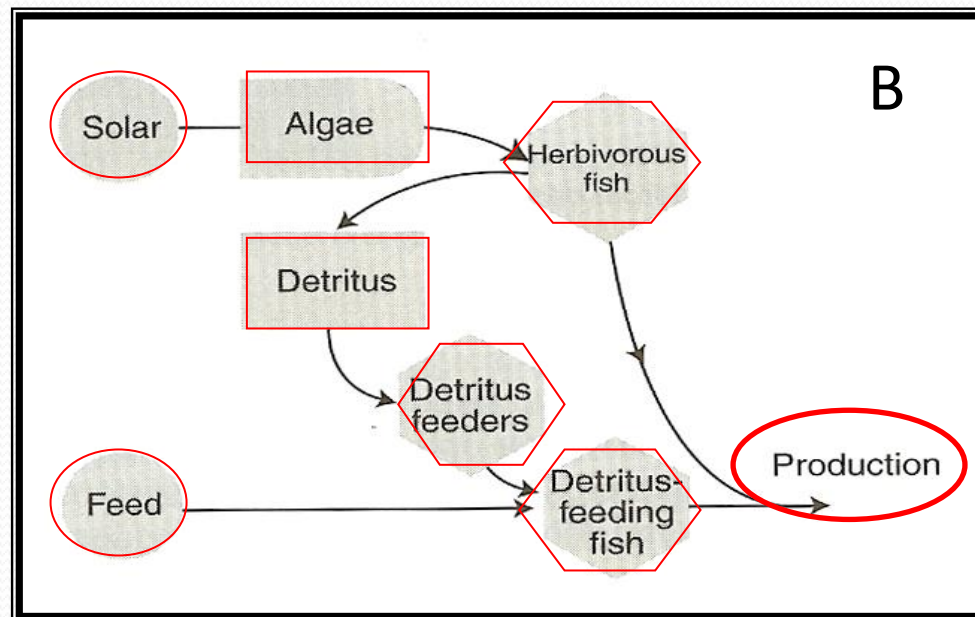
生態工程的分類-(2)模仿或複製生態系統

- 1) 以魚類養殖為例：傳統的養殖方法只餵食飼料與某些藻類，產生單一種魚類與被污染的水。(圖A)



生態工程的分類-(2)模仿或複製生態系統

- 如果以水域生態系統觀點去設計水塘，增養一些魚類(草食魚)與水生植物，魚類可以吸收過多的肥料，水生植物可作為其他魚類的食物，水塘至少可以養殖兩種以上的魚類，並可清除水中的污染。(圖B)



生態工程的分類-(2)模仿或複製生態系統

- 2) 創造或重建濕地補償資源的損失，是另一種模擬或複製生態系統的例子。在美國重建或創造的溼地經常是為了「減輕(mitigation)」因開發大賣場或高速公路造成的溼地破壞。這樣的做法頗受爭議性，因為許多人認為，這樣將使得破壞溼地合法化和建造不具功能性的溼地。如果設計或建造的溼地可以融入現有水文系統，那麼就可以達到補償的作用。

生態工程的分類-(2)模仿或複製生態系統

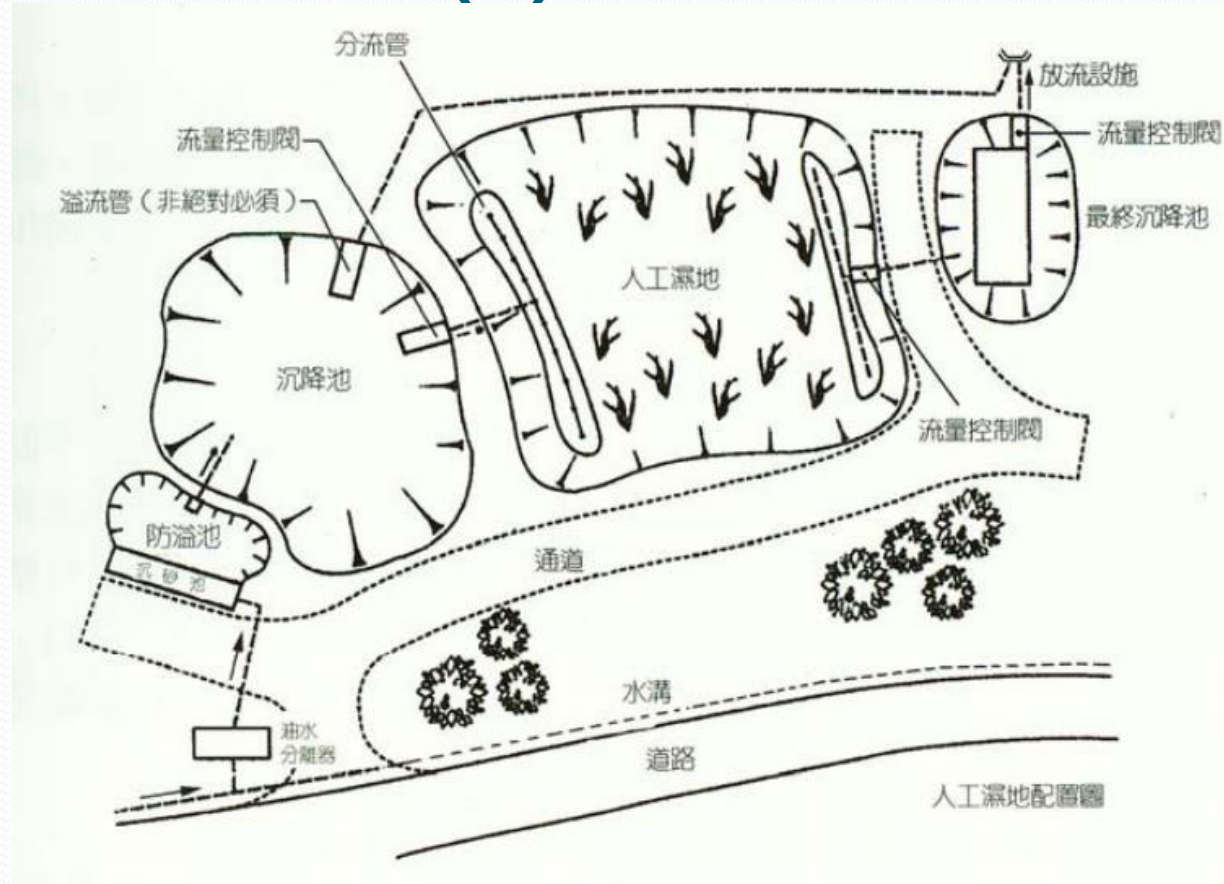
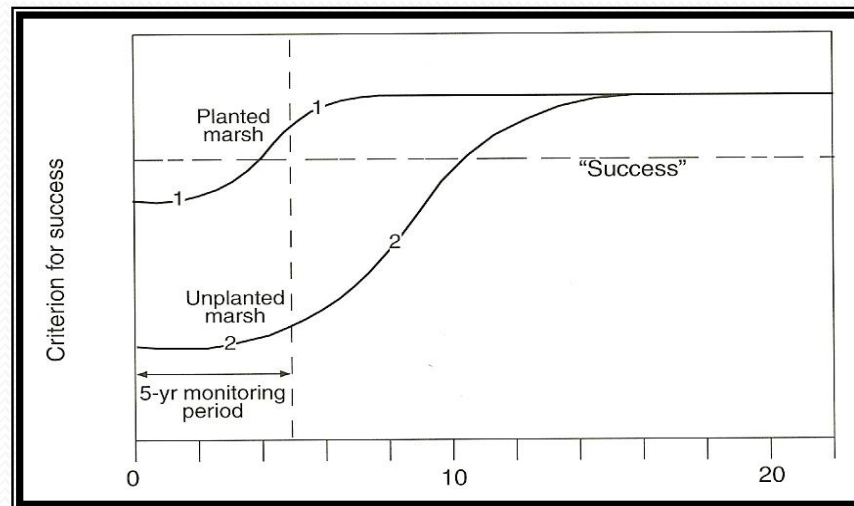


圖 2-2 理想化的人工溼地配置圖〈林鎮洋、邱逸文，2003〉

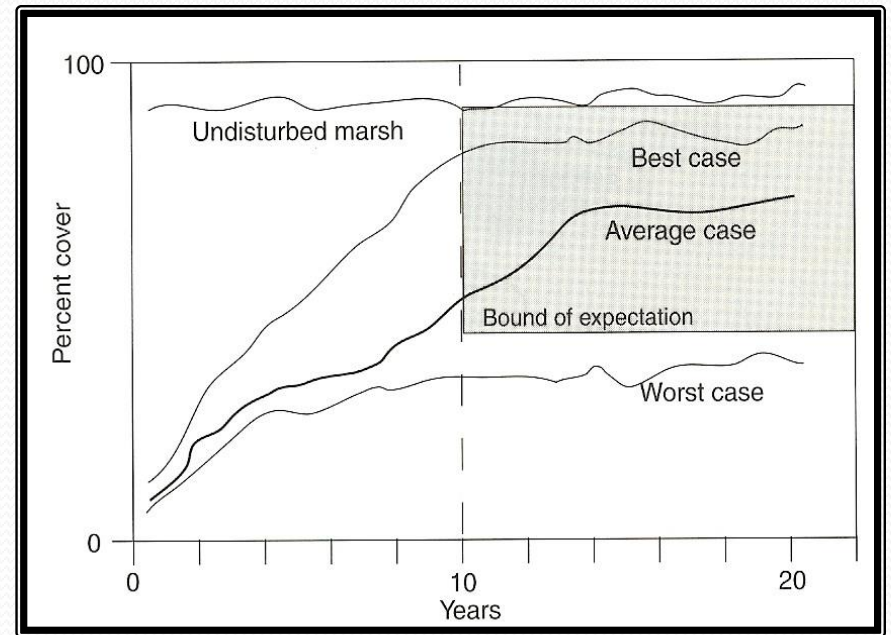
生態工程的分類-(3)生態系統修復

- 可藉由人為的管理或方法，來加速生態系統的修復。
- 下圖為沼澤之重建情形，溼地的復育成功期為五年後，兩者達到相同狀態需要15年。
 - 路線1為有植生的沼澤，其達成功的標準不需五年。
 - 路線2為未植生的沼澤，其恢復期可能長達10年以上。



生態工程的分類-(3)生態系統修復

- 鹽水沼澤在美國因法律的要求，必須依特定的時間完成。右圖為鹽沼重建20年後植生覆蓋率和自然沼澤比較的假設曲線，以及預期的狀況。



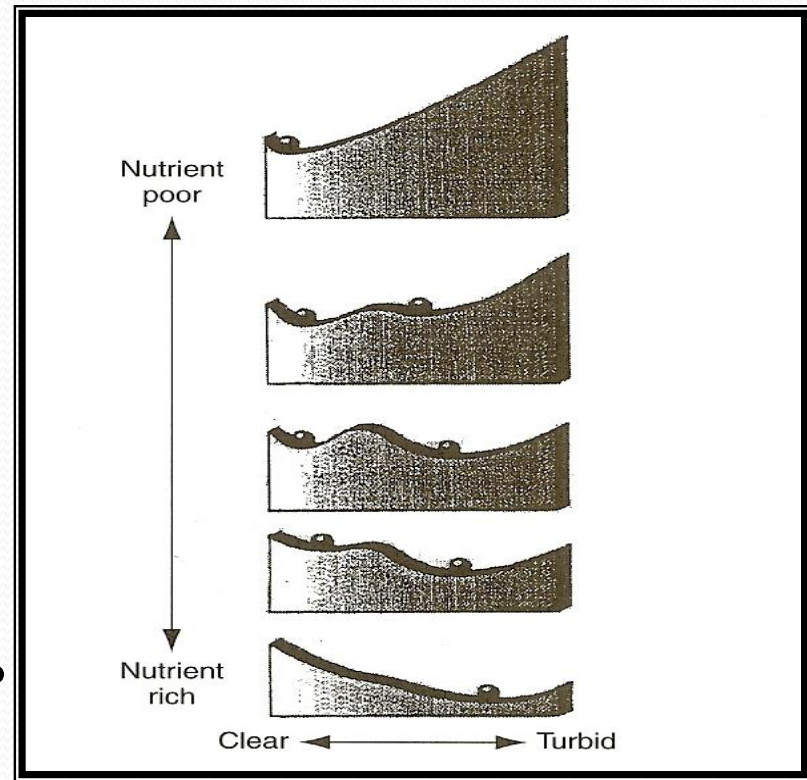
生態工程的分類-(4)生態方法修正生態系統

以生態的方法來修正生態系統

- 可以利用改變食物鏈的方式來改變現存生態系統的架構。如湖與水庫優養化的情形，可以利用生物操作的方法來控制水質。可將肉食性魚類(梭魚)放入水庫中，浮游性魚類數量就會減少。大量的浮游魚類可以清除水中的藻類；而藻類可以減少水中的磷與氮。

生態工程的分類-(4)生態方法修正生態系統

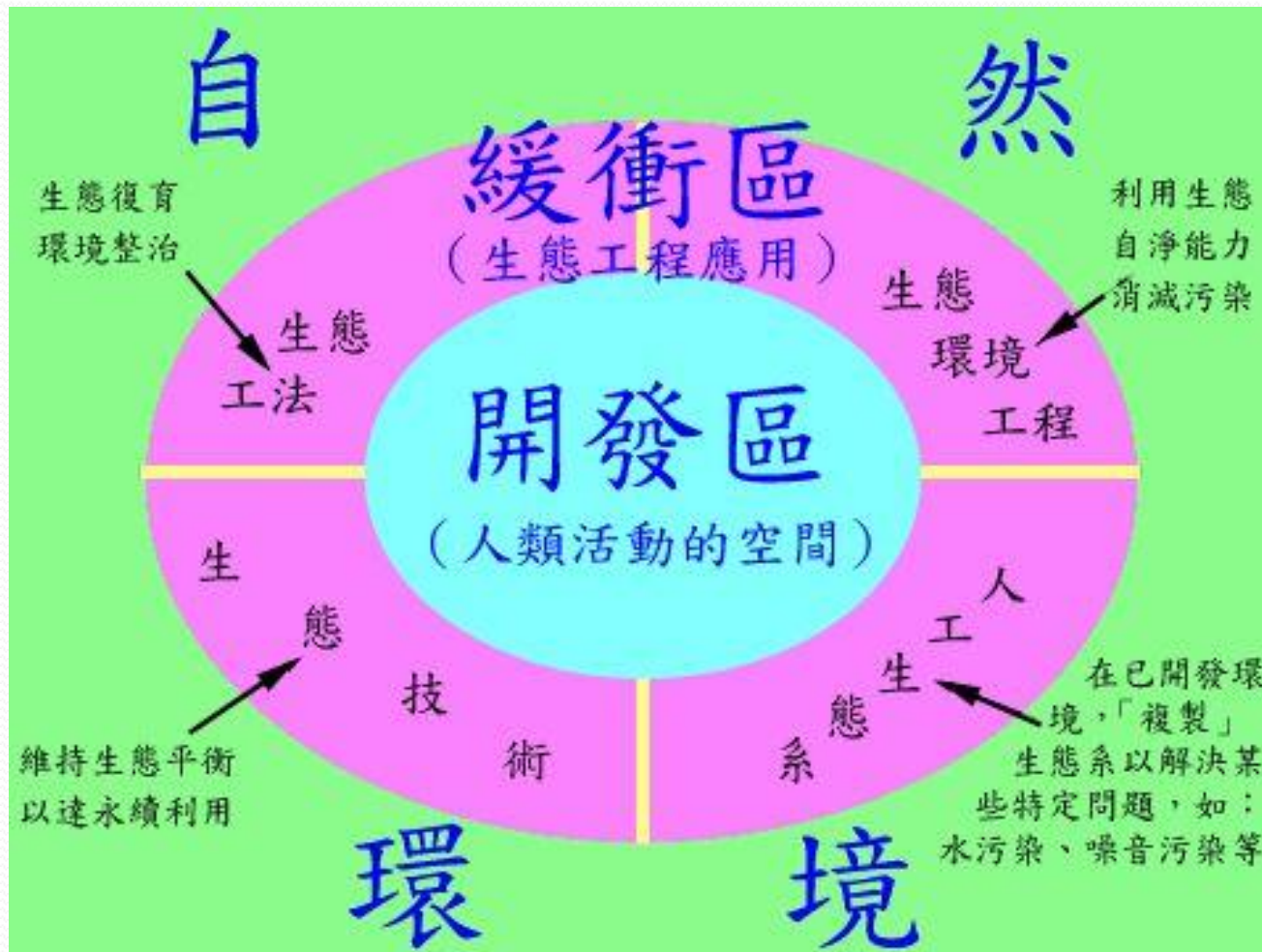
- 水庫的穩定度可依賴生物操縱方法來控制。優養化與貧養的水分別為清澈或混濁。藉由引進肉食性魚類的控制，可以導致藻類生長快速的情況改善。



生態工程的分類-(5)善用生態系

善用生態系且不破壞生態系

- 健全地使用生態系資源為最普通之類型，農林生態系是最典型的例子。使用生態健全的方式收穫可更新資源(木材與魚類)，有時可稱為永續管理。



近自然工法是生態工程的一種。有效應用各種生態工程不但使人類能扮演一個善意的消費者，同時降低人類活動對環境的衝擊

生態工程的分類-依尺度分類

- 為簡化生態工程使用方法與系統多樣性，Mitsch(1993)將生態工程的研究分成三類空間尺度：
 - 生態系實驗室 (mesocosms)
 - 生態系統 (ecosystems)
 - 區域系統 (regional systems)

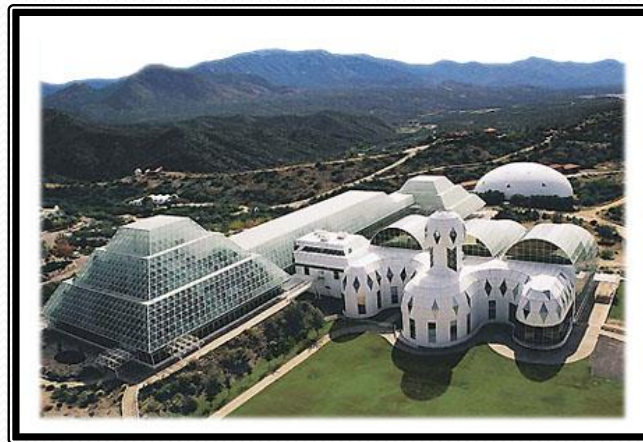
生態工程的分類-生態系實驗室



<http://home4u.hongkong.com/education/secondaryschool/hwbio/topic/ecosphere.htm>

生態系實驗室 (mesocosms)

- 一般是指人造的封閉系統，範圍介於實驗室的小空間系統與亞利桑那州的生物圈之間。



<http://www.bio2.edu/>

生態工程的分類-生態系實驗室

■ 生態實驗室尺度 (Mesocosm Scale)

生態工程計畫案	位置	目的	參考資料
污泥處理	麻州,Harwich	從垃圾場的污泥製造出乾淨(飲用水)的水	Guterstam and Todd; 1990 Teal and Peterson, 1991
Everglades與Chesapeake灣的模型	華盛頓特區	模擬大尺度空間下，物理與生物的作用	Adey and Loveland, 1991
生物圈2	亞利桑那州Catalina山	1.5公頃的密閉溫室，研究人類與生態間的關係	Marino and Odum, 1999
實驗型溼地	加州聖地牙哥	研究營養物與金屬在水循環中的關係	Busnardo et al., 1992; Svengsouk and Mitsch, 2001
實驗型溼地	俄亥俄州Columbus	比較植物在營養不良與營養豐富的沼澤中生長的情形	Svengsouk and Mitsch, 2001
實驗型溼地	俄亥俄州Columbus	研究以硫化物為襯底的處理型溼地	Ahn et al., 2001;Ahn and Mitsch 2002b
泥炭地區重建	荷蘭Waikato區和紐西蘭	測定泥炭地區肥料、種子與耕種技術的關係	Schipper et al., 2002

生態工程的分類-生態系統

生態系統 (ecosystems)

- 生態系統主要應用於溼地與水污染控制之生態系統，這些也是現今最常見的生態工程例子。1970年代早期，佛羅里達州 Gainesville 和密西根州 Houghton 湖以原尺寸的實驗和示範計畫，研究利用自然溼地做廢水回收(recycling)。路易斯安那州利用生態系統縮尺計畫研究造林在溼地上的作用。

生態工程的分類-生態系統

■ 生態系統尺度 (Ecosystem Scale)

生態工程計畫案	位置	目的	參考資料
海口試驗區	北卡羅來納州 Morehead	研究廢水對海口水域的影響	Odum, 1985'1989b
利用溼地植物根系 處理廢水	瑞典	研究溼地植物根系對Shall鎮 的廢水處理	Gumbricht, 1992
創造河濱溼地	俄亥俄州 Columbus	研究植物在生態系統中長期的 變化	Mitsch et al, 1998
礦區排水系統修復	俄亥俄州Athens	研究香蒲對水中鐵的影響	Mitsch and Wise, 1998
溼地控制非點源污 染	挪威中部與南 部	評估溼地保留效能與水域營 養物流失的影響	Braskerud, 2002a、b
河水污染控制	中國蘇州	利用水生風信子系統做水污 染控制和飼料生產	Ma and Yan, 1989
非點源污染控制	伊利諾州中部	營造溼地消除中部農業污水 中的營養物	Kovacic et al., 2000; Larson et al., 2000

生態工程的分類-區域系統

區域系統(regional systems)

- 區域系統包含建造或重建多個(multiplicity)生態系統，並加強格局(pattern)和路徑(pathway)間的聯繫。這種系統通常與經濟利益有關，且人類是系統的一部分。如在中國，人類的食物與生態系統設施或生態系統機能彼此有關。

生態工程的分類-區域系統

■ 區域系統尺度 (Regional Scale)

生態工程計畫案	位置	目的	參考資料
河岸景觀重建	伊利諾州湖郡	重建美國中西部河流沖積平原和制定溼地重建設計程序	Hey et al, 1989; Mitsch, 1992; Sanville and Mitsch, 1994
區域性景觀重建	佛羅里達州中部	在磷礦區重建濕地	Brown et al, 1992
農業生態工程	中國數千個基地	大規模回收利用從事多樣化農耕	R. Zhang et al., 1998
漁業生產與溼地系統	中國江蘇省	同時從事漁業生產與溼地生產	Mitsch, 1991
創造鹽水沼澤	中國浙江省	作為海岸保護和食物與燃料的生產	Chung, 1985、1989; Qin et al., 1997
鹽水沼澤復育	紐澤西州 Delaware灣	重建鹽水沼澤	Winstein et al., 1997、2001; Teal and Weinstein, 2002
河水逆流重建	法國中部Rhone河	重建及加強河流和逆流水的關聯	Henry and Amoros, 1995; Henry et al, 2002

生態工程的基本概念

生態工程的基本概念

- 生態工程在透過工程解決環境的問題方面應用不同於傳統方法的基本概念。生態工程的概念如下：
 - 建立在生態系統自我設計能力的基礎上
 - 生態學理論的測試
 - 系統的方法
 - 保存不可更新的資源
 - 支持生態系統的保育

生態工程的基本概念 – 自我設計

- 生態系統在創造和重建過程中，**自我設計**(self-design)和**自我組織**(self-organization)是重要的特性。此為生態工程最基本的概念。
- **自我組織**是系統的屬性，一般指在不安定且非同質性的環境中自我整頓的能力。
- 自我組織本身出現在微觀的環境(microcosm)和新產生的生態系統中，「經過競爭後所留下的物種，這些物種佔有優勢，優勢物種是經過營養循環(nutrient cycles)、幫助再生(aids to reproduction)、控制空間多樣性(control of spatial diversity)、族群規則(population regulation)等過程所篩選出來的」。 (Odum, 1989a)

生態工程的基本概念—自我設計

- 所有的生態系統都有某種程度上的自我組織能力，Pahl-Wostl(1995)認為系統有兩種被組織的方式：
 - **綜合**(從整體到細節)的控制(top-down control)或外力的影響。
 - **自我**組織。
- 前者為傳統工程常用的方式，可產生嚴謹的結構，但缺乏改變之彈性(適合必須預測安全性和結構可靠性的工程設計)。
- 後者是解決生態問題所需的特質。當涉及到生物系統時，生態系統依據作用力內在的回饋產生變化、接納和成長等能力變得非常重要。

生態工程的基本概念—自我設計

- Mitsch(2004)將**自我設計**(self-design)定義為「自我組織在生態系統控制中的應用」。
- 自我設計是生態系統中的一種過程，其過程類似於**演化的過程**。(Mitsch 1988)
- 經由自我設計的過程，系統內將會留下最適合當前環境的植物、微生物與動物。
- 生態工程依賴生態系統和自我設計能力。當改變發生時，自然系統跟著轉移，物種彼此互相取代，食物鏈也跟著重組。當物種分類時，更適合環境的新系統會出現。
- 人類提供開始的物種和適合的環境與自我設計，之後，自然控制一切。

生態工程的基本概念-生態學理論的測試

- 生態工程會是生態學理論的最後試驗。
Bardshaw(1987)將受干擾而修復的生態系統描述為「我們對修復系統理解度的決定性考驗」，我們會「從失敗中學的更多，因為失敗會很清楚地顯示不適合的想法；而成功只會證實與支持，也無法絕對地確認主張。」Carins(1988a)更直接地說：「錯誤的生態學原則，將使生態學家花費更多的時間在生態系統的重建。」

生態工程的基本概念-系統的方法

- 自我組織是整體系統的特性，對局部(parts)而言是無意義的(Pahl-Wostl, 1995)。
- 生態工程比一般生態系統管理策略更需要整體觀點。如同生態學家所做的生態模型一樣，生態工程強調整個生態系統的考量，而非僅限於單一物種。

生態工程的基本概念-保存不可更新的資源

- 多數的生態系統是以太陽能量為基礎，因此都能自我永續。一旦生態系統建構完成，就必須能透過自我設計加上少許的干擾而永續維持下去。
- 生態工程使用較少不可更新資源，因此其在解決污染和資源問題時，比傳統方法更省錢，尤其是系統維護和永續性。

生態工程的基本概念-支持生態系統的保育

- 生態工程主要在於修復或保育受到干擾的生態系統，並加以保存。
- 舉例來說：當民眾認知溼地的生態系統具有防洪和淨化水質的價值時，接受與保護溼地的熱情程度是前所未有的，儘管他們早就知道溼地對於野生動物棲息地的價值。(Mitsch and Gosselink, 2000)
- 簡而言之，生態系統價值與確認使得生態系統與物種保存更具正當性。

生態工程的設計

- 102年苗栗穿龍圳生態工程成果短片

<http://www.youtube.com/watch?v=6jSPosiLCYM>

生態復育

生態工程-生態復育

- 生態復育(Ecological Restoration)在科學上有許多定義，例如：
 - ✓ Cairns(1990)、Henry與Amoros(1995)提出生態復育以自然再生為基礎，且成功的建立一自我維持正常生態過程的系統。
 - ✓ 梁世雄(1998)定義復育為再造生物和其環境間因人類干擾而喪失的聯繫。

生態工程-生態復育

- **Nation Research Council(1992)**有更詳細的定義：
 - **復育**(Restoration)：恢復生態系到一個接近原來未受干擾的狀態。
 - **復原**(Rehabilitation)：改善此系統到一個可運作的程序。
 - **管理**(Management)：操作此系統確保維持一或多項的功能。

上述觀念有其重疊性及相互關連性。

- 綜合而言，生態復育的定義包括將生態系恢復到**接近某一歷史狀態**為目標。

生態工程-生態復育

- Wyant 等人(1995)指出，生態復育應包括：
 - 1) 確定生態棲地及社會系統需要的數量，經由大量的科學及公開輸入機制決定。
 - 2) 對自營系統功能及結構元素的確定，並可提供其數量。
 - 3) 藉由物理、化學、生物，甚至是社會或文化元素系統的操控，協助生態系統恢復到自營狀態。

生態工程-生態復育

- 環境復育的先驅工作可藉由對基地環境的**生態觀點** (Ecological Perspective)加以引導，其包括生態系統、主要種類的功能、設計、適當管理等。
- Patorok等人(1997)曾提出四個主要生態觀點：
 1. **生態系統**觀點：瞭解生態系統在不同時間與空間尺度之構造及功能對於復育計畫是必須具備的。復育的位置應著眼於集水區及地區性的環境背景，目標應確定在適當的空間尺度。
 2. 主要的**種類功能**觀點：除了物理性棲地因子，現況的某些有機組織及其功能角色將決定復育計畫的結果。

生態工程-生態復育

3. 具賭注性的**設計**觀點：生態系的組成為一具有時間與空間變化的馬賽克樣式(Mosaic)棲息地。自然及人類侵擾的環境將會影響馬賽克花樣與景觀標準的程序。系統動力的不可預測性意含著復育計畫目標很少有完整性。一具賭注性的策略，在復育計畫上依賴於空間歧異性及可塑性。
4. 適當**管理**觀點：適當管理需要有彈性的目標及設計與長期的施行甚至到周詳的監測及開始執行後細部的調整。其次由規劃達到生態復育目的，很多的復育計畫無法達到預期的效果主要是因為規劃不夠周詳或對生態系統不瞭解，而導致生態工程規劃達到最小結果，甚至復育計畫失敗。

生態工程-生態復育

生態規劃

- 生態復育規劃步驟為釐清既有的問題，清楚說明計畫目標及瞭解生態復育之不確定性。



生態工程-生態復育

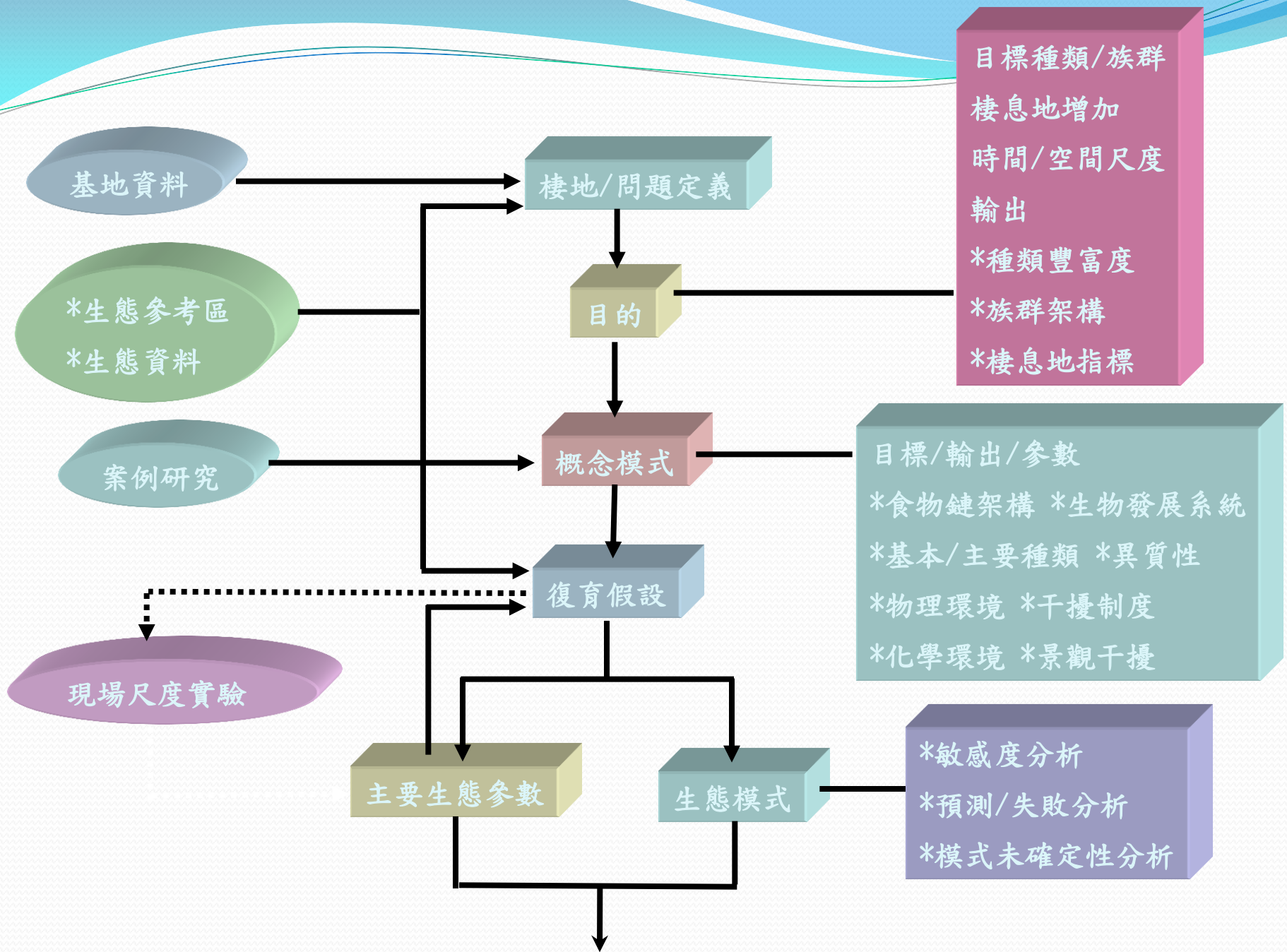
- Wyant等人(1995)指出，進行生態復育應思考：
 - ✓ 復育之目的或端點 (Endpoint)。
 - ✓ 人類干擾的生態累積衝擊。
 - ✓ 最佳生態復育方法與技術。
 - ✓ 如何判斷生態復育的成功或失敗。

生態工程-生態復育

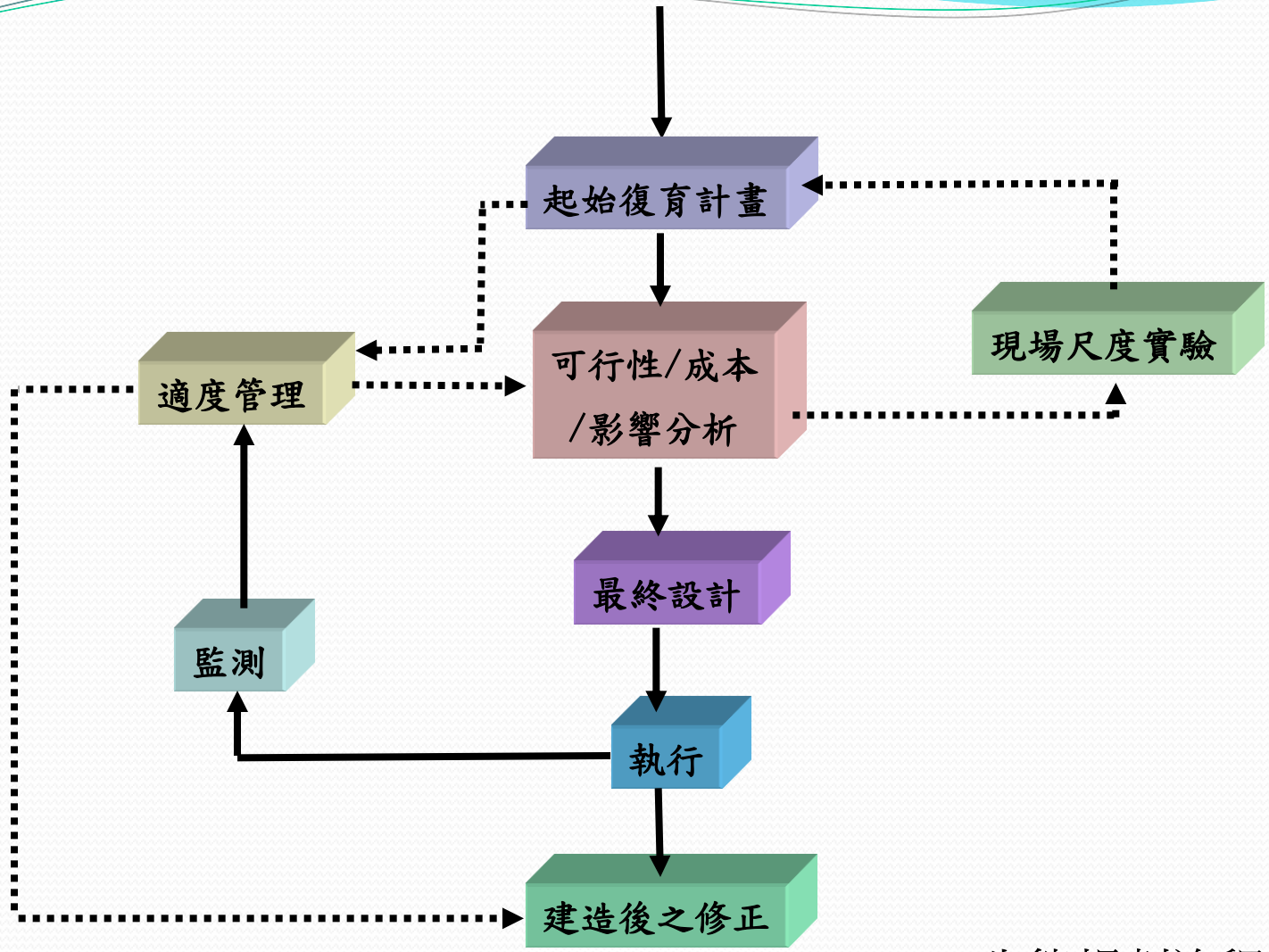
- **Pastorok等人(1997)**亦曾提出，**生態規劃程序的初始步驟**應包括：
 - ✓ 將物理、化學及生物狀態量化，以定義出棲息地現有的問題
 - ✓ 發展復育計畫的目的及目標，包括可到達目標的期限
 - ✓ 發展欲恢復生態系之生態模型
 - ✓ 發展復育的假說
 - ✓ 使用概念模式確認出操作或監測的主要生態參數與改善執行的準則

生態工程-生態復育

- ✓ 利用生態模型或參考區的資訊來評估及改善復育假說(Charles與Thom, 1996 ; Chritophe與Claude, 1995 ; Simenstad Tom, 1996)
- ✓ 發展復育設計
- ✓ 評估執行的可行性、成本與影響性
- ✓ 發展最終的復育設計及執行計畫
- ✓ 計畫執行
- ✓ 執行監測及適當的管理包括維護



■ 續上圖



生態規劃流程圖
(修改自Patorok等人，1997)

生態工程-生態復育

Pastorok 等人之步驟詳述如下：

(一) 定義目的及目標

- 定義計畫目標是很重要的，因此在定義目標時，必須先瞭解現場生態系統及其歷史之發展。其次必須透過科學觀點來適當的瞭解現場之問題。復育計畫的目標應儘可能對環境變數有所認知。

生態工程-生態復育

- 同時可採用一些生態指標作為復育的目標，美國EPA(1990)於生態指標的原則提出了一些建議，這些指導方針的目標亦可作為復育的目標。
- 選取生態指標之標準如下：
 - ✓ 物理、化學或生物的生態系結構及功能的元素
 - ✓ 與社會及環境評價有關聯性
 - ✓ 對不同壓力水準有敏感性
 - ✓ 需要有限的樣品及具有成本有效性

生態工程-生態復育

(二) 生態模式、復育假設及主要參數

- 復育計畫的目標及訊息，來自於現場調查、參考區(參考棲地)或案例研究提供生態系觀念模式發展的基礎，概念模式顯示出目標種類、實施指標及主要生態參數間的關係。(Charles與Thom, 1996；Chritophe與Claude, 1995；Simenstad與Thom, 1996)
- 生態環境的概念模式必須包含物理環境、基礎循環與群落過程(競爭、生物多樣與自然演替等)。(Wyant等人, 1995)

生態工程-生態復育

- 復育假說說明預期的變化在實施指標與主要參數間之關係，包括這些參數被操控於復育的成果。主要生態參數是驅動的變數，其可決定族群結構、功能及影響實施指標。
- 模式的使用可以幫助瞭解生態程序及驅動生態系統觀察變遷確定主要參數。概念模式可用以確定基本種類、重要種類及工程種類，並確定主要生態參數及發展量化生態模式。

生態工程-生態復育

- 綜合而言，概念性生態模式可包括如下：(Patorok等人, 1997)
 - ✓ 主要生物程序及棲息地特性
 - ✓ 食物鏈架構及主要資源種類
 - ✓ 可以影響復育目標的基礎、基本原理及工程種類
 - ✓ 滿足復育目標之最佳物理特性
 - ✓ 由於自然或人類侵擾的連續性事件
 - ✓ 棲息地時間及空間的不同可以影響復育目標
 - ✓ 可以影響復育目標的自然阻礙制度
 - ✓ 可以支持或抑制復育目標之景觀影響

生態工程—生態復育

■ 對水域復育的實例

復育類型	問題	動作	假設說明
海草區復育	因為運輸的關係使得海草幾乎滅亡，進而影響到魚類的數量	<ol style="list-style-type: none"> 1) 重新評估船的交通量 2) 移植海草使A種類的魚群數量增加 	<ol style="list-style-type: none"> 1) A種類的魚可以在海草密度為20 shoots/m²時遷入 2) 在移植海草後的兩年，海草數量可達20 shoots/m²。 3) 在六年後A魚的數量與未復育的地點有明顯的增加
湖泊復育	因養分的大量輸入，使得湖泊造成優氧化	<ol style="list-style-type: none"> 1) 控制經由降雨所帶入的農業廢水 2) 在湖底增設曝氣設施 3) 生物控制 	可以利用生物控制的方法來控制優養化的現象
香蒲沼澤復育	海狸的消失使得香蒲沼澤有柳木等木本植物入侵	<ol style="list-style-type: none"> 1) 引進海狸 2) 將香蒲移植到有海狸的水池 	一些親水性的植物可以在五年內覆蓋>50%以上的河岸溼地。這些植物可以保護海狸族群不受干擾。
河川復育	因為運輸業的需求，將大型的漂流木移除，造成河床的侵蝕	引進大型的漂流木，漂流木樹徑>0.5 m，且保有完整的根系	漂流木可以穩定河床並減少河床的侵蝕。漂流木可以增加河中的水潭，並在10年後可以增加70%的動物棲息地

生態工程-生態復育

- 復育假說及主要生態參數的確定引導復育行動的計畫，為了調整假說及分類主要生態參數，量化生態模式是很重要的。
- 例如：模式敏感度分析可以幫助確定大部分影響執行指標的參數。量化不確定分析及失敗分析對於評估復育行動及避免失敗有很大的幫助。

生態工程-生態復育

(三) 不確定性與失敗的處理

- 生態系統本身在時間與空間上有很大的隨機變異，所以最佳的策略是在計畫階段預設失敗的可能性，對生態參數及程序瞭解的不確定性將會增加失敗的風險度。規劃階段對變數與不確定性的特性化，可以導引最佳預測包括生態發展、計畫成功的機率與失敗潛在的機會。
- 於復育規畫階段，使用任何生態模式量化不確定性分析，可以幫助我們瞭解問題的限制。計畫目標可以說明替代結果及生態系結構，復育設計之「成功-失敗」方法明顯不同於標準工程設計之傳統「成功-失敗」之方法。

生態工程-生態復育

- 復育計畫的失敗主要歸咎於不當的目標或不當的功能設計。原因包括：
 - ✓ 不當定義開始的問題或不瞭解生態特性
 - ✓ 模糊的計畫目標
 - ✓ 不瞭解營養需求及目標種類的忍受極限
 - ✓ 當目標種類需要環境變化時，嘗試去穩定物理-化學環境
 - ✓ 移植不當的基因族群
 - ✓ 缺乏瞭解外來族群的入侵
 - ✓ 不可預測的族群關係
 - ✓ 不可預測的自然或人類侵擾

生態工程-生態復育

- 不確定性本身在預測未來的環境狀況為了特定復育計畫排除了選擇單一值的設計參數作為最佳設計。因此，部份的最佳設計規劃應結合物理、化學及生物設計因子的不同成份作為賭注性(Bet-Hedging)的策略。



生態工程-生態復育

(四) 復育設計、可行性及實驗

- 復育設計可以從觀念模式、量化模式、參考區(參考棲地)、研究案例或復育實驗資料發展出來
 - ✓ 當更多的實驗及案例研究資料支持起始的設計及替代方案評估，可以提高復育設計之可信度。
 - ✓ 實驗可以導引並支援成本及影響分析，特別是大尺度之替代設計測試時，實驗同樣可以用於調整(或驗證)生態模式及復育假說。

生態工程-生態復育

- 局部及地區性生態的限制
 - ✓ 在復育事件上必須考慮其可行性、成本及替代方案
 - ✓ 量化的計畫目標應有彈性：假設一項設計是不適當的復育計畫，將會對非目標的族群造成不當影響
 - ✓ 復育之替代方案對於目標或非目標種類的風險均應予以評估

生態工程-生態復育

- 小地方尺度的復育設計或子設計
 - ✓ 提供實驗驗證，使得設計可以執行
 - ✓ 小地區試驗對空間尺度的選擇則有賴於可靠的結果、實施之可行性及成本效益之評估
 - ✓ 現地實驗已經廣泛使用於土地復育計劃(Bradshaw 與 Chadwick, 1980)

生態工程-生態復育

(五) 實施、監測及適當管理

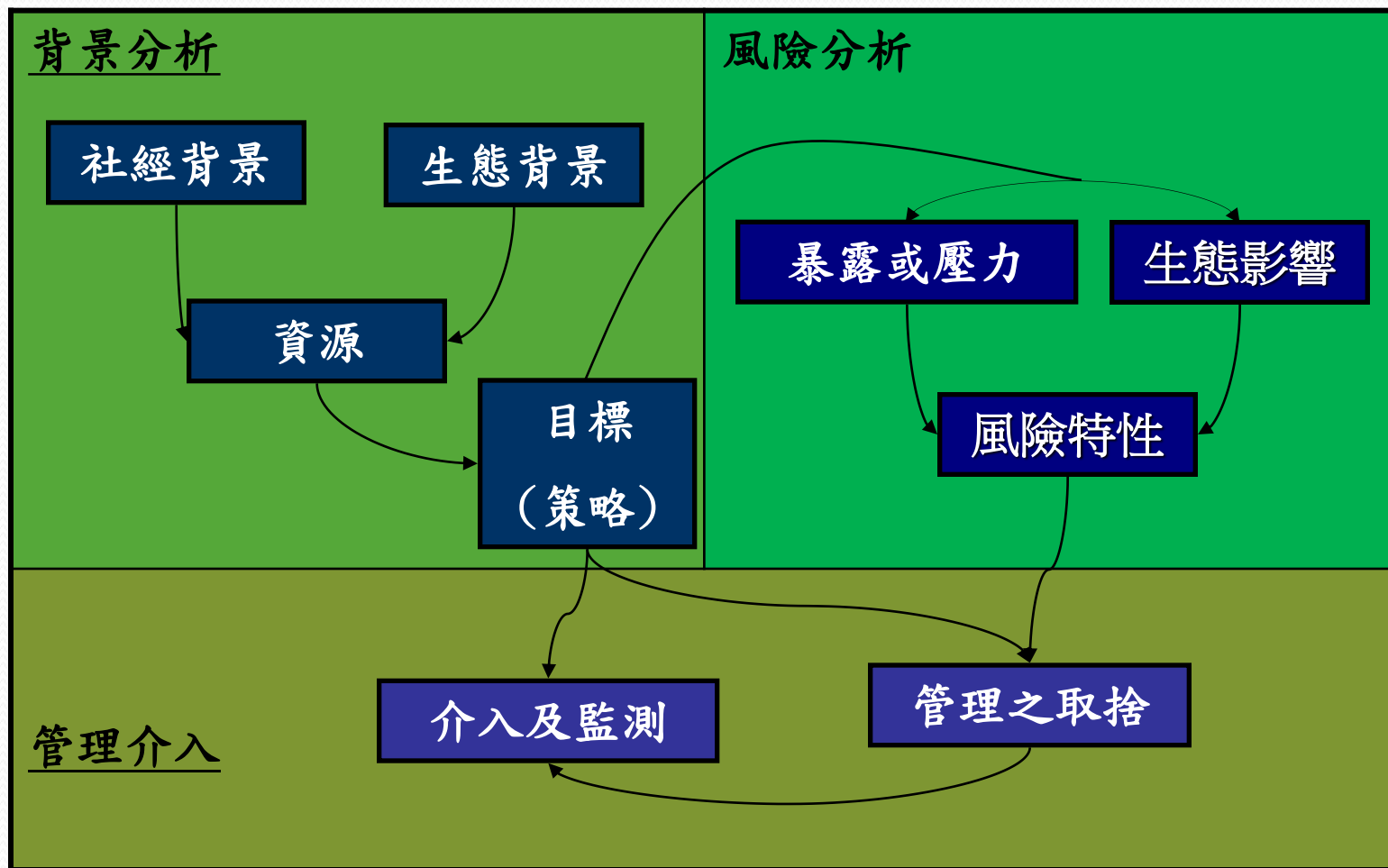
- 最後復育計劃的實施發展自可行性、成本及影響分析的結果。
- 適當的管理(Holling, 1978)需要基地的長期實驗。適當管理可以包括與其他任何計畫步驟之相互關係。監測結果可用以修正計劃目標，並可用以評析復育方法或技術的最有效方法。
- 參考區(參考棲地)與復育區之不同時段之監測與比較亦是生態復育之重要步驟。(Charles與Thom, 1996；Henry與Amoros, 1995；Simenstad與Thom, 1996)

生態工程-生態復育

- 很多學者對於監測程序均有詳細敘述，例如：
 - ✓ Kentula等人(1993)提出監測溼地生態特性的有效意見(即為施行指標Performance Indicators)，大多數的施行指標可用以減少遺失重要生態影響計畫的風險度。
 - ✓ Henry與Almros(1995)訂定出指標，以評定河川復育之成功與否。

生態復育之決策

生態工程-生態復育之決策架構



生態工程-生態復育之決策

- 當決策者訊息有限時，決策架構可以用來瞭解與作為參考指標。若替代目標被評估為復育計劃時，決策架構可用以組成基本訊息。它包括了環境背景分析 (Context Analysis)、風險分析 (Risk Assessment) 及管理介入 (Management Intervention) 其相互間在生態復育之關係。(Wyant 等人, 1995)

生態工程-生態復育之決策

- 在生態復育過程中將會面對生態及社會經濟。生態復育與管理需要達成生態、經濟與社會考量之平衡，復育計畫需考慮其生態或科學及公共與政策之公平性。(Mackenzie, 1993 ; Henry與Amoros, 1995)
- 復育目標必須對社會是有正面價值，生態系的事物需要依存於社會及文化的環境背景。
 - 分析社會的背景包括傳統的成本-效益研究，考慮群體、目標、及替代事物的發展。
 - 復育事件要嘗試去瞭解及容納已設計的不同復育事件。

生態工程-生態復育之決策

- 風險度特性包括結合人類壓迫的強度及威脅重要的生態資源可能性的分析。風險評估對生態資源的挑戰，事實上是人類造成的侵擾通常結合直接途徑去影響資源，此外，一連串自然侵擾及自然循環的不穩定性也會影響生態資源。
- 因此兩個基本問題必須要解決：
 - 決定生態資源的自然不穩定性由於自然干擾及其他暫時的動力程序；
 - 對自然變化的背景決定人類造成的減少、損失或增加生態資源。(Wyant 等人, 1995)

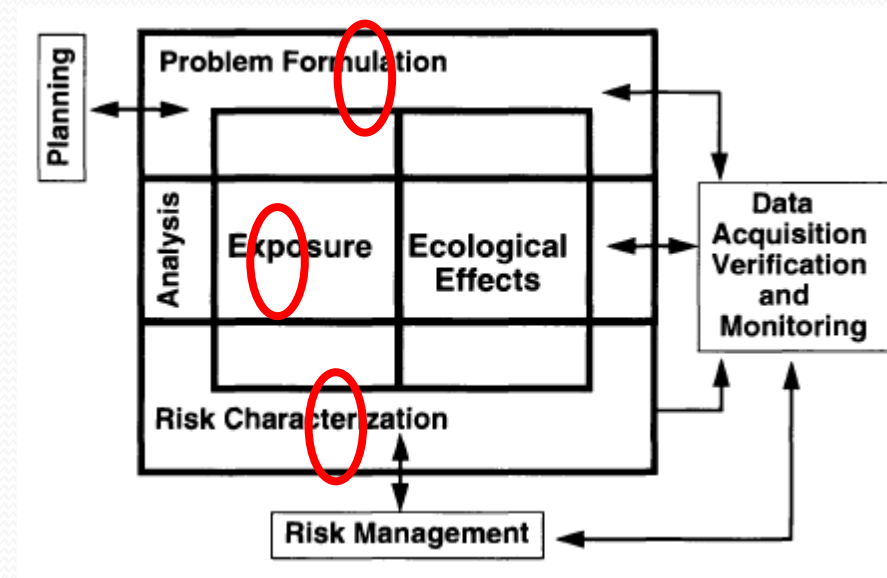
生態工程-生態復育之決策

- 風險分析的技術包括初步災害分析、事件樹型分析、錯誤樹型分析、錯誤模式與影響分析及人類可靠分析等。環境背景分析及風險分析是在很多可能生態復育選擇中兩個設立優先順序的必要步驟。

生態工程-生態復育之決策

- 這是一個由USEPA所發展的**風險評估模型**其主要包含了三個部分：(Fava et al., 1992；Harwell and Gentile, 1992；USEPA, 1992；Gentile et al., 1993)

- ✓ 問題規劃
- ✓ 分析
- ✓ 風險描述



生態工程-生態復育之決策

- 問題規劃：

確認生態系統間的影響，找出復育的終點，並用來發展概念模式。並分析因人類操作(drivers)改變環境(的所能達到的終點。

- 分析(analysis)：

估計模式、實驗與資料間的關係。

- 風險描述(Risk Characterization)：

用來作為前兩項風險的評估。

生態工程-生態復育之決策

- 特定介入的選擇，其包括改變現場狀況的不同生態工程技術，如建立持續性的植栽去控制侵蝕或非點源水質與緩和在美觀上的影響。
- 無論如何，景觀尺度及生態系統復育的觀念需要現場尺度的生態工程，確立生態工程方法的開始程序是建立自然功能及自營性生態系，而這些是景觀不可或缺的一部份。

生態工程-生態復育之決策

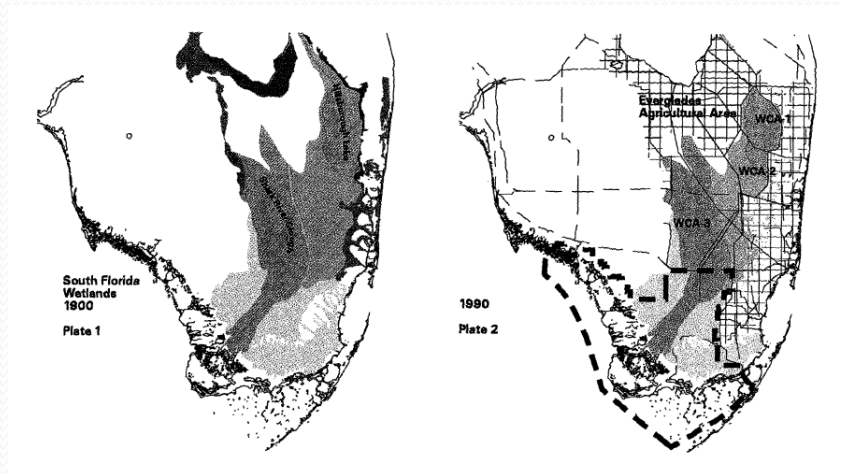
- 最後，監測是一個回饋的步驟，其提供結合有效的風險評估、環境背景分析及管理介入間權重的一項機制。
 - ✓ 監測與評估重要的生態系功能是決定是否改變復育系統的指標，當監測結果顯示復育的生態系狀況有實質上的差異時，額外的復育需求將被指示出來。
 - ✓ Henry與Amoros(1995)即指出復育之成功與失敗將暴露理論應用之能力與弱點，但這判定須要依據長期的監測與結果報告。

資料來源：

- 生態工法概論，林鎮洋、邱逸文，2003。
- American Ecological Engineering Society，<http://aeesociety.org/>
- Science Direct – Ecological Engineering，
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09258574>
- 生態與工程入口網，
http://ecotech.org.tw/index.php?option=com_content&task=view&id=1&Itemid=7
- 水環境研究中心，
http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/chinese_vresion.htm
- 行政院公共工程委員會，<http://www.pcc.gov.tw/cht/iframe.php>
- <http://researchnews.osu.edu/archive/mitsch.htm>

生態工程 - 生態復育

- South Florida在1990的生態環境。

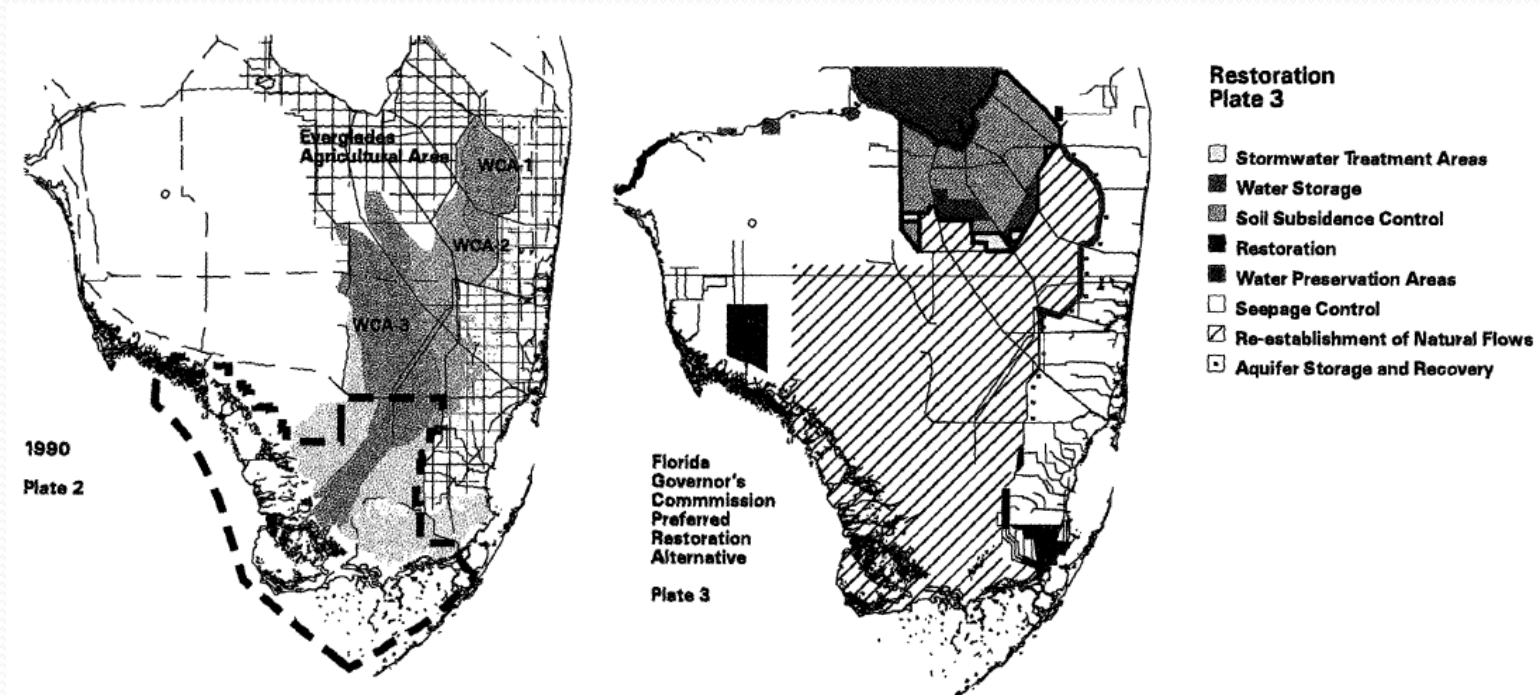


Wetland/Development Plates 1, 2

- Developed Area
- ▨ Southern Marl-Forming Marsh
- ▩ Sawgrass Dominated Mosaic
- Sawgrass Plains
- ▨ Swamp Forests
- ▩ Cypress Strand
- ▨ Peripheral Wet Prairie
- ▩ Slough/Wet Prairie, Tree Island, Sawgrass Mosaic
- ▨ Everglades N.P.
- Canals
- Roads

生態工程 - 生態復育

- USMAB所提出的復育概要，圖中表示水文與生態系改善的部分。



生態工程－生態復育

- **USMAB HDS (The Man and the Biosphere Program Human-Dominated Systems Directorate)將工程定義：**
 - 範圍為South Florida生態系統
 - 具有一個完整的生態系統
 - 達到預期所設的目標
 - 人為與天然災害對系統的影響
 - South Florida的法律、經濟體制

生態工程－生態復育

- 區域的考量有地下水的集水區、氣候範圍與社會政治因素，最後決定以表面水的集水區來做範圍選定的標準，復育範圍為Kissimmee集水區，主要為Okeechobee湖的南方，與Kissimmee河的整治。

生態工程－生態復育

- 另外USMAB HDS 也同時做了許多計畫：
 - 建立South Florida的GIS資料庫(包括自然與社會資訊、植生、土壤、氣候與人口等資料)
 - 建立龐大的South Florida環境與社會資料系統
 - 研究人類與環境的互動影響
 - South Florida的經濟體制
 - South Florida的法律制度
 - South Florida水文受到人影響的改變
 - 研究國際貿易、經濟、土壤與其他因素對South Florida糖廠的影響
 - 改變South Florida農業的可能性
 - 研究憲法如何將South Florida私有土地納入國有地

生態工程－生態復育

- USMAN於1994年在Maine舉行跨領域的會議，來討論對於South Florida的管理方法，他們的討論如下：
 - 建立更完整的架構，使得環境可以永續保護，且不影響生態-社會的互動。
 - 發展生態永續的目標
 - 以回復到原始狀態為目標
 - 發展管理原則
 - 發展更新的水文系統
 - 對於水文環境發展一系列管理模式
 - 評估情境對生態系統的結果
 - 評估情境對社會環境的結果
 - 發展出一套有利於South Florida的管理模式