

出國報告（實習）

因應氣候變遷下水資源管理研習
（整合性水資源管理應用於氣候變遷調適策略）

**IWRM as a Tool for Adaption to
Climate Change**

服務機關：經濟部水利署北區水資源局

姓名職稱：蕭工程員軒梅

派赴國家：荷蘭

出國期間：102年6月29日至7月21日

報告日期：102年10月

摘要

近年來氣候變遷現象及其調適策略已成為國際焦點，其中又以水資源領域備受矚目，21 世紀水資源戰爭不僅包含國與國間水資源分配與交易的問題，更是大自然與人類活動間水資源運用與管理的問題。我國地處高風險複合性災害熱點，藉由興築農業工程及工業科技廠房，至今已成為世界人口最密集地區之一，隨著脆弱度不斷升高，研提在地化氣候變遷調適策略甚為重要。本研究透過今（2013）年 7 月赴荷蘭 UNESCO-IHE 短期課程「整合性水資源管理應用於氣候變遷調適策略研習 (IWRM as a Tool for Adaption to Climate Change)」之參訓經驗，檢視近期水利署及地方政府研提之氣候變遷調適研究成果，提出研習經驗與心得建議供參。

Abstract

Climate change phenomenon and its adaptation method had been in the international spotlight these years, especially the water resource domain. The water wars in 21st century should not only be about the conflicts on water resource distribution and trading between the Nations, but also about the art of water resource manipulation and management between the Nature and human activities. Taiwan is located on a high-risk-composite-disaster hotspot, and with the help of well-designed agriculture constructions and industrial development, Taiwan has become one of the areas with the highest population density in the world. As our vulnerability rises, localized adaptation methods for climate change are urgently needed. This study bases on the training experience of the short course “IWRM as a Tool for Adaption to Climate Change” at the UNESCO-IHE (the Netherlands) in July this year (2013). Through reviewing the recent research results on climate change adaptation methods published by the Water Resources Agency and the local governments, this study shares the training experience and suggestion for your reference.

目錄

壹、計畫緣起及目的	1
貳、實習過程重點摘述	2
一、整合性水資源管理概述	4
二、解讀氣候變遷	5
三、氣候變遷與水循環	6
四、氣候變遷下的衝擊與調適	8
(一) 沿海地區	8
(二) 環境領域	9
(三) 農業領域	10
(四) 地下水領域	12
(五) 都市地區	13
五、淹水脆弱度指數	14
六、不確定性與變異性	15
七、制度觀點與民眾參與	16
八、氣候變遷的經濟學思維	17
九、將整合性水資源管理應用於氣候變遷調適	18
十、戶外實習：多德雷赫特 (Dordrecht) 及鹿特丹 (Rotterdam)	20
(一) 多德雷赫特舊市鎮	20
(二) 多德雷赫特 Wereldwaag 中心水保育週	21
(三) 鹿特丹市景及漂浮展示館	22
十一、WEAP 實務：氣候變遷及整合性水資源管理	23
參、實習心得與建議	26
一、重新檢視臺灣水環境	26
二、釐清氣候變遷影響	27
三、應持續並加強進行的工作	29
(一) 提升氣候變遷調適的地方意識	30
(二) 提升公眾事務參與意願及能力	31
(三) 專業人才革新	32
(四) 軟方案認知建立	33
(五) 非關政治的優秀行銷	34
(六) 國土規劃輔以保險制度	35
(七) 水利用概念革新	36
參考文獻	37

圖目錄

圖 1-1、	與印度、越南及貝寧學員於水教育中心大門前合照	1
圖 2-1、	近全員到齊的大合照	2
圖 2-2、	氣溫變化與模式結果比較	5
圖 2-3、	平均值與變異性	6
圖 2-4、	荷蘭大型沙岸滋養計畫	8
圖 2-5、	荷蘭大型沙岸滋養計畫	9
圖 2-6、	二氧化碳濃度變化與植物氣孔光合作用機制	10
圖 2-7、	溫室效應統計	11
圖 2-8、	傳統單線程序（左）與新興循環程序（右）	13
圖 2-9、	淹水脆弱度指數概念圖	14
圖 2-10、	協議的程度與證據的多寡	15
圖 2-11、	彈性設計範例—海堤	16
圖 2-12、	參與者樓梯	16
圖 2-13、	受影響程度與影響力矩陣	17
圖 2-14、	損害成本對影響程度圖	18
圖 2-15、	IWRM 應用於氣候變遷調適架構	19
圖 2-16、	多德雷赫特自救設施	20
圖 2-17、	水保育週	21
圖 2-18、	多德雷赫特島調適策略	22
圖 2-19、	鹿特丹市景漂浮展示館	23
圖 2-20、	WEAP 主介面	24
圖 2-21、	氣候國 WEAP 實作	25
圖 3-1、	氣象預報的特性及應用範圍	27
圖 3-2、	非洲島國 São Tomé 及 Príncipe 地理位置	28
圖 3-3、	雨量統計圖	29
圖 3-4、	群組課程關係說明或架構圖	33
圖 3-5、	土地利用與整體系統關聯性	35
圖 3-6、	新式馬桶洗手台水流示意及實體圖	36

表目錄

表 2-1、	每日課程、講師及時數表	3
表 2-2、	水文項目與氣候變化趨勢相關連之觀測結果	7
表 2-3、	補注及保留手法之概念與相關設施	12
表 2-4、	可行調適方案、IWRM 功能及預期影響對照表	19
表 3-1、	執行中之地方氣候變遷調適計畫	31

附錄

附錄一、	結業證書	附 1
附錄二、	台灣水資源現況及因應策略簡報	附 2
附錄三、	淹水脆弱度指數應用基本架構	附 7
附錄四、	整合性水資源管理應用於氣候變遷調適程序實作	附 9
附錄五、	氣候國 WEAP 實作簡報	附 13

壹、計畫緣起及目的

法國作家保羅·勒瓦里（1871-1945）說：「我們這個世代的問題是未來已非昔日」。氣候變遷已使全球水循環作用加劇，逐步造成許多開發中國家的社經或環保問題，而首當其衝的是對此變異較無調適能力的窮人。基於前述理由，聯合國教科文組織下之水教育中心（UNESCO-IHE）設計了短期課程「整合性水資源管理應用於氣候變遷調適策略（IWRM as a tool for adaption to climate change）」，對氣候變遷下水資源管理提供最新資訊及相關技術進行介紹。課程目標包含使學員能瞭解綜合性水資源管理如何納入氣候變遷因素、氣候變遷下水文系統及水文循環之變化趨勢、氣候變遷對社經之影響、如何因應氣候變遷造成之變異性，以及學習可採行之調適策略。另學員亦可透過與講師及各國參訓學員交換經驗與心得，加強推展國際事務聯繫，有利於臺灣未來相關業務之推動。

結業式後與印度、越南及貝寧學員於水教育中心大門前合照如圖 1-1。



圖 1-1、與印度、越南及貝寧學員於水教育中心大門前合照

貳、實習過程重點摘述

本次課程由 UNESCO-IHE 水科學與工程組副組長 Erik de Ruyter van Steveninck 規劃，安排 15 位講師分別由不同角度切入氣候變遷調適議題。室內課程主題包含各領域於氣候變遷下的衝擊與調適（沿海、環境、農業、地下水及都市地區）、淹水脆弱度指數、不確定性與變異性、制度觀點與民眾參與、氣候變遷的經濟學思維，以及如何將氣候變遷調適應用於整合性水資源管理。室外課程則至城市多德雷赫特（Dordrecht）及鹿特丹（Rotterdam），透過實地走訪淹水區域瞭解當地居民如何將調適融入生活中。另外藉由「水評估與規劃系統（Water Evaluation And Planning System，以下簡稱 WEAP）」實作，透過各領域學員代表間的溝通，提出方案以解決氣候國（Climate Land）於氣候變遷下未來水資源不足情事。

參訓學員共計 35 位，分別來自美洲、歐洲、非洲及亞洲，部分為 UNESCO-IHE 碩士或博士研究生，部分為附近學校相關學系的研究生，部分則為在職進修僅參與此次短期課程。課程中亦安排各國學員報告所屬國家水資源現況及因應策略等，透過交流期能相互啟發。結業式後接近全員到齊的大合照如圖 2-1，每日課程、講師及時數如表 2-1，結業證書如附錄一，台灣水資源現況及因應策略簡報如附錄二。



圖 2-1、近全員到齊的大合照

表 2-1、每日課程、講師及時數表

日期	課名	講師	時數
7/1	課程及整合性水資源管理介紹	De Ruyter	2
	氣候系統、氣候變遷及變異性	Van Dorland	4
7/2	氣候變遷與水循環系統	Uhlenbrook	4
	沿海地區衝擊與調適	V/d Meulen	2
	資料收集方法及作業說明	De Ruyter	2
7/3	環境衝擊與調適	De Ruyter	4
	模擬模式 WEAP 概述	Venneker+Wenninger	4
7/4	淹水脆弱度指數*	Balica+V/d Meulen	6
7/5	多德雷赫特 (Dordrecht) 及鹿特丹 (Rotterdam)	Gersonius	戶外
7/8	調適策略	Bresser	4
	國家報告 (非洲、歐洲、美洲) *	Bresser+De Ruyter	4
7/9	農業衝擊與調適	DeFraiture	6
7/10	地下水衝擊與調適	Kukuric	2
	WEAP 實務：氣候變遷及整合性水資源管理*	Venneker+Wenninger	4
7/11	都市地區衝擊與調適	Pathirana	4
	WEAP 實務：氣候變遷及整合性水資源管理*	Venneker+Wenninger	4
7/12	不確定性與變異性*	Bresser	4
	國家報告 (亞洲) *	Bresser+De Ruyter	4
7/15	制度觀點與民眾參與*	Kemerink	6
7/16	氣候變遷的經濟學思維	Jiang	4
	將整合性水資源管理應用於氣候變遷調適*	De Ruyter+Bresser	4
7/17	WEAP 實務：氣候變遷及整合性水資源管理*	Venneker+Wenninger	8
7/18	WEAP 實務：氣候變遷及整合性水資源管理*	Venneker+Wenninger	8
7/19	WEAP 實務報告*	De Ruyter +Venneker+Wenninger	4

註：加註*者為包含學員個人或分組報告之課程。

一、整合性水資源管理概述

由於世界淡水資源供應壓力持續上升、各用水單位間的競爭不斷，現況已有 1/5 人口無安全飲用水源、1/2 人口無妥適衛生下水道設備，而未來 25 年內人口將再成長 2 至 3 億，隨之而來的糧食需用水量非常可觀，又人類活動大量改變天然水資源系統，水域生態及較敏感的自然環境正逐步遭受破壞。整合性水資源管理（**Integrated Water Resources Management**，以下簡稱 **IWRM**）的概念強調於水資源調配使用時，必須整體考量各用水單位（如農業、民生、礦業、工業、環境、漁業、觀光、能源及交通等）的需求，並以建立可永續經營及發展的水資源管理方式為目標。（其中，環境是否列為用水單位？或該列為整體系統必要背景需求？尚無共識。）

1992 年於愛爾蘭 **Dublin** 召開的水與環境國際研討會提出 **IWRM** 的 4 個原則：

- 原則一、淡水是有限且脆弱的資源，於維生、開發及自然環境極為重要；而單一流域或集水區應為進行水資源開發與管理的最小單元。
- 原則二、水資源的開發與管理應透過參與機制實現，參與者包含各層級的使用者、規劃者及政策擬訂者。
- 原則三、女性於水資源（主要為民生及農業）供給及維護上佔了重要角色，但在管理或決策面上卻由男性主導，在 **IWRM** 中推展兩性平衡的經營模式是必要的。
- 原則四、水資源於各用水單位間具有一經濟價值，且應在符合公平、減緩貧困及維護健康的前提下，同時被視為經濟商品（**economic good**）及社會商品（**social good**）。

傳統水資源管理（**Water Resources Management**）的範疇包含水資源分配、污染防治、資訊管理、財務管理、旱澇管理、流域規劃及監測、使用者參與等。透過納入整合性（**Integrated**）概念，可提供較好的水資源管理以因應水文變異、流域規劃可擴及風險判定及減災策略、使用者參與則提高行動意願亦幫助風險評估更接近真實等。整體而言，好的管理系統較傳統方式能回饋使用者，但 **IWRM** 本身還是一門哲學，主要的挑戰是如何打破不同用水單位間的藩籬，而執行上的困難點是要各用水單位交出既有的水資源權力是需要信任的。

二、 解讀氣候變遷

氣候變遷是否存在？氣候變遷的定義及表現為何？氣候變遷模擬模式是否準確？前述疑問仍在科學家的辯證當中，並無明確結論。因地球軸心的角度改變，地球本身就有所謂的長期氣候變遷，而自然的溫度上升會驅使二氧化碳濃度上升，幅度約為攝氏 6 度對應 100ppm，其主因為海洋捕捉的二氧化碳會因溫度上升而減少。但目前觀測結果顯示，地球溫度在上升，而大氣及海洋中的二氧化碳亦在上升，顯示並非自然現象。圖 2-2 實線為觀測所得地球平均溫度變異量，左上小圖加入考量自然及人為因素的模式結果、右下小圖加入僅考量自然因素的模式結果，由此可知，近 50 年全球平均溫度上升現象主要歸因於人為造成的溫室氣體的增加。

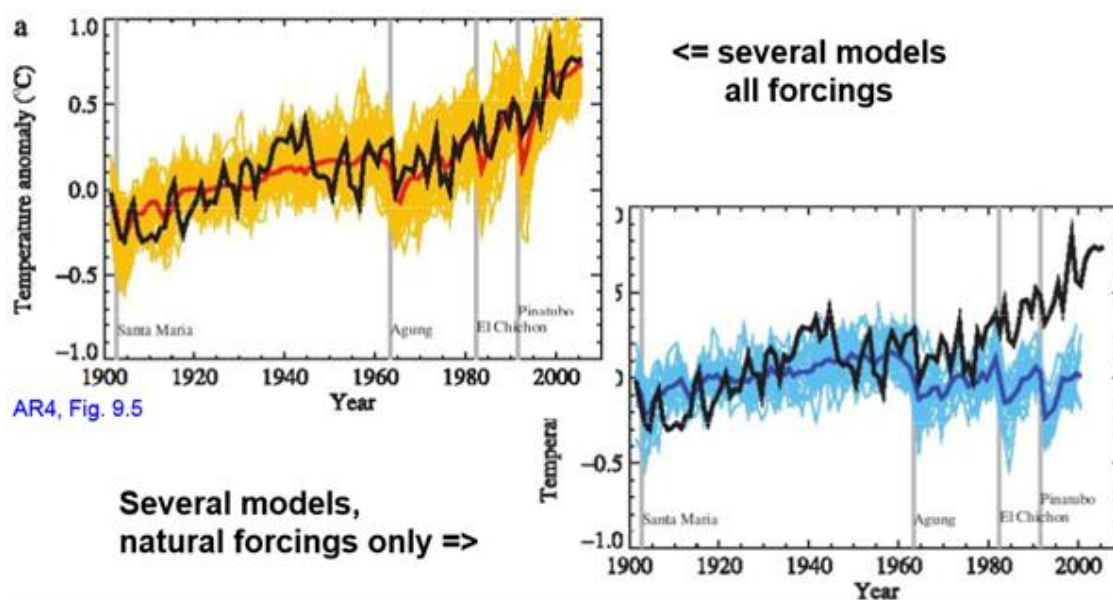


圖 2-2、氣溫變化與模式結果比較

其實自然是無法預測的，現今因為人為活動影響劇於自然因素，使我們得以進行模擬，然這些模擬結果不應稱作「預測 (predictions)」，只能稱作「投影 (projects)」，而綜合各模式結果，全球溫度在 2100 年有增加攝氏 1.1 至 6.4 度的投影範圍。而伴隨著溫度升高，目前已觀測到的氣候現象包含降雨型態變異、冰川溶解與海平面上升、熱浪頻率增多，以及嚴峻枯旱事件等。

三、氣候變遷與水循環

前述解讀氣候變遷主要針對平均溫度上升所造成的影響，而對長時間穩定增加的溫度，人類活動是具有調適能力的，現今較嚴峻的問題反而是於變異性增加，極端水文事件出現的機率愈來愈高，如圖 2-3 所示。因此，我們必須瞭解不同時間尺度（十年、單年、季及日）下的氣候變異性，亦須考量大尺度的大氣狀態如聖嬰及反聖嬰現象。

水平衡方程式：降水量等於地表逕流量、地表蒸發散量及地表蓄存量的總和，於過往觀測長期趨勢時科學家往往視地表蓄存量為定值，但在氣候變遷下，「長期」的定義已然模糊、地表蓄存量亦不可再視為定值。一片沙漠經人工灌溉變成棉花田，對其自身及周邊水平衡的影響為何？短期效應尚可由雨量、流量及蒸發散量的監測約略得知，長期影響又將如何？水平衡在自然界中屬連動的反應，地表任何變化均會影響其循環型態。

2009 年出版之世界水發展報告 3（World Water Development Report 3，以下簡稱 WWDR3）整理了全球各水文項目與氣候變化趨勢相關連之觀測結果如表 2-2，氣溫上升造成強降雨增多、永凍土溶解及冰河退縮是較無爭議的結論，而蒸發散量、土壤濕度、地表逕流、地下水、地表蓄水空間及降雪的變異，則尚無定論。

因為愈來愈瞭解大氣與水循環系統的複雜性，在軟硬體設備功能愈來愈強大下，科學家對於現象觀測與結果分析反而愈來愈謹慎。另亦有研究指出，未來的水資源供應壓力（或短缺）80%來自人口成長及開發行為，並非主要來自氣候變遷可能造成的水循環變異，若可妥適管理世界的人口成長及開發行為，我們將有更大的空間因應未知的氣候變異。

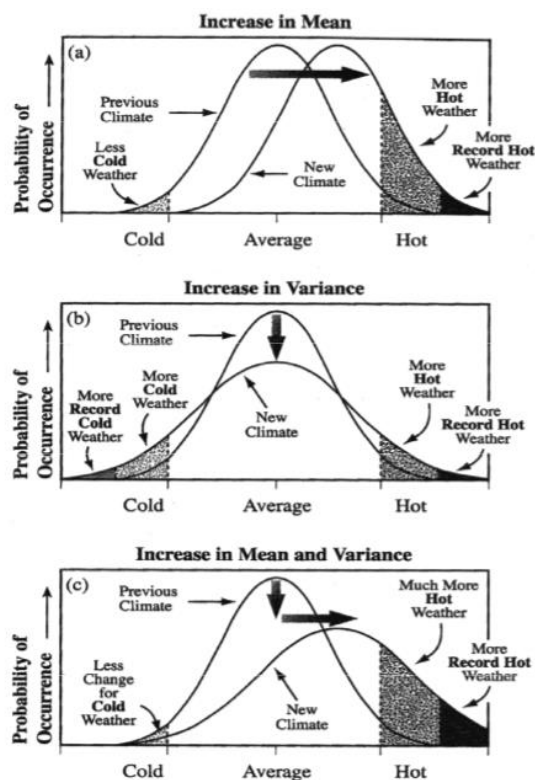


Figure 8-2: Schematic showing effect on extreme temperatures when (a) mean temperature increases, (b) variance increases, and (c) when both mean and variance increase for a normal distribution of temperature (TAR WGI, Figure 2.32).

圖2-3、平均值與變異性

表 2-2、水文項目與氣候變化趨勢相關連之觀測結果

水文項目	觀測結果
降水	在評估水文影響時，降雨型態比平均降雨量有影響力。部分總降雨量減少的地區，已觀測到強降雨事件增多的情形。同時，熱浪的長度、頻率及強度也廣泛地增加。緯度較北的地區降水型態改變，愈來愈多以降雨而非降雪方式進行。以上現象均與一個較溫暖的大氣可乘載較豐沛水氣量的現象一致。
蒸發散量	數研究指出，大致來說，即使亞洲及北美洲的蒸發散量有減少的趨勢，其實際蒸發散量有增加的趨勢。
土壤濕度	目前室內研究、衛星遙測及物理模式（溫度及降雨量為參數）均無法求得明確的研究結果。
地表逕流	近期針對全球高、低流量的研究指出，其結果無法支持（截至研究發表時）全球暖化導致極端水文事件（如洪水及乾旱）增加的假說。而利用長期流量紀錄分析世紀尺度的流量趨勢，低流量及年平均流量有增加趨勢，但洪水並無，而前述增加趨勢與降雨量增加趨勢一致。
地下水	近期美國氣候變遷科學研究指出，要瞭解這個緊要資源與氣候變遷關聯性，更多工作需要先被完成。
地面蓄水空間	近幾十年，世界許多大湖的範圍有變化情形，但主要造成原因依區域不同。以 10 年為期的湖面、濕地及蓄水水域變化趨勢為其本身之動態特性，不一定為氣候、地表利用或其他人為因素所造成。
永凍土	高緯度的氣候變化（主要為空氣溫度的上升）已造成永凍土的改變及削減，其中包含北半球永凍土的溫度增加、具活性土層厚度增加，以及冰融區擴張等。而實地監測結果顯示，連續成片永凍土區域溫度上升較零星或不連續區域多。
降雪	近 50 至 100 年，多數研究指出北半球雪覆蓋期間縮短、春季融雪時間提前。部分研究認為前述現象於近幾十年有加速情形，但不一致的監測結果仍挑戰這個結論。
冰河	19 世紀中葉（小冰期後），強烈證據顯示冰河有退縮趨勢，而因為氣溫急遽上升、降雨量及降水與降雪比例變異，前述現象自 1970 年代中期有加速情形。即使全球均有冰河退縮趨勢，熱帶地區確較寒帶地區更敏感、退縮更劇。

四、氣候變遷下的衝擊與調適

(一) 沿海地區

沿海地區受氣候變遷衝擊較大者為沙岸，屬於較窄小但兼具海岸防護、生態、社經、娛樂等功能的地表型態，除前述功能間有競爭土地情形外，當受到外在干擾時窄小的範圍甚至會再縮小。居住在沿海地區的人口數持續攀升，主要城市多數坐落人口稠密的三角洲，而典型的三角洲問題包含地層下陷、污染、固態廢棄物、排水不良、河流沖積量減少及地下水鹽化等。

在前述已倍受壓力的情況下，氣候變遷尚由 4 個面相影響著沿岸地區（如圖 2-4）：(1)直接力量，如：氣溫上升及強降雨事件增加、(2)河流的外在力量，如：逕流量變異及洪水、(3)海洋的外在力量，如：海平面上升、海岸沖蝕、浪湧、暴潮、海水酸化及海溫上升，以及(4)沿岸流的外在力量，如：推移及挾帶作用。

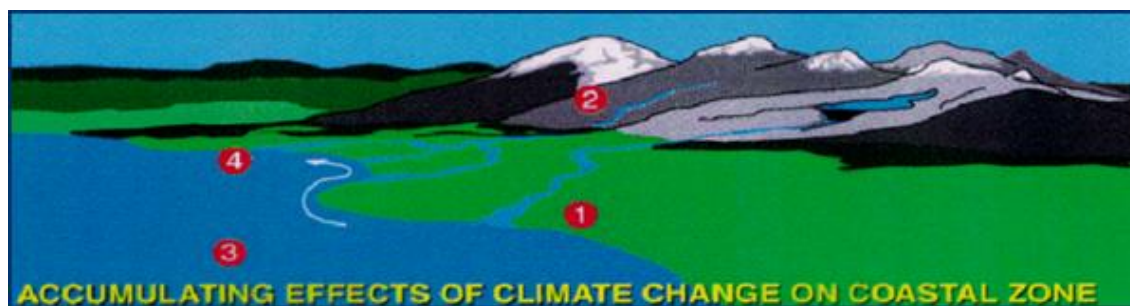


圖 2-4、沿海地區外力種類

傳統工程師問：「技術如何運作？」於是海堤、壩岸、柵欄及防波堤等「硬解」出現；新一代工程師問：「自然界如何運作？」於是沙岸滋養及緩衝帶等「軟解」出現。圖 2-5 為荷蘭自 2011 年開始的大型沙岸滋養計畫，為期 20 年、面積 120 公頃、年種沙量 2 千萬立方公尺，並利用沿岸流的力量將顆粒推向前方海岸，以減少海岸侵蝕速度。

每個問題都有一個影響範圍（或關聯範圍），我們往往因為不瞭解整個系統而低估了這個範圍。以海平面上升為例，若屬緩慢上升的部分我們尚可透過遷移或改變建築形式因應，但超抽地下水造成的地層下陷速度遠快過海平面上升，連帶亦會加速地下水鹽化情形。所有現況（或過去存在多時的情況）均是許多力量的平衡結果，想要處理近年出現的不平衡現象，就必須對整個系統有正確的瞭解。



圖 2-5、荷蘭大型沙岸滋養計畫

(二) 環境領域

依目前認知，氣候變遷對環境領域可能的影響有 2：水質及生態系統干擾。

雖然「政府間氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC)」於 2007 年提出的第四次評估報告 (Assessment Report 4, 以下簡稱 AR4) 指出，截至報告提出前，尚無水質與氣候變化趨勢相關連之觀測結果，科學家仍持續研究相關課題。其主因為水質與水量有一定相關性：強降雨常伴隨懸浮固體及污染物的增加、逕流量變異影響污染物稀釋能力並造成淡水及海水平衡波動、水域水位降低釋放底層顆粒及有毒物質，以及水表溫度升形成藻華並降低水中溶氧等。

至於生態系統干擾部分，物種透過生理學上的改變及基因的選擇（物競天擇、適者生存的概念於氣候變遷前即存在）進行調適。生理學上的改變可以光合作用為例，以下 5 個機制同時存在：

- 二氧化碳濃度及溫度增加→植物生長加速→二氧化碳濃度減少
- 溫度增加→呼吸作用加速→二氧化碳濃度增加
- 二氧化碳濃度增加→植物表面積增加→需水量增加
- 二氧化碳濃度增加→植物用水效率增加→需水量減少
- 二氧化碳濃度增加→植物含氮組織減少→營養價值減少

最終二氧化碳濃度及需水量是增是減因物種而異，但固碳效益增加致使含氮組織連同營養價值減少，卻是光合作用單向的反應。上述植物用水效率增加之氣孔改變機制如

圖 2-6，最左側為現況，預測未來氣孔有 2 種改變機制因應：1 為維持氣孔開度，進入之二氧化碳濃度加倍則光合作用加倍；2 為縮減氣孔開度使進入二氧化碳量減少，維持原光合作用量。用水效率為每單位使用水量的固碳量，而氣孔開度直接影響植物蒸散水量，故二氧化碳濃度增加則植物用水效率增加。

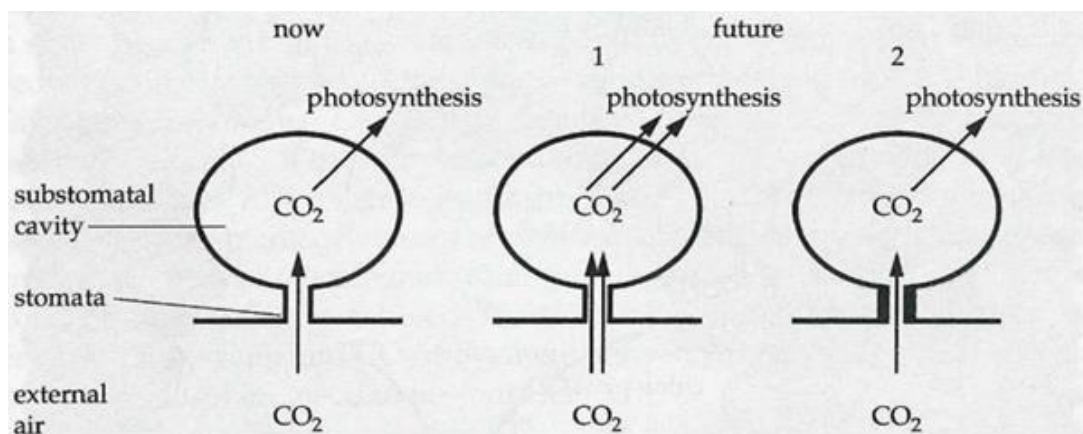


圖 2-6、二氧化碳濃度變化與植物氣孔光合作用機制

整體來說，生態學家已對物種及生態系如何受氣候變遷影響的機制有較佳的瞭解，物種的生命週期將被改變、物種分布將徹底改變、熱帶地區受影響較鉅且其生態系統功能將被削弱，終至大量物種滅絕。科學家針對各物種特性建立了許多模擬模式，推估氣候變遷影響下物種的遷徙，但這些模式包含許多假設且若有未知機制未被考慮，將形成嚴重的低估或高估結果（Bellard，2012）。

每個物種均有其生存所需的 n 維空間（如溫度、濕度及食物粒徑所構成的 3 維空間），在做任何決策前均應先瞭解系統中每個物種的屬性。環境（或說物種）在沒有氣候變遷下本身即具有變異，加上氣候變遷因素自然會造成更多改變，但這些改變對某一物種造傷害的同時，往往也有某一物種受益，氣候變遷對於環境應無利弊之分。

針對前述問題，「跨政府生物多樣性與生態系服務平台（Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services，以下簡稱 IPBES）」於 2011 年由將近 90 個國家的代表於南韓釜山通過成立，運作模式類似 IPCC，旨在監控地球的生態現況與其自然資源，並定期提出報告作為公正的參考資料。

（三） 農業領域

產製一公斤的小麥需要 1000 至 2000 公升的水，而世界生產的小麥中，平均而言

40%用於牛隻飼養，同樣的熱量產能，水用於穀類作物的效率遠大於肉類產製。隨著人口成長及所得提高，人類年消耗肉量由 1961 年的 7 千萬噸增加到 2000 年的 2 億 2 千 8 百萬噸，並預估於 2050 年達到 4 億 6 千 5 百萬噸，屆時勢必出現需水缺口。又全球 75%至 80%的農作行為僅倚仗雨水、少於 5%抽用地下水，而僅 18%的耕作面積設有灌溉系統，此現況使降雨量變異形成收穫與否的關鍵。

水為農業帶來的影響有收穫較穩定、生長季較長、作物多樣化及農民所得較高等；而農業為水帶來的影響有直接者如地下水削減、河流枯竭、興建水壩改變水文、水質破壞及鹹化，間接者如土地利用改變及土壤侵蝕等。

農業為氣候變遷帶來的影響有直接提供 13.5%（2004）的溫室氣體排放量，並透過林業（包含砍伐等改變土地利用行為）間接提供 17.4%（2004）的溫室氣體排放量（如圖 2-7）。氣候變遷為農業帶來的影響有降雨型態改變、氣溫升高、充足的二氧化碳、極端事件如洪水及乾旱、地表逕流及地下水補注改變、冰川溶解加速蓄存能力降低、濕地面積削減等。

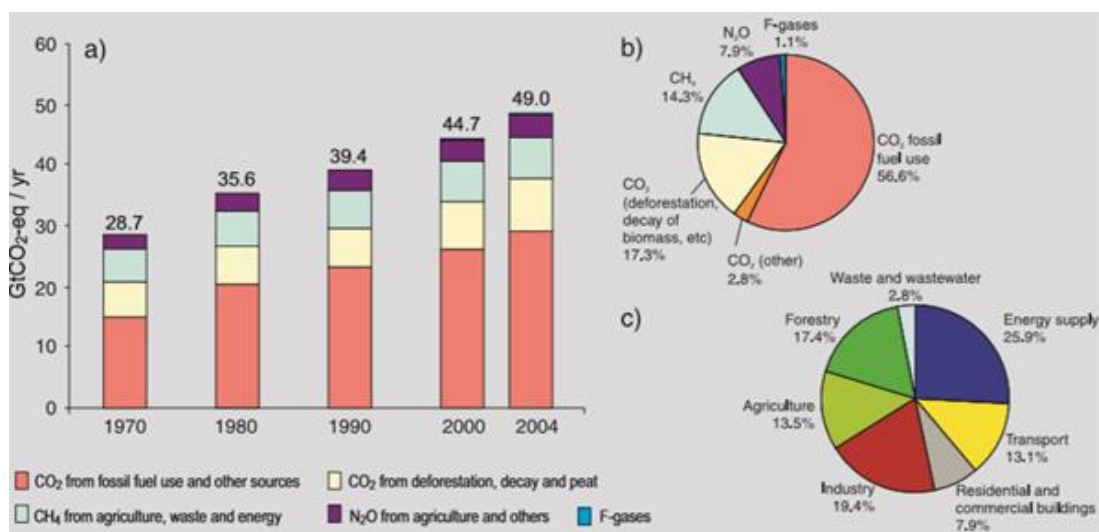


圖 2-7、溫室效應統計：a)溫室氣體排放量（1970-2004）、b)溫室氣體於溫室效應百分比（2004）、c)人類活動造成溫室效應百分比（2004）（IPCC，2007）

長期以來我們專注於溫室氣體減量的項目為工業、交通及能源製造（分別提供 19.4%、13.1%及 25.9%的溫室氣體排放量）方面，除現實面無法捨棄基本用電需求外，多數均已施行相關規範管制，但減量效果尚待加強。然農業及土地利用改變等人類活

動排放之溫室氣體削減方式尚有研究空間，在農業領域進行調適的同時¹，如何達到溫室氣體有效減量亦值得探究。

（四）地下水領域

全球水資源有 3% 是淡水，其中 68.7% 為冰川或冰帽、30.1% 為地下水、0.3% 為地面逕流、0.9% 為其他。地下水佔了超過 95% 未凍結淡水資源，年抽取量約 1,000 平方公里（灌溉 67%、民生 22%、工業 11%），約為人類活動所引用淡水的 26%、將近一半的人類飲用水來源。地下水強烈的補注及緩衝特性維繫取用地下水的濕地及植物生長，同時，其亦提供河流基流量、支持土壤層基礎，並防止海水入侵造成鹹化。

隨著人口及氣候變異的增加，地下水的供水壓力亦隨之增加，過去地下水常被視為地區性資源，現在其使用及維護應有全球性思維、不受國家邊界的限制，如要永續使用，尚須控制各用水單位合計之抽用量等於或小於補注量。

雖然目前研究尚無地下水與氣候變化趨勢相關連之觀測結果，但仍應防患於未然。參考 3R（補注 Recharge、保留 Retention 及回用 Reuse）的管理概念，有效地將豐水期間多餘水資源蓄存供枯水期間使用，以解決水資源短缺問題，而所列蓄存方式又以地下蓄存最具優勢及潛能。補注及保留手法之概念與相關設施如表 2-3，執行者可依個案現地情形、經費及效益等進行選擇。

表 2-3、補注及保留手法之概念與相關設施

保留手法	補注手法	方案
A.封閉儲槽	雨水及霧氣貯留	屋頂截水、攔霧盾及儲缸
B.地下蓄存	河床入滲	河床整治、河溝及砂壩攔水
	地表入滲	入滲池塘、洪水灌溉、溝渠排水
	水域入滲	井、河岸入滲
C.土壤濕度蓄存	地表逕流削減	梯田、沿等高線築堤
	地表入滲	深耕、洪水灌溉
	蒸發量削減	提供護根層
D.地表水域蓄存	河床內/河床外	攔河堰/蓄水池

¹國際糧食政策研究所（International Food Policy Research Institute，IFPRI）估計農業領域每年需 70 億美元進行氣候變遷的調適，其中包含沙哈拉沙漠以南的非洲 30 億美元、南亞 15 億美元、拉丁美洲及加勒比海 12 億美元、東亞及太平洋地區 10 億美元。

（五）都市地區

氣候變遷現象中，以強降雨事件增多、淹水機率上升、水媒傳染病流行機率增加等為都市地區主要考驗，故著眼點為都市排水及污水處理能力的提升。造成前述考驗的原因可分為外部及內部壓力，外部壓力為降雨型態改變、河流水位變異、海平面上升等，內部壓力則為人口持續聚集及開發面積增加等；外部壓力的影響未必大於內部壓力的影響。

人口持續聚集及開發面積增加致使不透水鋪面增加，改變都市地區的人滲量、蒸發散量、地下水補注量及微氣候型態，另隨人口增加需水量及污水量亦同步增加。參考過往都市發展歷程，科學家針對都市發展建立推估模式，可為已開發或開發中都市計算各種氣候變遷情境下，特定都市（及其分區）的未來淹水風險，以利即早進行調適工作。而繼節能減碳的綠建築（green infrastructure）概念後，為解決都市問題，與水和平共處的藍建築（blue infrastructure）概念正開始盛行。

在進行調適工作時，應注意方案的彈性力（flexibility）、適應力（adaptability）及回復力（resilience）：彈性力是方案本身既有對於變異的乘載力、適應力是經調整後符合新情境的能力、回復力是針對變異的復原或接受能力。同時，調適程序亦應由傳統線性方式調整為新興循環方式，不僅減少僵化，亦可增加回饋效益，執行示意圖如圖 2-8。

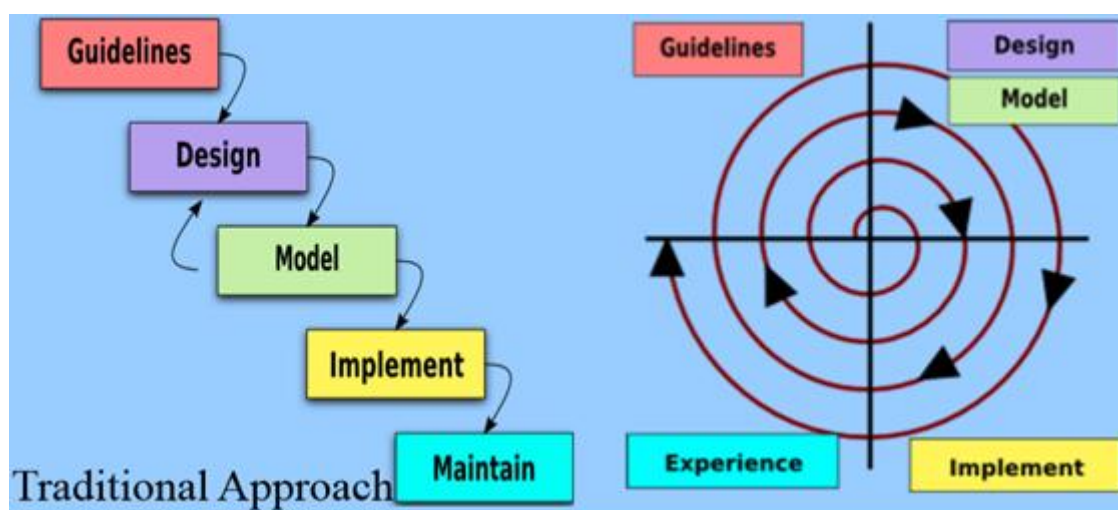


圖 2-8、傳統單線程序（左）與新興循環程序（右）

五、 淹水脆弱度指數

整合性指數是將具多重視角的系統整合為一量化值的方法，目前廣泛應用於各領域，如氣候脆弱度指數（Climate Vulnerability Index）、環境脆弱度指數（Environmental Vulnerability Index）、水資源貧困指數（Water Poverty Index）及淹水脆弱度指數等（Flood Vulnerability Index，以下簡稱 FVI）。洪（淹）水是最頻繁影響人類的天然災害，近年所造成的死亡及損失亦超過其他天然災害，面對此影響複雜且包含大面積的災害，FVI 有助決策者評估策略及方案，其應用基本架構如附錄三。

FVI 的特性有：可為問題嚴重性較高區域辨識適合方案、需與其他決策模式合併使用、經由討論可同時被多重背景與專長人士使用、整合不同面相及其成員等。FVI 的限制有：將動態真實世界整合於指數是困難的簡化過程、設定各層面（環境、社經、制度等）分項因地而異、分項的影響力無法表現於公式、資料蒐集正確性及完整性易受挑戰、合理量化社會參數具困難度、社會參數優先順序隨時變動等。要客觀並有效的使用 FVI 需透過完整程序，其中包含瞭解淹水事件及系統特性、整體考量各層面脆弱度、由策略及方案進行回饋機制等（如圖 2-9）。

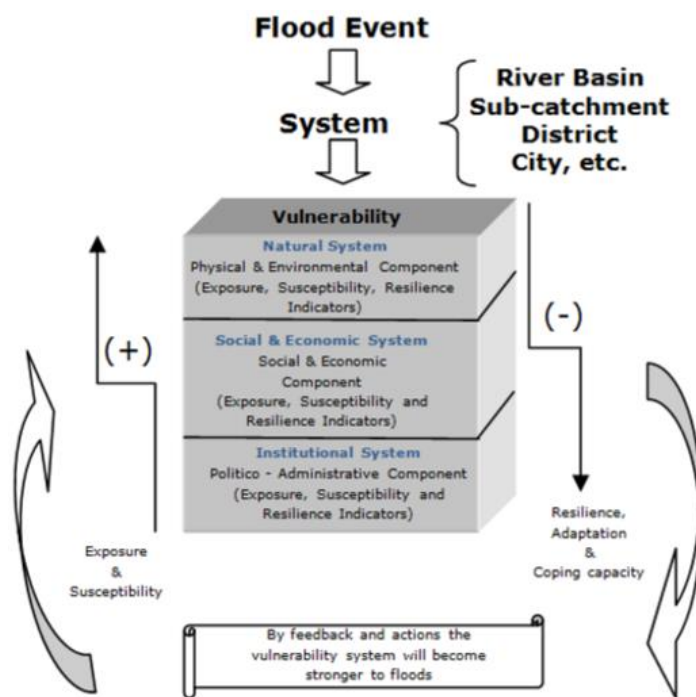


圖 2-9、淹水脆弱度指數概念圖

六、不確定性與變異性

系統的複雜帶來不確定性，不確定性為決策帶來風險，為此科學家多有討論，其中 Funtowicz 與 Ravetz 於 1993 年提出前述現象的特性：決策往往需要在科學證據完備前即提出、錯誤決策的潛在影響力可能很大、量化仍備受爭議、使用資料庫具有知識缺口及不正確的理解、愈多研究不等於愈少確定性、評估分析建立在推估（模式、情境、假設及推測）上、許多背後隱藏價值存在。若以達成協議的程度與證據的多寡製作矩陣，可得圖 2-10。低協議及低證據時不確定性最高、進行決策甚冒險，高協議及高證據時不確定性最低、進行決策較完備，另若高協議低證據時可決策但不完備，低協議高證據時將出現證據解釋的辯論。

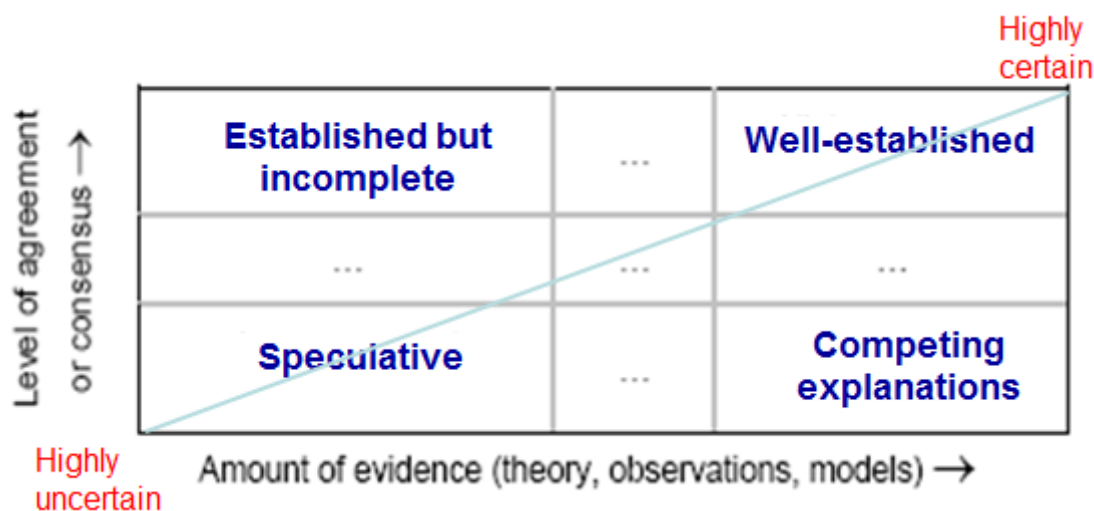


圖 2-10、協議的程度與證據的多寡

現代科學的挑戰有：專家應表述時不僅應包含其瞭解的部分，亦應說明不瞭解的部分、面對不確定性並無絕對良方（silver bullet）、造成決策停滯不前的可能性不應使不確定性的討論減少、與大眾研商不確定性是艱難的。無悔（no regret）決策成為重要決策發展方向，此種決策的旨意為無論氣候變遷造成未來環境進入何種情境，所下決策均能為帶來益處。而彈性設計（flexible design）為其主要操作方式，以海堤為例如圖 2-11 所示，若未來情境推估海平面上升及海水洪氾等因素加總後，所需海堤高度如圖示設計高度（如實線），則設計結構時可更強化海堤基底，預留在原海堤上加高（如虛線）的空間，以備氣候變遷情境改變時因應。

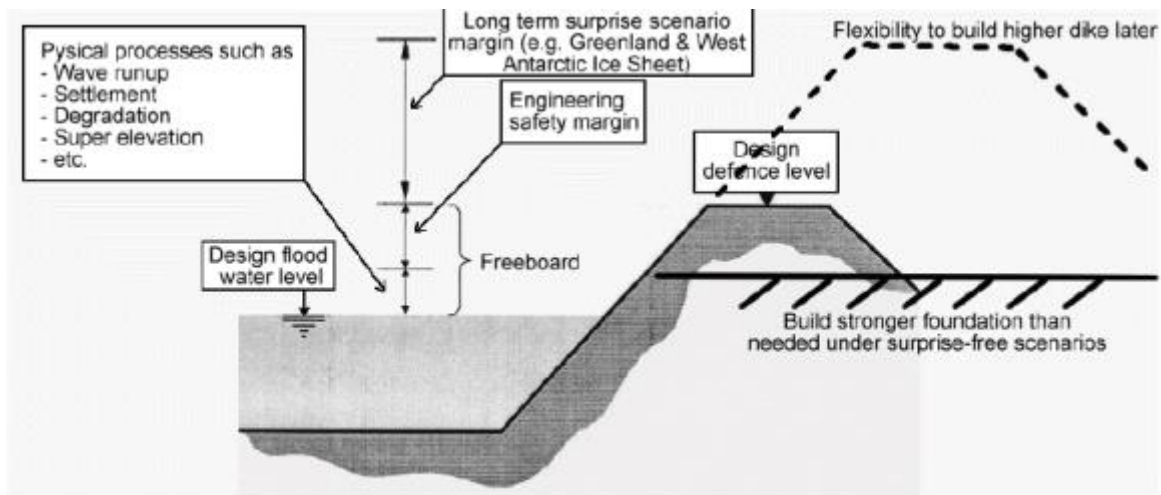


圖 2-11、彈性設計範例—海堤

七、 制度觀點與民眾參與

制度 (institution) 是形塑、規範及重現人類行為的社會約定，可跨越時空並隨時間出現或消失，如法規、政策、習俗、經濟原理、宗教信仰及道義責任等。參與 (participation) 亦有多種定義：幫助受影響或有興趣者加入的過程、讓公眾表達意見的不同途徑、提供個人或團體被諮詢及影響決策的機會等。當制度與參與融合時，Ahlers 於 2006 年提出需先釐清的問題有 4：誰可以坐上討論桌？誰可以在討論桌上發言？誰的發言會被重視？又實際上決策在哪個討論桌決定？而 Arnstein 於 1969

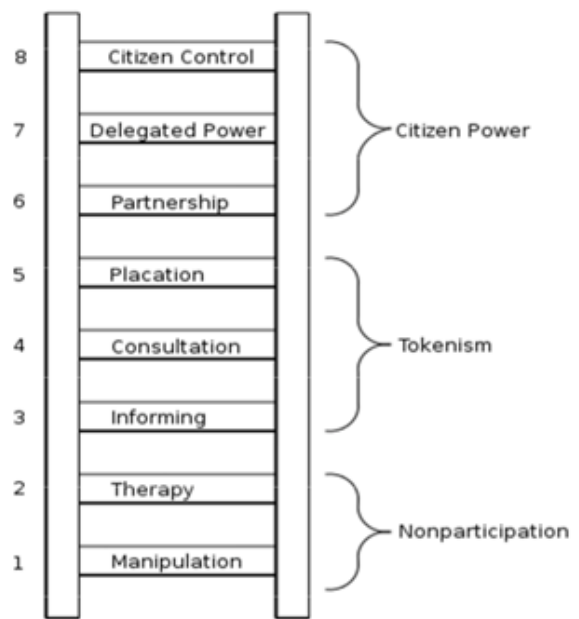


圖2-12、參與者樓梯

年提出的參與者樓梯 (如圖 2-12)，將不同等級的決策模式與參與行為依序排列，愈高級數表示參與者影響決策的程度愈高，可用於檢視個案定位並據以選擇個案最佳決策模式。於選擇決策模式時則應考量 2 個面向：公正與活力 (equity and empowerment) 及效率 (efficiency)。

參與者應為利害關係人 (stakeholder)，其可為對此計畫有興趣的個人、團體或組織，或執行此計畫將被影響 (含正面及負面影響) 的個人、團體或組織。依層級可分

為：將因計畫受益或受損的直接利害關係人、設計或執行計畫的間接利害關係人（政府單位、企業、非營利組織及出資人等），以及社會大眾。而依影響特性可以繪製矩陣如圖 2-13，受影響程度高且影響力高屬良好的成員、受影響程度低且影響力低屬監控受限的成員、受影響程度高且影響力低屬脆弱度高的成員、受影響程度低且影響力高屬決策易出現風險的成員。

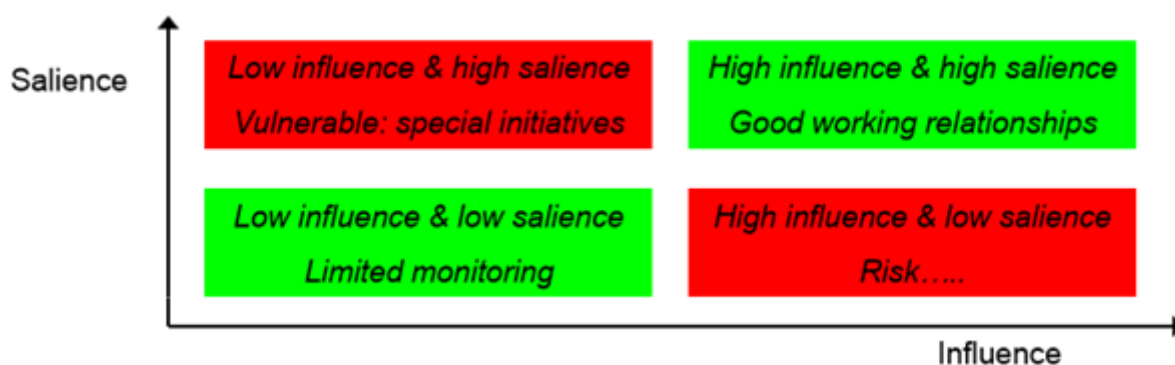


圖 2-13、受影響程度與影響力矩陣

執行計畫時可製作利害關係人總表，列出各利害關係人在計畫中的定位屬性 (+, 0, -)、影響 (++, +, 0, -, --)、影響力 (H, M, L)、受影響程度 (H, M, L) 及主要參與行為。並繪製維恩圖 (Venn diagram)，透過圓圈的大小、重疊及在方形計畫區內或外瞭解各利害關係人間的相關性，以利檢視決策進行方式是否合宜。

八、氣候變遷的經濟學思維

因為社會資源是有限且稀有的，談氣候變遷調適需具經濟學思維。經濟學是探討社會如何運用及管理其有限資源的研究，如購物、收入與支出量、企業產量與人力雇傭，以及預算分配等決策。經濟學家在社會中扮演 2 種角色：利用科學方法建立並測試解釋世界運作的理論屬實證經濟學 (positive economics)，如好的氣候變遷調適決策可以增加社會幸福；利用所得理論對決策進行分析比較並向決策者提出建議屬規範經濟學 (normative economics)，如在氣候變遷前提下政府應執行調適行動。而進行經濟分析有 4 原則須遵循：人類始終面對交易 (trade-off)、執行某事的成本是你同時須捨棄其他選擇、有效率的決策須針對邊際效益，以及人類行為均有動機。

進行決策前必須先計算成本，氣候變遷可能造成的損失（包含洪水、海平面上升及早災等）合計即為損害成本，其中亦可分為私人及公眾調適成本。可繪製損害成本對影響程度相關性如圖 2-14，曲線間的損害差值即為執行調適方案的效益。而運用經濟學估算步驟為：首先設定無氣候變遷下未來開發情境作為背景值、選擇未來氣候變遷情境、計算其生物物理學情況並推估其對社經及環境的影響、找出可將損失降至無氣候變遷情境或邊際調適成本的方案。

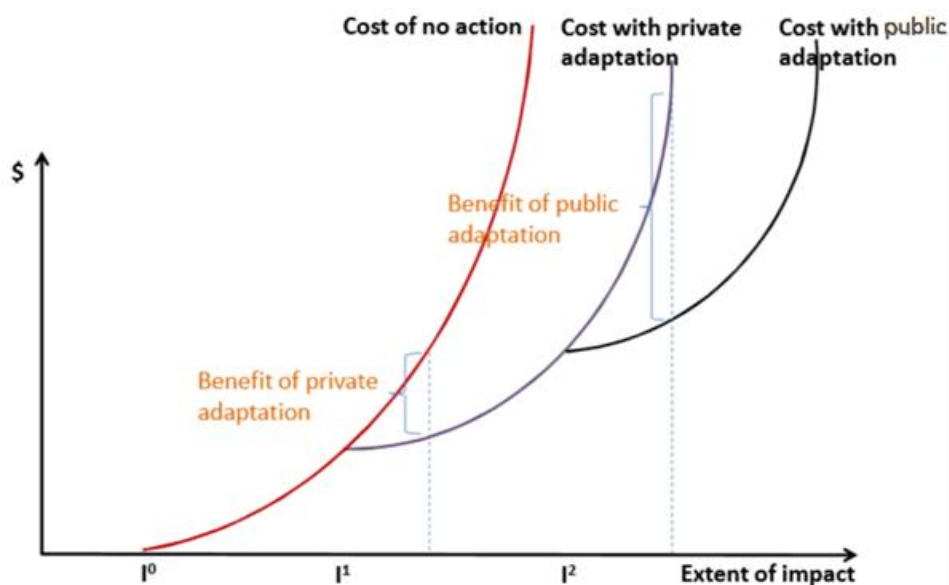


圖 2-14、損害成本對影響程度圖

九、將整合性水資源管理應用於氣候變遷調適

氣候變遷對於水資源具有深遠的影響，而整合性水資源管理概念可提供水資源管理行動的決策架構（如圖 2-15），在此架構下各利害關係人將有諮詢及交流的空間，透過公共建設（硬的）及管理行動（軟的）方案改善使用水資源的現況，將可增加面對未來氣候變遷情境的能力。使用 IWRM 有 3 個主要挑戰：如何建立可對情境改變有效益性及策略性反應的動態組織、決策需參考預報及對其不確定性的瞭解（無法參考歷史資料）、如何確保安全及穩定的資金來源。氣候變遷調適涵蓋各層級：跨越邊境如國際間的條約與協定、國家層級如水利法及相關制度、國內層級如 IWRM 計畫及策略方案。列舉可行調適方案、IWRM 功能及預期影響對照如表 2-4，執行程序如附錄四。

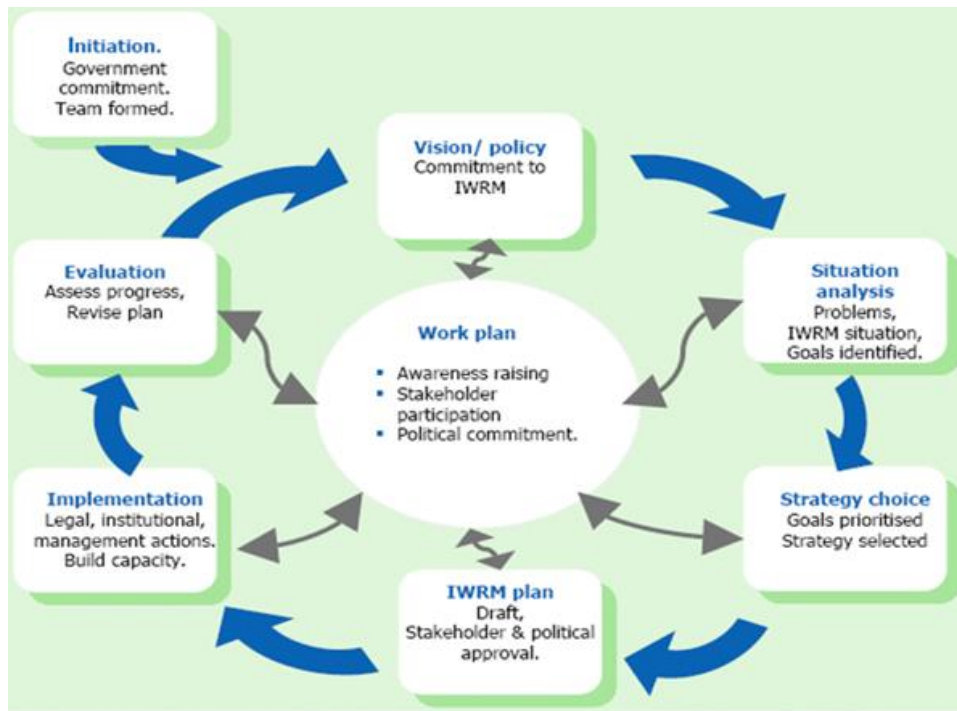


圖 2-15、IWRM 應用於氣候變遷調適架構

表 2-4、可行調適方案、IWRM 功能及預期影響對照表

可行調適方案	IWRM 功能	預期影響
水價調整、成本回收、投資	經濟或財經管理	人均消耗量降低、效益提升
季節性總量管制、調度、用水管理	水資源分配、污染控管	可及性提高、無干擾流況、保障淨水功能及效益
洪水及早災風險地圖製作、公共建設、情境開發	流域規劃	極端事件影響降低
提升地表逕流攔截與蓄存	流域規劃	可及性增加、污染源減少
水資源回用、規範改良、提升污水處理能力	污染控管、水資源分配、流域規劃	可及性增加、地下水污染減少
利用地下水	水資源分配、流域規劃	可及性增加
雨水貯留、建立預警系統	水資源分配、利害關係人參與	可及性增加、排水損害減少
改善排水系統及水處理	污染控管、流域規劃	污染源減少、可及性及回復力增加
改善監控系統	資訊管理、監測	因應行動針對實際需要

十、戶外實習：多德雷赫特（Dordrecht）及鹿特丹（Rotterdam）

（一）多德雷赫特舊市鎮

多德雷赫特是南荷蘭極為古老的城市，1220年由威廉一世賦予城市權力，又因其位居河道樞紐，於12及13世紀成為酒、木材及穀物的重要交易市場。1421年11月聖伊莉莎白洪水（the Saint Elisabeth's flood）淹了大半的南荷蘭，也使多德雷赫特變成今日的島嶼型態。本次參訪以舊市鎮區域為主，此區域無堤防保護，建築型式以耐洪（可於洪水中佇立）及漂浮為主，且因位居堤防之外，並無淹水基金，法規亦無要求防護等級，甚至不列入安全程度計算中，相關自救設施如圖 2-16。



圖 2-16、多德雷赫特自救設施：1)因應洪水預報 WB 工作人員架設路面堤防、2)路面堤防單側固定木條、3)個別建築門口預備增高防護設施、4)架高密封的電箱

荷蘭全國依分區有許多水務局（Water Board，以下簡稱 WB），其職掌為洪水防護、污水處理及清水供給，每個 WB 有不同的收費標準，如每人每年 300 歐元，居住在堤防外可有約 10% 的折扣。WB 是中央政府下的獨立單位，擁有自己的議會及預算，因

其僅有「水」一項標的須顧及，故可於緊急情況下充分展現效率。

(二) 多德雷赫特 Wereldwaag 中心水保育週 (water saving week)

目前已知的氣候變遷情境是海平面將上升、海堤將須增高，而潛在經濟損失將隨社經條件改變增加，為此荷蘭訂有三角洲計畫 (Delta Program)，目標為建設現在及未來均安全且吸引人的荷蘭，目前已進行到第 2 階段了。三角洲計畫針對萊茵河及墨茲河形成的沖積河口、艾瑟爾河及艾瑟爾湖，主要研究項目為淹水風險、空間調適、淡水供給等。截至目前為止，荷蘭並未觀測到氣候變遷造成海平面上升的現象，到長久推估，低度及高度氣候變遷分別可能造成 35 及 85 公分的海平面上升，而考量此上升的同時須加計地層下陷的速率 (以定值 5-10 公分每年計算)。水保育週為地方自發性活動，邀請包含政府單位、當地民眾、學校師生及相關研究團隊等利害關係人參與，中心除製作三角洲計畫的海報於會場展示，亦製作行動看板以利戶外解說 (如圖 2-17)。

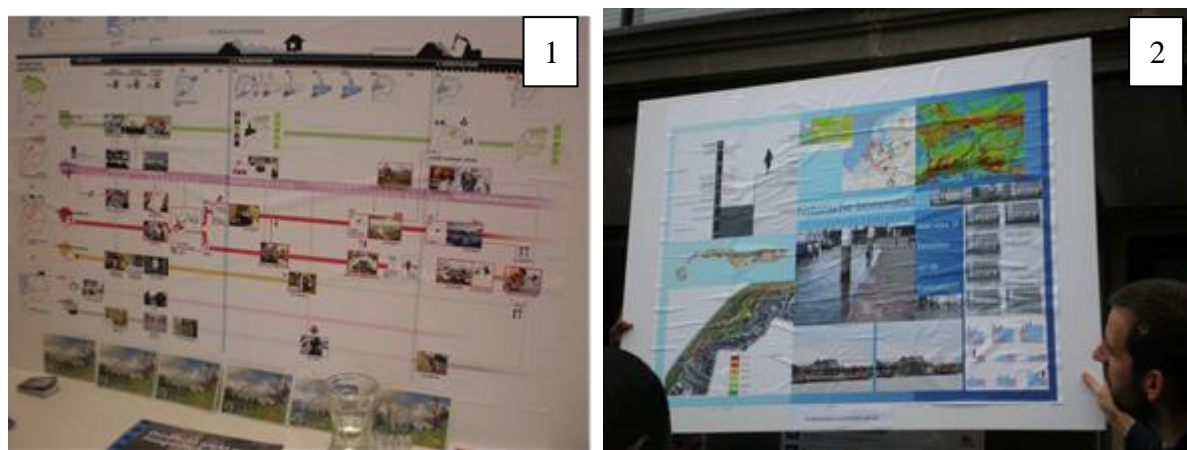


圖 2-17、水保育週：1)會場內三角洲計畫解說海報、2)行動看板

針對多德雷赫特島 (如圖 2-18-1)，因其對外交通量限制 (僅 3 座橋及 2 座隧道) 且其環繞海堤高度不足以防護極端高水位，所設定調適目標為透過撤離及島內避難所，提高社區面對極端高水位的回復力。以增高海堤方式最為單純，然預算有限且海堤若任一處未完成或破漏則功虧一簣，故於選定重點調適工作前先分析島上各處淹水損失 (如圖 2-18-2)。分析結果顯示北側島嶼損失最高，故將整座島分割為 3 部分並築起內堤 (如圖 2-18-3)，並於內堤上種植樹木增加內堤穩定度，再將北邊 Kop van't Land 海堤加高、規劃逃生路線及避難所 (如圖 2-18-4)。

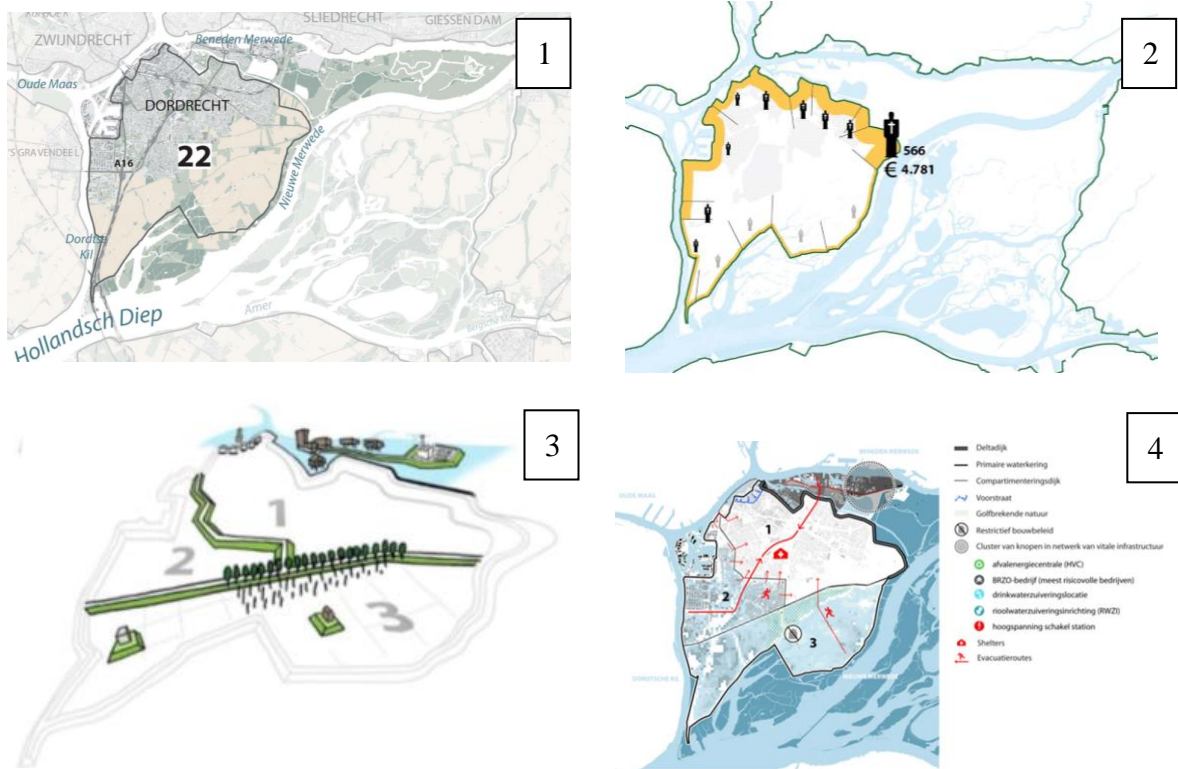


圖 2-18、多德雷赫特島調適策略：1)地理位置、2)淹水損失分析、3)建設內堤、4)緊急逃生路線及避難所地圖

(三) 鹿特丹市景及漂浮展示館

鹿特丹古城於第二次世界大戰被轟炸，也因次目前所見的鹿特丹是以較改良方式建構的新城。法規規範建築物地面層入口需抬高（如圖 2-19-1），而地下層不以儲藏有價物質為目的，須留設蓄水空間。污水系統亦設有多餘的排水空間，截至 7 月止，原設計每年使用一次的排水功能今（西元 2013）年已使用 10 次。又於城市中央設施多處雨水公園（如圖 2-19-2），平日無水時供社區居民遊憩使用、洪水期間則供蓄存使用。

飄浮展示館（the floating pavilion）是漂浮建築物技術的重要（也是第一個）試驗範例，此種創新技術可使鹿特丹以耐氣候變遷的方式重新布置這個脆弱度很高的三角洲地區。展示館可租借作為各種新引產品的展示中心，館內除留白展示空間、簡易吧檯、男女廁所外，於展場側邊尚有互動式媒體教學設備，並備有簡報室 1 間。館內採自然採光，玻璃窗可開啟，配合水面微氣候，溫度恰到好處。其外觀及室內空間如圖 2-19-3 及圖 2-19-4。



圖 2-19、鹿特丹市景漂浮展示館：1)抬高的地面層入口、2)雨水公園、3)與漂浮展示館外觀合照、4)漂浮展示館室內空間

十一、 WEAP 實務：氣候變遷及整合性水資源管理

WEAP 全名為「水評估與規劃系統 (Water Evaluation And Planning System)」，主要提供綜合、彈性且易操作的架構予決策者於整合性水資源規劃時利用。此軟體由斯德哥爾摩環境中心 (the Stockholm Environment Institute) 建立初步架構，續由美國陸軍工程兵團 (the US Army Corps of Engineers) 水利工程中心 (Hydrologic Engineering Center) 提升許多內容，並已於全球 24 個以上國家作為水資源研究使用，開發中國家可至 www.weap21.org 申請帳號使用 (軟體名稱為 WEAP21)。

針對區域性水資源調配、環境品質維護，以及永續利用等議題，WEAP 將各單位用水量需求、水質條件、環保基流等參數以水平衡概念納入系統，其訴求在於找出各用水單位均能接受的平衡點。所設定水資源項包含地表逕流、地下水、蓄水水域及跨區輸水等，而分析概念包含水文型態、月份變化歷線、地下水蘊藏及補注量、輸水限制等。除以點、線、面概念製圖外，並可設定各用水單位屬性，如人口成長趨勢及作

物需水量變化等。

WEAP 主介面包含 5 部分（如圖 2-20）：

- 圖示：輔以 GIS 基本技術，使用者可增減或拖曳供給點（地下水及蓄水水域）及線（地表逕流）、需求點（公共及農業）、取用及回歸點、基流量管制點等。
- 資料：可輸入或調整圖示中每個單元的變量及相關性、直接輸入或呼叫 Excel 數值等，利用數學方式將假設或投影納入系統。
- 結果：將前述圖示及資料計算出的結果以圖表呈現，亦可同步展示相對應圖式範圍以利對照。
- 情境：可於同基礎資料執行不同情境，並將其結果並列檢視。
- 註記：因系統資料量龐大且分析工作循環進行，設有註記供使用者登打異動資訊。

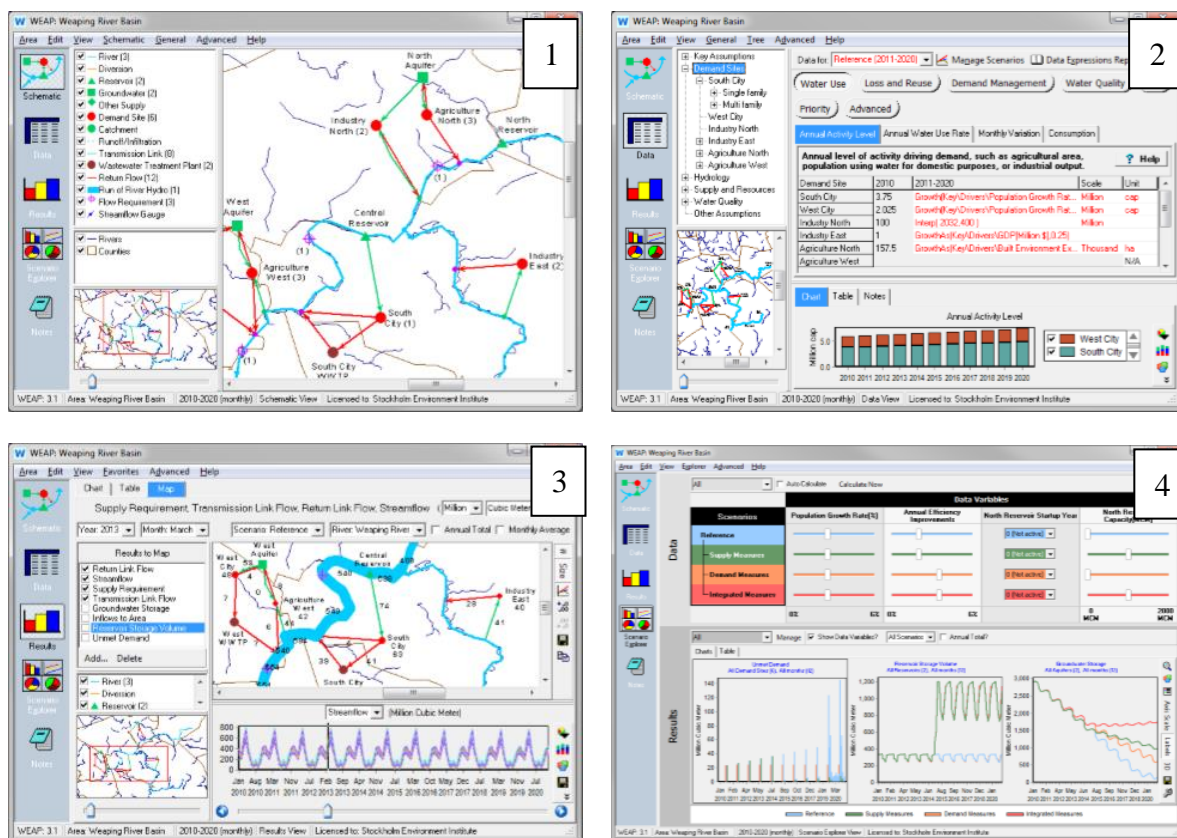


圖 2-20、WEAP 主介面：1)圖示、2)資料、3)結果、4)情境

氣候國是針對各學員國家水資源特性設定的假想國，透過使用 WEAP 分析與解決氣候國困境的過程，啟發各學員整合性思考的能力，同時亦將所有學員分為上游及下游 2 組，實際演練主權及利害衝突時，科學、決策及管理 3 面向如何推展。氣候國是

位於北半球、接近熱帶地區、臨海、開發中的國家，總面積接近 23,800 平方公里、有 2 條與鄰國相接的河流、人口 106 萬、2 主要城市位於河流交會及出海口處、擁有快速成長的人口、工業及農業活動亦蓬勃發展，主要面臨水資源問題為豐枯不均、海濱破壞、地下水超抽、用水標的競爭等問題。

各組人力架構包含組長、秘書、資料管理員、方案監控員等各 1 人，餘組員則依專長或興趣分散至能源、都市、鄉村、環境、農業、地下水等標的進行研討。合計 24 小時工作期間（分散於 4 天），組長定時召開全組會議，由各小組說明困境及預定執行方案，於此階段即發生各標的間針對認知、順序及效益等意見不合情形，組會議達成共識後進行 2 組長對談，此階段衝突更劇。約莫執行 4 小時即發現資料不足需自行假設部分資料，至 12 小時後出現瓶頸，學員各自回頭重新檢視原始資料，至 16 小時後 2 組長於休息時間（coffee break）時決議一起面對問題，至 20 小時核心團隊已建設大型水壩（具發電功能）解決未來氣候變遷問題，實作相關照片如圖 2-21、結報如附錄五。



圖 2-21、氣候國 WEAP 實作：1)氣候國地理位置、2)實作教室、3)核心團隊、4)結報

參、實習心得與建議

課上完了，然後呢？若去瞭解每堂課引用的研究結果輔以臺灣現況比較，要整理出洋洋灑灑一篇上萬字的文獻回顧絕對不是問題，但科技日新月異，投身氣候變遷相關研究的科學家為數眾多，身為水利家族裡的小小工程師（是工程師而非科學家），僅提出以下幾點心得與建議做為實習回饋。

一、重新檢視臺灣水環境

臺灣是個島國，雖說島國具有資源隔離限制，但於水資源調配面向並無壞處，排除了與他國相鄰常有的共有大河或地下水資源等水衝突（water conflict）議題。又依據水利法第 2 條：「水為天然資源，屬於國家所有，不因人民取得土地所有權而受影響」，臺灣「水」的主權在國家（即全體人民），管理上較為單純而有力。另臺灣的公共給水主要由公營自來水事業單位提供、農業用水主要由公法人農田水利會提供，且並無水權買賣制度及大型私人自來水企業，這使臺灣的「水」不至淪落為經濟商品，保有各用水單位的用水尊嚴及基本權利。

而位處颱風熱點的臺灣雖因此增加了災害風險，卻同時因颱風的高不確定性，為水資源不足（主要為枯水期）時帶來關鍵挹注。天氣劇烈變化地區的缺點是預測未來的準確性差，而好處則是短時間內即可能有數事件發生。近年來，中央氣象局的短（週）、中（月）、長（季）期預報能力持續提升，考量氣象預報的特性及應用範圍（如圖 3-1），長期預報課陳課長孟詩基於預報準確性及蓄水空間大小，建議臺灣參考雙週及月預報進行水庫操作等相關水源調配決策。結合大氣科學與水利工程專業，不僅較有機會掌握時機，亦可增加應變效益。

除水資源管理面向的單純及劇變天氣帶來可能性等優點外，長期累積的適應經驗（如興建水庫等）亦對臺灣水環境有正面影響。依水利署臺灣地區民國 99 年蓄水設施營運水量統計年報，公告水庫 96 座蓄水設施總容量計 21 億 3,070 萬立方公尺、有效容量計 19 億 9,922 萬立方公尺，供應農業灌溉、民生及工業用水量計 68 億 610 萬立方公尺。雖說興建水庫與環境保育間存在衝突，但這些水庫確實於蓄豐濟枯扮演重要角色，如何利用臺灣水資源現況創造並保存優勢，應是守成的第一步。

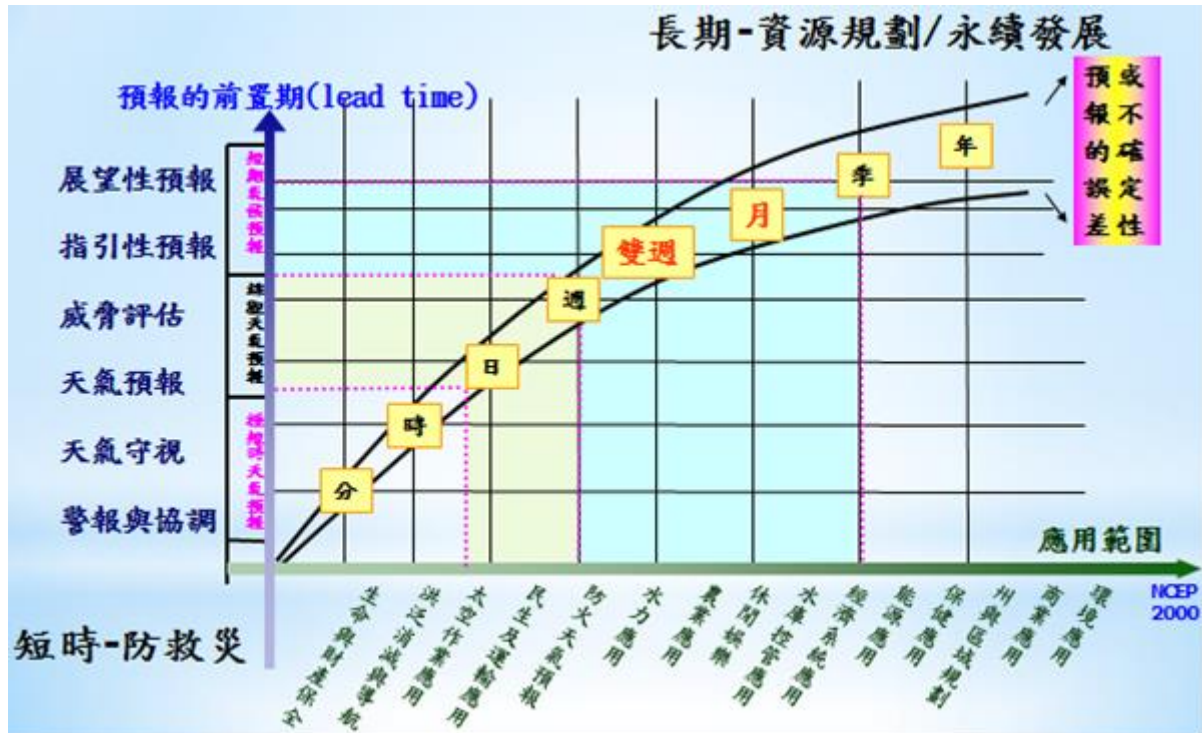


圖 3-1、氣象預報的特性及應用範圍（陳孟詩，101）

二、釐清氣候變遷影響

「氣候變遷」在臺灣可說是人人朗朗上口，但問到「氣候變遷對臺灣的影響是甚麼」時，往往是在遲疑半晌後迸出各式各樣的說法。以陳文茜女士及孫大偉先生共同監製、於民國 99 年 2 月發布的《±2°C》影片為例，因劇情緊湊、為臺灣氣候變遷相關的第一部紀錄片，且公開影片版權供下載及播放，發布後轟動一時，更有許多學校納為學習教材。但片中有關臺灣氣候變遷議題部分數據誇張或錯誤，相關學者及團體提出質疑²並擔心片中內容對公眾的錯誤影響。其實，應盡可能將平均溫度控制在增加 2°C 以內確實是目前國際間的共識，但這個控管目標並無科學根據，應較接近策略性目標（哥本哈根會議的政治承諾）。影片《±2°C》拍攝動機、所掀起的熱潮及正反討論對於氣候變遷的正視均有助益，但如何正確、客觀且適地的教育公眾值得深思。

釐清災害形成主因為何才能對症下藥，以非洲島國 São Tomé 及 Príncipe 為例可知

²如臺灣醒報方儉特稿（民國 99 年 2 月）±2°C--「四不一沒有」劇場版？、臺灣好生活電子報總編輯關魚（民國 99 年 2 月）從正負 2 度 C，談許多它沒告訴你的事、中研院生物多樣性研究中心博士後研究員 Gene Ng（民國 99 年 2 月）正負 2 度 C—不願面對的真相、台灣環境保護聯盟（民國 99 年 3 月）「正負 2 度 C」哪裡不對勁等文章。

提出行動策略前深入研究的重要性。São Tomé 及 Príncipe 為非洲第 2 小國，地理位置如圖 3-2，總面積 1,001 平方公里，總人口 166,000 人，除濱海地區居民以漁獲為生外，內陸居民均以種植可可、咖啡、甘蔗及棕櫚為生，近期年國民所得約 1,700 美元，而 54% 的人口每日生活費在 1 美元以下。主要受氣候變遷影響為海岸侵蝕及海平面上升造成沿岸居民生存空間縮減。世界銀行資助其在不涉及國內政治的前提下，針對氣候變遷影響進行調適行動，研究員很快地提出興築海堤或將沿海居民撤離等計畫，但經過深入瞭解當地歷史文化及居民型態後，正確而有效的解決方案出現。其實內陸居民以幫傭為生，種植的經濟作物為土地所有人（軍閥）的財產，沿海居民的祖先是從內陸逃跑的奴隸，故不願也無法遷移到內陸躲避海平面上升的問題。又依據當地耆老所說，過去海岸線是很遠而且種滿棕櫚樹的，經過研究團隊檢測亦於海底發現棕櫚樹遺跡，因此推測海岸侵蝕主因並非海平面上升，而是該地區奴隸制度瓦解後棕櫚樹林無人照顧，天然抗侵蝕屏障消失後海岸才開始退縮，故恢復棕櫚樹林成為解決之道。



圖 3-2、非洲島國 São Tomé 及 Príncipe 地理位置

參考水利署 102 年氣候變遷國際研討會提出的「聰明調適 珍惜水臺灣」簡報，臺灣年降雨量有極端豐枯年出現頻率增加（圖 3-3-1）及極端降雨事件發生次數增加（圖 3-3-2）等現象，此降雨量變異確實增加了近年枯旱及洪水災害出現的機率，但是否為災害出現的主因尚無定論。另針對未來具有「不確定性」的觀念亦需加以強調，氣候

變遷本身就是不確定的、各種推估模式均有其前提假設影響推估結果、參考之實際監測資料亦有誤差等。整體來說，「不確定」是未來唯一「確定」的事，如何客觀且正確地引用數據或分析結果，以拉近專家及公眾對於臺灣所面臨現況的認知，應是相關單位及團體（尚無法定權責為氣候變遷的公務機關）凝聚意識的前置作業。

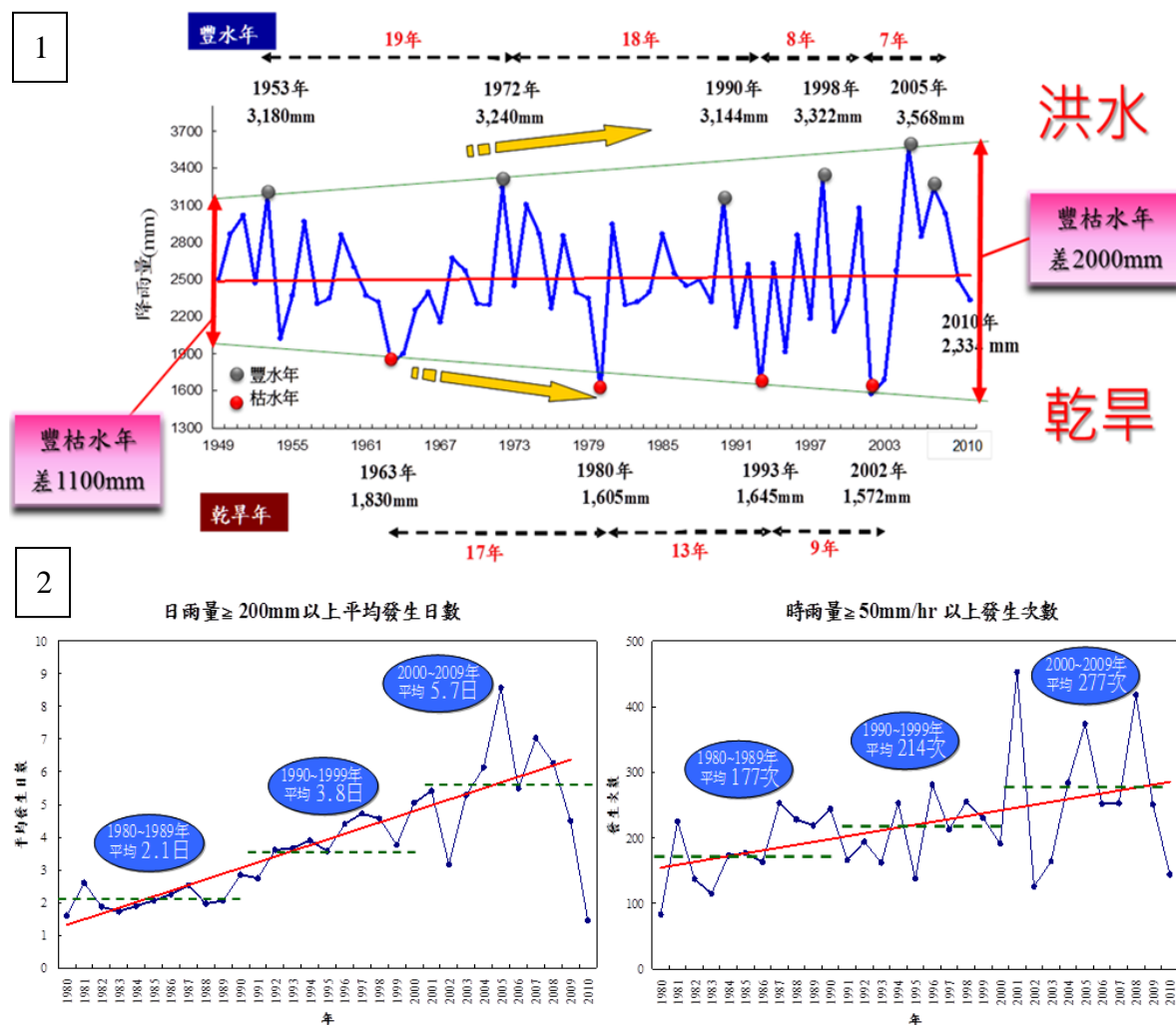


圖 3-3、雨量統計圖：1)年雨量、2)極端降雨事件發生次數

三、應持續並加強進行的工作

近年已開發國家學者及團隊於非洲推行了許多氣候變遷因應方案，企圖透過知識及經驗的分享，使非洲國家可以不重蹈已開發國家的錯誤發展歷程（to leapfrog）。但推行方案前應有周詳的考慮，以逐漸沙漠化的非洲地區為例，因應方案召集當地居民種植樹木及基礎灌溉系統，期能同時增加國民收入並減少沙漠化速度，但所選擇樹種

屬於高蒸發散量品種，方案並未成功。要能達成無悔調適，重新檢視已核定、執行中及規劃中計畫有其必要性，透過各利害關係人意見交流，應可增加工作推展效益。除持續改善現地監測品質（實地監測不能斷），並繼續推動水利署「氣候變遷水環境知識庫」內已羅列之既有方案外，僅針對下列幾項工作提出建議：

（一） 提升氣候變遷調適的地方意識

「國家氣候變遷調適政策綱領」於民國 101 年 6 月 25 日經行政院核定通過，經建會為使氣候變遷調適作為擴及地方並促進全民參與，於同年 12 月完成訂定「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」，並以台北市、屏東縣政府為示範縣市，引導地方政府研擬地方氣候變遷調適策略與行動方案，補助地方政府辦理「地方氣候變遷調適計畫」，基隆市、桃園縣、宜蘭縣、新竹縣（市）、苗栗縣、彰化縣、南投縣、嘉義縣（市）及雲林縣共 11 個縣市政府已開始執行（如表 3-1）。

前述縣市均已各自由縣長或副縣長召集成立「地方氣候變遷調適計畫推動平台」，平台成員包含地方政府各局（處、室）、執行廠商及專家學者等，同時亦邀請中央單位如水資源局、河川局、自來水事業單位及農田水利會等參與。雖然經建會所訂定之作業指引及範例步驟明確，但經數次參與地方政府工作小組或平台會議發現，下列 5 點困境若無突破或改善，各地方政府完成之調適計畫於後續中央推動政策方針之參考價值將無法提升：

- 多數平台會議參與者對氣候變遷定義瞭解不足或錯誤，將所遇困境均歸因於氣候變遷（如污水系統老舊或接管率不足等），以致關鍵議題遲遲無法明確。
- 因該研究計畫由上位發起（top down），地方政府尚無真正理解氣候變遷對地方的影響，在動機不足又問題不明下，對府內多數被賦予 8 大領域調適責任的單位，僅是增加承辦業務量，並無法正確提供現況及反應實際問題。
- 同時兼具瞭解氣候變遷現象、能製作風險地圖及決策矩陣，並對 8 大領域均有足夠認識的執行團隊非常少，短期間要找到 11 個（最終得標 8 家）專業團隊來執行計畫甚為困難。
- 健康的辯論有助科學家釐清問題，但地方所聘請專家學者學有專精，所提供意見若太深入、個人意識太過強烈或偏離主題，在地方政府與執行團隊大方向不明確下，易造成議題紊亂。

- 雖然臺灣面積並不大，但各縣市均有其發展願景及地方特色，但執行團隊不易掌握科學技術與政治決策間的關聯性，無聚焦地方功效。

表 3-1、執行中之地方氣候變遷調適計畫

縣市	計畫名稱	主辦單位	執行團隊
基隆市	基隆市氣候變遷調適計畫	環保局	禾拓規劃設計顧問有限公司
桃園縣	推動桃園縣地方氣候變遷調適計畫	環保局	威陞環境科技有限公司
宜蘭縣	「宜蘭縣氣候變遷調適計畫」委託專業服務	計畫處	環興科技股份有限公司
新竹縣	101 年度新竹縣地方氣候變遷調適計畫	工務處	環興科技股份有限公司
新竹市	101 年度新竹市氣候變遷調適計畫	環保局	財團法人台灣綜合研究院
苗栗縣	苗栗縣氣候變遷調適計畫	環保局	新系環境技術有限公司
彰化縣	彰化縣氣候變遷調適計畫	環保局	財團法人台灣綜合研究院
南投縣	南投縣氣候變遷調適計畫	環保局	國立暨南國際大學
嘉義縣	102 年度嘉義縣地方氣候變遷調適計畫	環保局	財團法人中華經濟研究院
嘉義市	101 年度嘉義市地方氣候變遷調適計畫	環保局	環興科技股份有限公司
雲林縣	雲林縣氣候變遷調適計畫	環保局	元律科技股份有限公司

(二) 提升公眾事務參與意願及能力

於一般社會大眾，除了參加大遊行及網路口水戰外，深入參與公共事務的意願並不高。雖說國父的「政治」是「管理眾人之事」理想成分甚高，但現今政治污名化、家訓成為「除了政治外什麼都可以做」的現象，卻讓人不得不警醒，若多數的人不再關心這「管理眾人之事」，那麼眾人的未來將由誰決定？又若眾人決定今天開始要關心這「管理眾人之事」，眾人有沒有關心的能力？

以城市多德雷赫特為例，由地方民眾及在地研究單位提出地方未來願景及藍圖，撰寫計畫書向中央提請補助部分或全部經費，若核准則自行推動並定期接受檢核，這樣的模式不僅更容易貼近問題核心，因計畫成敗攸關自身，計畫執行的品質亦可提升。

過於頻繁的選舉及為數不多的人選可選已使臺灣的民主有些變質了，候選人一戰選完立馬為下一戰準備、民眾日子不順就喊著「對政府失去信心」，選舉只是一個循環的頭一件事，後續政策推動才是辦理選舉的意義，甚麼時候選舉變成民眾唯一參與公眾事務的方式？改善民眾對公眾事務的認知，才能真正提升政府擬訂與執行任何政策（包含氣候變遷調適）的效益。

（三）專業人才革新

臺灣是個平均知識水準很高的國家，依內政部中華民國統計資訊網資料，民國 101 年戶籍登記 15 歲以上人口大學學院畢業人口共 3,206,420 人、年增率 5.44%，研究所畢業人口共 815,363 人、年增率 8.30%，相較民國 91 年，教改於 10 年內使大學學院畢業人口增加 2.42 倍、研究所畢業人口增加 3.40 倍。但社會有沒有更進步、更幸福呢？當一個社會知識傳播及資訊流通均已發展到某一個層級，學歷已不再是癥結點，是否有「聽」、「思考」及「合作」的能力才是關鍵。

高知識分子在臺灣的社會地位是高的，也因此「研究結果顯示」與「專家認為」等字樣對政府及民眾均具有說服力，但少見各領域的專家溝通與合作，既然如此，創造一些跨領域人才或許於對話有益。臺灣大學大氣系陳正平教授（亦為臺大全球變遷中心主任）於今（民國 102）年擔任科學人文跨科際人才培育計畫中 A 類課群「氣候變遷與人類永續發展跨科際主題導向課程群組發展計畫」的計畫主持人，目的在於培養氣候變遷與永續發展之跨領域、具整合能力之人才，引導學生在氣候變遷與人類永續發展議題上具有多角度的視野與經驗，養成主動學習、蒐集資料、辯證、分析、設備使用與實作能力，並且在知識的獲取上可打破知識分工所產生的偏窄觀點，而回復知識原本的整體思考。另亦招募已具備相關知識的學生成立菁英團，定期針對社會及全球性重大議題研究及討論、與授課教師密集頻繁的師生聚會交流、不定期舉辦讀書會、田野參訪等活動。

前述課群課程如圖 3-4，為期 3 年、學分數達 52 學分、授課講師達 26 人、相關系所達 13 所，光看這些數字就覺得吃力不討好，學生是否真能在 2 至 3 學分內吸收單一主題、主題與主題間是否能合併應用，完成修習的學生是否可成為領域與領域間的橋樑，或僅是成為另一個名為「跨領域」的領域，均是挑戰。

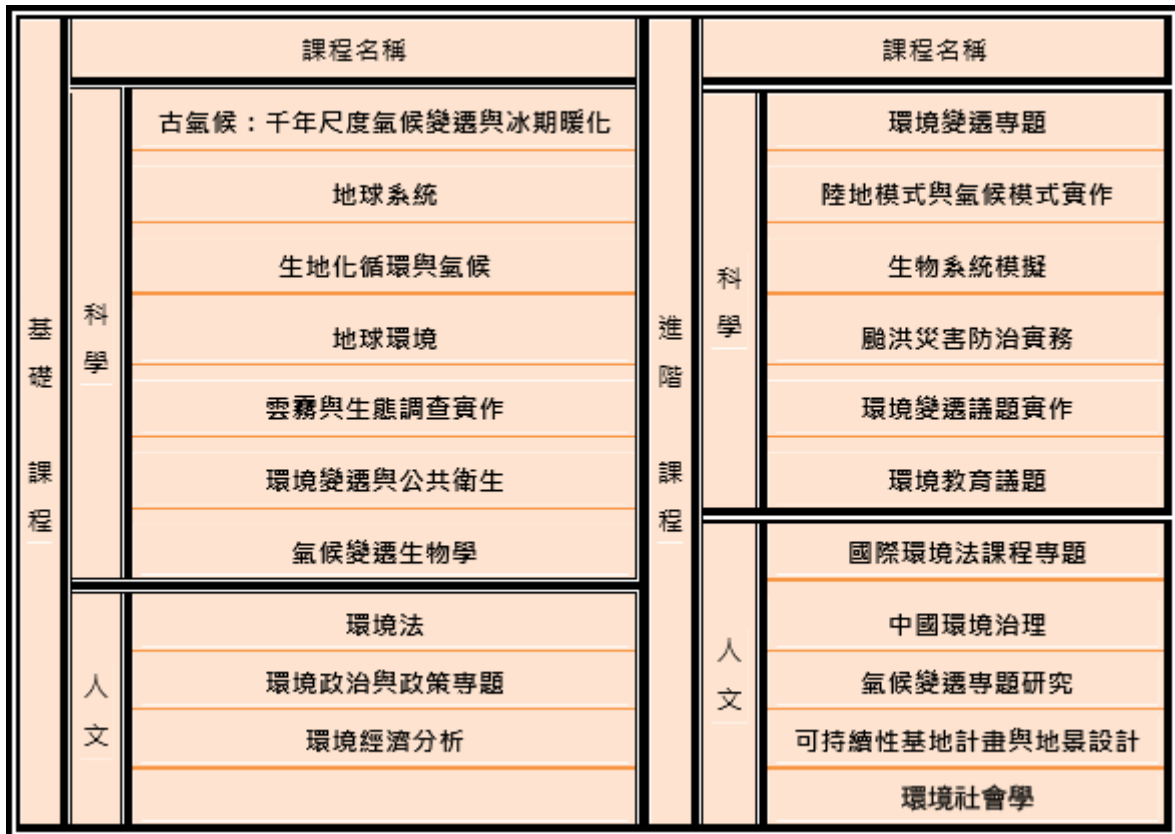


圖 3-4、群組課程關係說明或架構圖

(四) 軟方案認知建立

今（民國 102）年 9 月間，馬英九總統聽取經濟部「康芮颱風檢討報告」時，提到納莉颱風時「捷運站等於不知不覺扮演了滯洪池的角色」，遭到綠營及民眾大力撻伐。先不論馬總統敘述是否得當，以臺北地區不透水鋪面覆蓋率如此高的情況下，短延時強降雨出現時，若排水設施無法宣洩，總要有個蓄水空間暫時儲存雨水。以傳統思維檢討，加大排水溝渠即可解決問題，但加到多大才能因應未知的未來？又已高度開發的都市地區是否仍有大規模加大排水溝渠的空間及效益？

軟方案的認知不僅是參考自然、與自然力量合作，與水爭地的時代已經過去了，要在都市地區還給雨水一定空間（即便當今的強降雨於天然環境仍會淹水），人類的自我意識需要退一步。以荷蘭為例，各自門戶加高或裝設擋水板、環狀堤岸（dike ring）設計、堤岸防護高度不足處以街道加裝擋水板改善、地下室預留蓄水空間等，均是允許雨水於極端事件發生時暫時進入人類活動空間的概念，更別說將城市多德雷赫特劃分為 3 區，其中 2 區作為緊急備援淹水空間的作法。暫時不考慮成本問題，如果現在將臺北地區地面以下的捷運及鐵路空間內重要機電設備及淹水無法修復的重要設施移

至地面層，臺北地區的民眾是願意讓前述空間做為滯洪使用呢？還是寧願前述空間完好但自家淹水甚高？當然，我們也未必需要回答前述問題，但調適多半包含部分犧牲的概念卻需要建立。

由來自彰化的陳瑞文先生發明的 JW 生態工法（已納入內政部營建署「透水性鋪面養護工法參考手冊」）即屬聰明的軟方案，讓整個鋪面底下成為滯洪池（或地下濕地、地下河川、地下儲水槽），可營造出中華低碳環境學會柳中明理事長所提「海綿城市」。都市地區不透水率如此高的原因，不外乎希望道路堅固耐用及住宅不滲水，但不透水率高則雨水蓄存的緩衝空間少，透過 JW 生態工法可為鋪面設置氣孔，以利水分及空氣流通，且同時兼顧道路堅固耐用的功效。JW 生態工法結構：上層採用網格型塑膠管為支柱，於其空間灌入水泥，中空塑膠管做為地表毛細孔，水泥則可承重；中層碎石層，再一次平均分散承重壓力，再讓雨水滲入、過濾，下層土壤則可吸收雨水、疏散暴雨、涵養地底生態系統。

（五）非關政治的優秀行銷

「水利署」3 個字能在媒體上連續出現數日的情形，無非是枯旱、洪水或工程弊案新聞，雖說臺灣民眾已默許腥辣聳動的報導內容成為媒體主體，但政府單位仍應透過與一些資深媒體人（具有行銷專長者）合作，將政府需要民眾配合的、想要民眾知道的訊息傳遞出去。公家機關聞媒體色變的時代應該結束了，非關政治的優秀行銷應是這個資訊爆炸時代可利用的優勢。

以水利署民國 101 年 11 月 17 日假成功大學綠色魔法學校舉辦的氣候變遷水環境調適「公民咖啡館（world café）」為例，用一種新的議題討論方式，蒐整目前民眾、學術界以及 NGO 對於氣候變遷相關政策以及職掌業務關鍵議題的意見，並於活動結束後製作全紀錄。今（民國 102）年 2 月出版的活動全紀錄內幾乎囊括了近年水資源相關議題，除列出當天參加人員的結論外，水利署亦分「既有作為」及「後續政策」進行回覆說明，實為認識氣候變遷下水資源管理的良冊。但究竟多少人知道這個活動？又多少人將全紀錄下載閱讀？因為水利署供下載網頁無下載次數記錄，無法回答前述問題，但若參考水利署資料完整的「氣候變遷水環境知識庫」，截至今（民國 102）年 9 月僅約 1 萬 7 千次點閱（而且每點一次「首頁」即計算一次）即可知道，這類成果對於臺灣民眾的吸引力遠不及黃色小鴨進駐高雄港。

除了對民眾行銷政府既有作為與後續政策外，向國際行銷臺灣也是重點。因為政

治因素限制了臺灣的能見度，但近年臺灣在各項或大或小的國際賽事均表現亮眼，開啟了國際媒體將賽事與政治分離的報導。從前，我們的灌溉管理技術創造了農業奇蹟，今日，我們的颱風應變亦值得我們驕傲，一同參加實習的中東同學無法理解一下子降下大於 300 毫米的雨量（中東國家的年雨量）怎麼可能不淹水。我們有我們尚未解決的問題，但也有我們值得分享出去的成果，透過密切且對等的分享與交流，才是尋求人類未來方向的最佳模式。

（六） 國土規劃輔以保險制度

以水利署民國 98 年「台灣北部區域水資源經理基本計畫」為例，近程及中程計畫均以 5 至 10 年內為假定辦理期程，遠程計畫則多為興建水庫等推行不易的工作項目。反觀荷蘭水利工程研究，其海堤防洪標準以未來 100 年海平面上升及地層下陷效應影響進行評估，而 20 年對荷蘭來說是短期計畫（每 5 年檢討一次），其對未來調適的野心及信心值得參考。土地使用情形與氣候及水循環密切相關，其同時亦受人口、社經條件、生活型式等影響（如圖 3-5），以臺灣如此高密度開發的環境而言，推展整體國土規劃（或改革）相當困難，不僅需要訂有完整的遠程目標，還需要良好可行的短程方案。

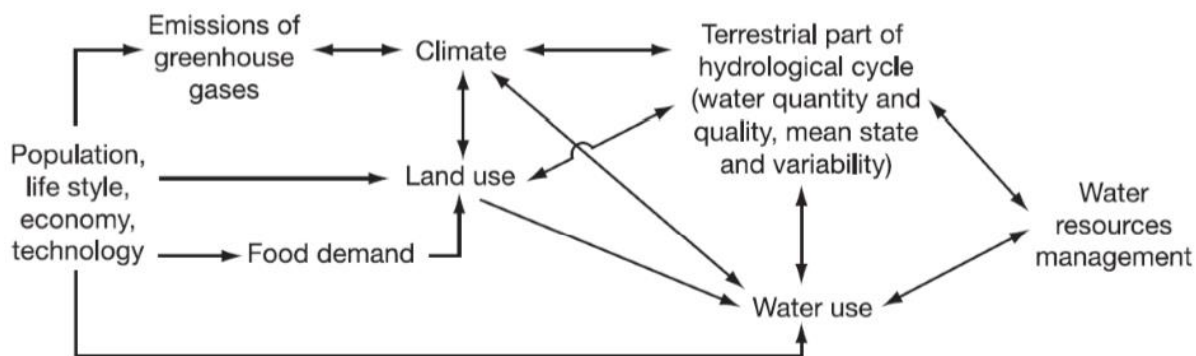


圖 3-5、土地利用與整體系統關聯性

水利署今（民國 102）年「新紀元水利施政綱要計畫（102~111 年）」施政主軸與策略「推動流域綜合治水，提高流域容洪量能」中提到，應著手國土規劃：

- 推動流域綜合治水之國土整體規劃，修訂流域內土地及空間規劃利用相關法規，融入流域對策。

- 建立土地利用規劃兼顧防洪安全之審議機制，並完備開發計畫之排水審查，以利洪水出流管制。
- 開發計畫、土地利用、農業措施（農田蓄洪）等相關計畫應適當融入防洪思維。但相關權責機構是否能於前述方針達成執行面的共識，仍有待眾人一起努力。於此國土規劃（或改革）推行的同時，建議引入保險制度，以流域綜合治水概念為例，將各建築用地劃分風險等級，依風險高低收取災害保險費，做為災害發生時可統籌運用的緊急應變經費。保險費制度的施行除立法程序外，尚需客觀且具公信力的風險等級劃分依據，相關制度可參考英國洪水保險制度、荷蘭 WB 制度、印度農業保險制度等。

（七）水利用概念革新

臺灣水資源利用正朝總量管制、以供定需方向發展，以民國 120 年天然水資源開發利用水量每年 200 億噸為目標努力，當焦點均集中在工業用水回收率提升及自覓水源等議題時，水利用概念革新亦是值得努力的方向。水只能用一次嗎？馬桶洗手台（如圖 3-6）即是水利用概念革新的例子，在馬桶水箱上裝設洗手台，洗手用水流入水箱供沖廁使用，此種設計在住宅空間狹小的日本已使用多年。

依現況，具一定開發規模且位於尚無公共下水道可接管地區的開發案，多要求自行興建污水處理設施，將污水處理至符合放流水標準始可排放。依民國 97 年統計，實際家庭用水量平均每人每日 238 公升，其中馬桶沖廁即佔 64 公升，若可修訂管理規則，要求建築物供水系統中沖廁（及澆灌）等非接觸性用水管線由污水回收供應，應至少可減少 27% 的家庭用水量，對於增加面對氣候變遷的應變能力，不無小補。而臺灣地區性污水處理廠處理後的再生水，多因民眾顧慮或地勢較低、輸送成本過高而放流處理，未來再生水供應宜朝小規模多點及多型式發展，以增加實際運用效益。

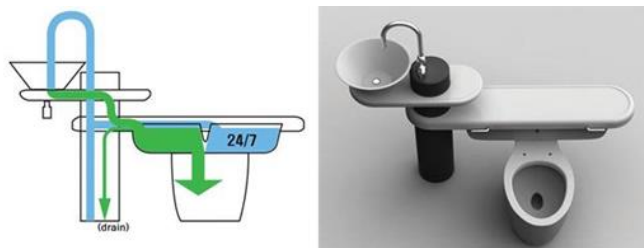


圖 3-6、新式馬桶洗手台水流示意及實體圖（摘自狀元甲天下管理委員會網站）

參考文獻

1. Bellard C., Bertelsmeier C., Leadley P., Thuiller W. and Courchamp F. (2012), “Impacts of climate change on the future of biodiversity”, *Ecology Letters*, 15(4), 365–377.
2. IPCC (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
3. 中天綜合台，民國 101 年，「JW 生態工法」，台灣生活館節目。
4. 內政部，中華民國統計資訊網。
5. 行政院經濟建設委員會，民國 101 年，「屏東縣氣候變遷調適計畫」。
6. 林函潔、唐功培，民國 102 年，「正視國內氣候變遷相關學程缺乏，臺大全球變遷中心陳正平教授分享課群計畫發展經驗」，跨科技對話平台。
7. 陳孟詩，民國 101 年，「臺灣未來降雨展望」，經濟部水利署北區水資源局「102 年度上半年北部、東部花蓮及離島馬祖地區供水事宜」會議簡報。
8. 經濟部水利署，民國 98 年，「台灣北部區域水資源經理基本計畫（行政院核定本）」。
9. 經濟部水利署，民國 100 年，「臺灣地區民國 99 年蓄水設施營運水量統計年報」。
10. 經濟部水利署，民國 102 年，「新紀元水利施政綱要計畫（102~111 年）」。
11. 經濟部水利署，民國 102 年，「聰明調適 珍惜水臺灣」，2013 氣候變遷國際研討會簡報。
12. 經濟部水利署，民國 102 年，「氣候變遷水環境調適『公民咖啡館（world café）』活動全紀錄」。
13. 經濟部水利署，節約用水資訊網。
14. 經濟部水利署，氣候變遷水環境知識庫。



CERTIFICATE

Short Course on IWRM as a Tool for Adaptation to Climate Change

This is to certify that

Hsuan-Mei Hsiao

born on 01 February 1985 in Taipei, Taiwan of China

has followed and successfully completed the short course on IWRM as a Tool for Adaptation to Climate Change held at UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands from 01 July 2013 – 19 July 2013.

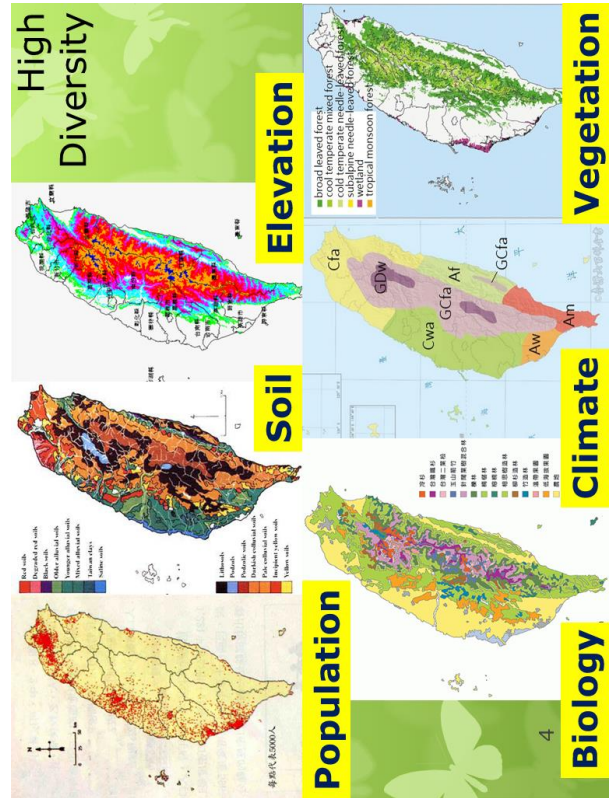
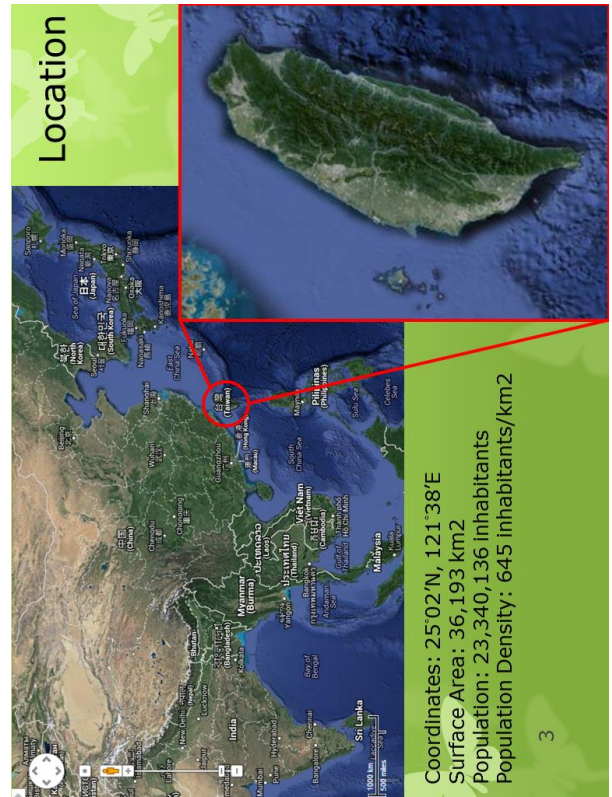
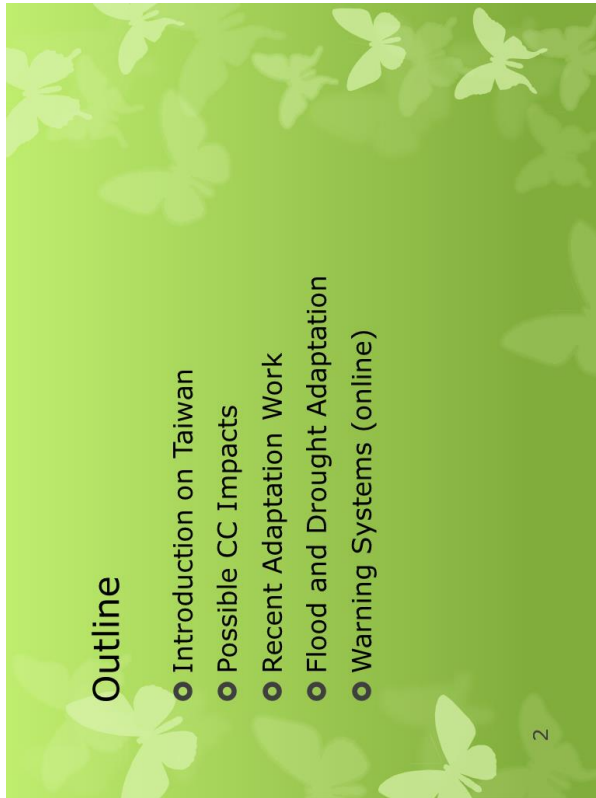
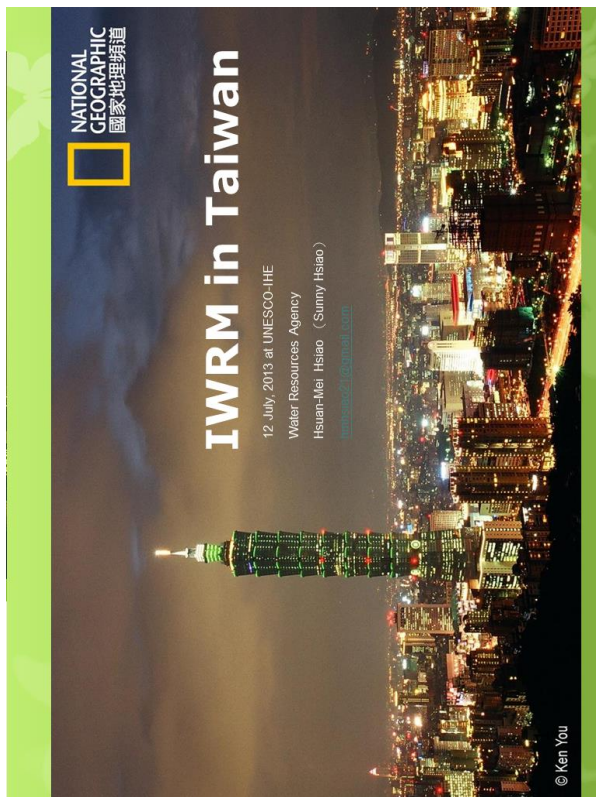


Prof. A. Szöllösi-Nagy, PhD, DSc
Rector

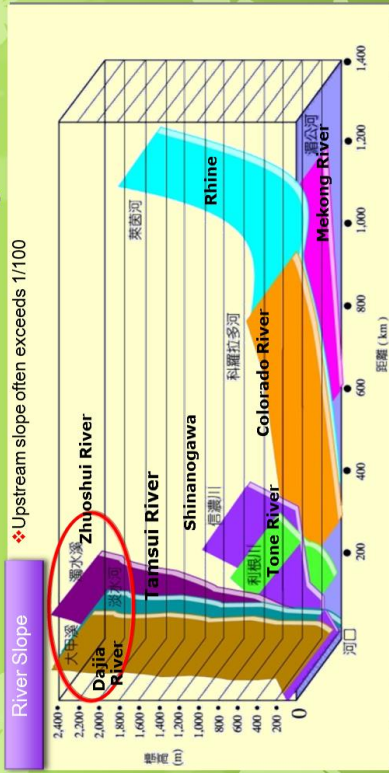


E.D. de Ruijter van Steveninck, PhD, MSc
Course Coordinator

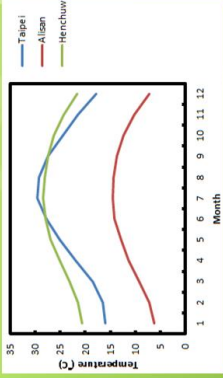
Delft, the Netherlands, 19 July 2013



Steep rivers Geologically weak watershed High washout

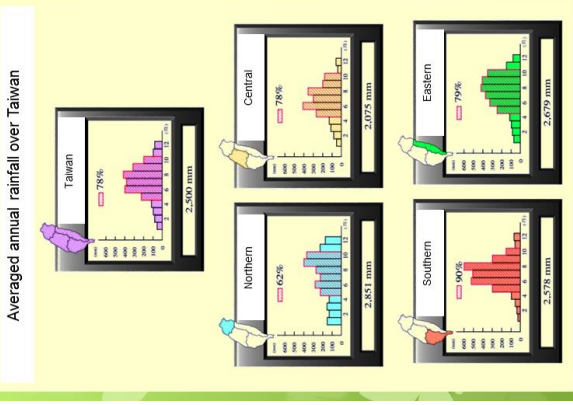


Weather



Mean temperature 23°C, with 30°C in July and 16°C in January (30 year average, Taipei station)

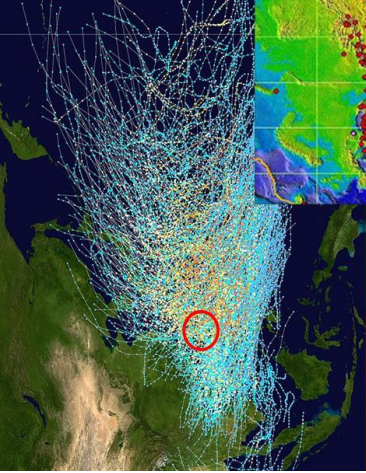
Total Precipitation 2405 mm, with 326 mm in June and 73 mm in December (30 year average, Taipei Station)



High annual average rainfall Low annual per capita allowance of rainfall

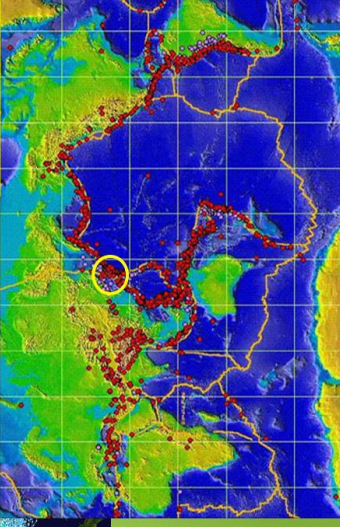


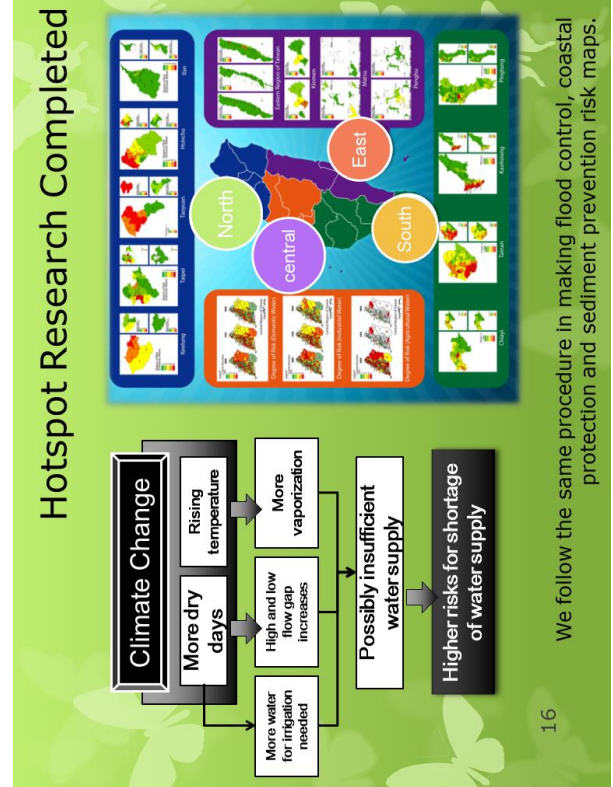
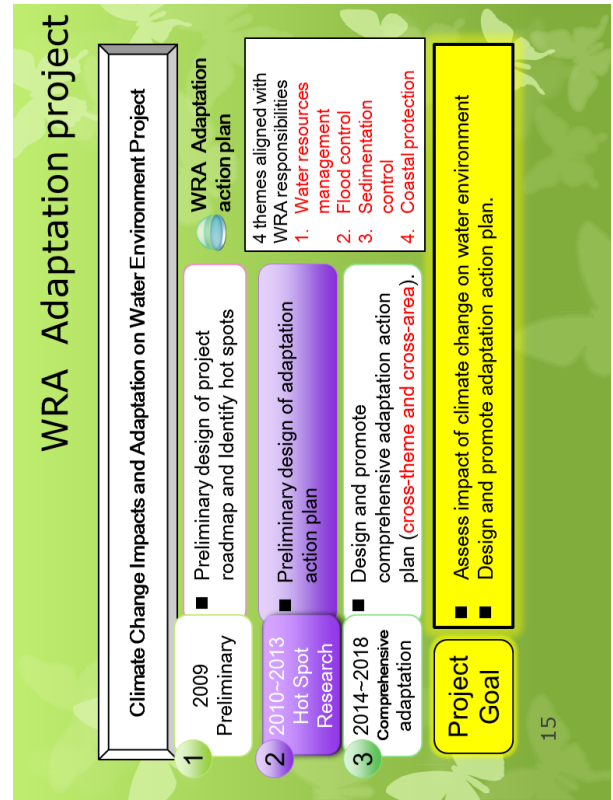
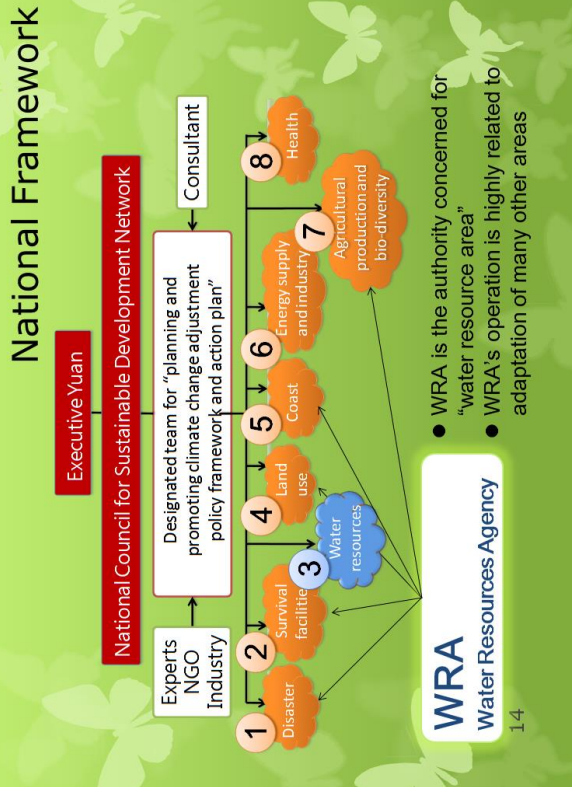
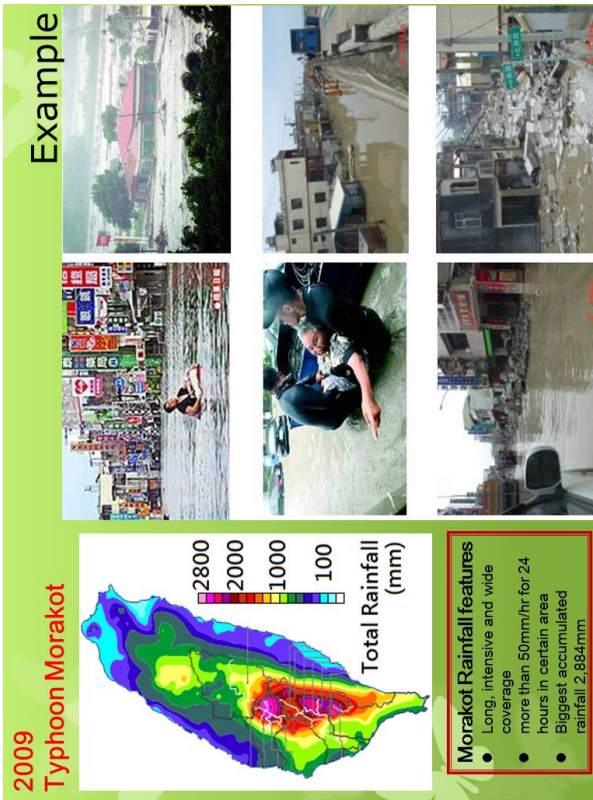
Even Without CC Impacts



Typhoon

Earthquake





Flood

To Adapt Flood ...

Traditional Pumping Out & Conduction
Warning System & Text Message
Flood Hazard Map
Public Announcement & Education
LID and Flood Detention Pool Regulation
Etc.



17

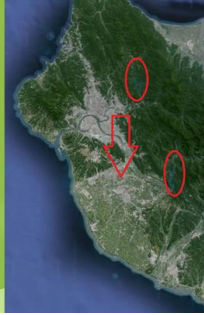
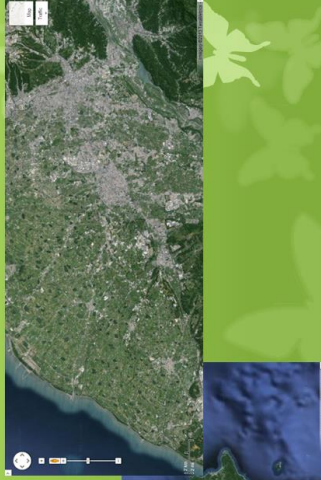
Drought

To Adapt Drought ...

Warning System
Domestic Water Supply Control
Public Announcement & Education
Shifting Water from Agricultural
Cross Region Water Support
Artificial Precipitation Enhancement
New Water Resources Investigation
Etc.



Cold Cloud: dry ice & AgI
Warm Cloud: water & NaCl



Warning Systems (online)

- Central Weather Bureau
<http://www.cwb.gov.tw/eng/index.htm>
- WRA Disaster Prevention Information Service Network
http://fhy2.wra.gov.tw/Pub_webE_2012/
- MOTC Highway Disaster Information System <http://boobe168.tw/>
- Google Crisis Map
<http://www.google.org/publicalerts>
- Etc.



Thank you! Welcome to Taiwan!



19

The Concept behind Flood Vulnerability Indices (FVI) for Coastal Cities Assignment

Stefania Balica & Frank van der Meulen

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

1. Create a fictive coastal case study, which is exposed to natural disaster, such as: floods/droughts.

a). Assess the CCF(D)VI for a case study area to be decided, which is exposed to floods/droughts.
How would you assess vulnerability of the area? Would you consider parametric methods (based on indicators) or deterministic methods (mathematical modelling) or both methods?

What type of system components you will consider? Think of a way to evaluate vulnerability. Find an easy way to present it to the population of the coastal area.

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

1. Create a fictive coastal case study, which is exposed to natural disaster, such as: floods/droughts.

b). How to reduce the vulnerability for this area?

Knowing that your case study area is vulnerable to floods/droughts, how would you reduce the vulnerability? What measures would you propose? Structural, non-structural or both? And Why?

c). How to prioritise implementation of adaptation measures? Suppose you are a decision maker and you have to decide about adaptation measures. What (type of) conclusions would you draw from this flood/drought vulnerability assessment?

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

1. Create a fictive coastal case study, which is exposed to natural disaster, such as: floods/droughts.

d). Which methods do you propose to increase the validity and correctness of the data that you need for calculating the CC(D)FVI? (for example use stake holder participation to acquire more accurate local data)
Do you still miss information? Would you use the index? If yes, how? If not, why not?

As a politician or/and decision maker what measures would you prioritise (costs, easy to apply)? Which is the most important component of the natural system for your case study?

Which weights would you give to the several hydro-geological, social, economic and politico-administrative components? Do we allocate different weights? How? Pros and Cons.

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

2. Questions referring to the CCF(D)VI:

- a. Do you think that the chosen indicators on coastal city/area cover the different dimensions of flood/drought vulnerability completely?
- Are there indicators you miss?

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

- b. Based on this assignment, what are the major strengths of the Flood Vulnerability Index (Water Poverty Index) and what are the major weaknesses?

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

- c. In the context of dealing with uncertainty: What could the function of this method be in the context of risk management and dealing with uncertainty?

July, 4th 2013

Each group should answer to the following questions & present their work at the end of the day.

- d. Suppose you are a decision maker and you have to decide about adaption measures.
- e. What (type of) conclusions would you draw out of this assessment?
- f. Do you still miss information?
- g. How would you use the index?
- h. Would you reduce even more the number of indicators?



July, 4th 2013

Assignment Integrating climate adaptation into IWRM planning

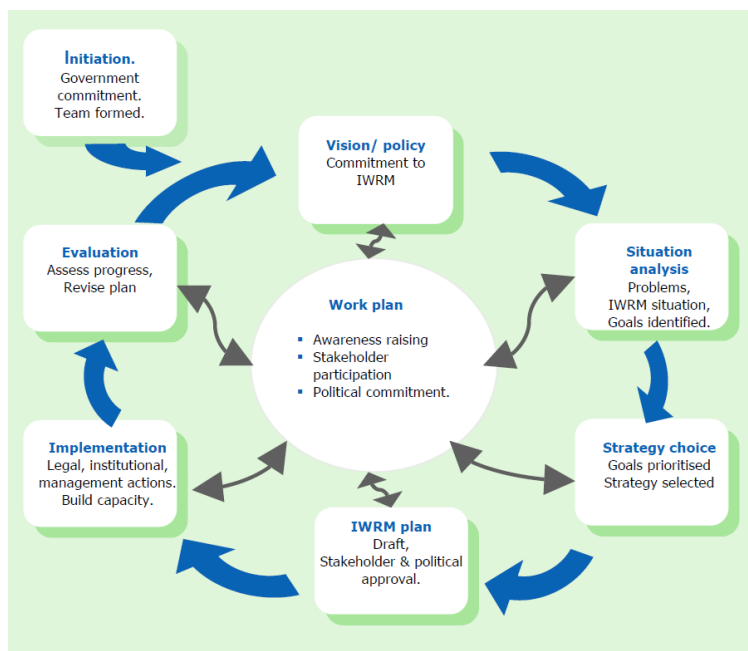
In this assignment, you will describe how you can make use of the IWRM planning cycle (see figure 1) for climate change adaptation. You will answer questions about each step in the IWRM Planning cycle on the basis of a case study in a region and sector of your choice. All questions refer to your specific case study.

In order to accomplish this assignment it is necessary to define a geographic area, scale (community up to river basin) and sector (i.e. water supply and sanitation, environment, agriculture etc.). To keep things practical and realistic we recommend either to work at a regional level (e.g. a river basin), or at a local level (e.g. a project). Examples of suitable subjects (in Dutch context) are: dealing with increasing salinization in agricultural parts of lowlands in the province of South-Holland; managing risk of urban floods in the city of Rotterdam; developing a plan for dealing with increasing droughts in the (western part of) the Netherlands in relation to the supply of drinking water, etc.

This assignment is partially fictive and partially real. Please take into account the existing plans and strategies, but do not limit yourself to them and show how you would ideally and realistically design the IWRM planning process, given the current situation or extend on the current plans and strategies. Contrary to the principles of IWRM, you will make this assignment without involvement of the stakeholders.

Your answers should be as specific as possible for the selected cases. Try to avoid general answers and use (and refer to) information and data from your case study area.

Figure 1 IWRM Planning Cycle



Geographical region/scale:	
Sector:	

1. INITIATION AND DEVELOPMENT OF WORK PLAN

The main objectives for this phase are obtaining government commitment, raising awareness on principles for achieving sustainable management of water resources, and establishing various teams/committees. The commitment of the main stakeholders and the funding to the decision making are specified and formalized in the work plan, which also includes a framework for stakeholder participation and the need for capacity building activities for the support of the planning process.

1.1 Which teams/committees would you propose and who will be in them?

Team/committee	Who

1.2 How will you raise awareness amongst, and get commitment (including financial) from, the key stakeholders? Explain.

--

2. VISION/POLICY STATEMENT

The outcome of this phase is a formal or informal statement of a water management vision or water policy which embraces the principles of sustainable management and development of water resources.

2.1 How would you involve the stakeholders in developing a vision? Explain the necessary steps to be taken.

--

2.2 Realising that you cannot involve the stakeholders to create a shared vision in this assignment, formulate your vision for the selected plan. Take into account sustainable development and climate change and variability.

--

3. SITUATION ANALYSIS

The output from the situation analysis is a report elaborating the progress with implementing improved management of water resources, the outstanding issues, the problems and some of the solutions. Prioritizing these problems, issues and solutions in terms of social, economic, environmental and political priorities is an important aspect of the report. The analysis is carried out with respect to achieving sustainable management and development of water resources.

3.1 Which information is necessary, at which scale (temporal, spatial) and where/how to collect it?

Information	Scale	Where/how

3.2 Formulate provisional objectives for adaptation based on your main challenges.

Objective 1	
Objective 2	
.....	

3.3 Formulate a long-list of adaptation strategies/measures to achieve these objectives and categorize them as long/short term measures.

Strategy/measure	Long-term/ short-term

3.4 What are the major uncertainties in this phase and what strategies would you propose to deal with these uncertainties? Explain.

4. STRATEGY CHOICE

The output from this stage of the planning cycle is a water resources management strategy with clear goals. The strategy should go beyond the actions needed to solve current problems or achieve short term objectives and establish a clear long term framework to achieve sustainable management and development of water resources. The IWRM plan will then be used to operationalise the strategy from one planning period to the next.

4.1 Most likely there are conflicting interests. Which ones do you see? How would you deal with them and how would you organise the decision making process? Explain.

4.2 Formulate a strategy (you can limit yourself to action points) to achieve the objectives. Make a distinction between short- and long term actions.

4.3 Specify the objectives in such a way that they are SMART (i.e. Specific, Measurable, Attainable, Realistic and Time-bound).

4.4 Score the strategies/measures that you identified in question 4.3 qualitatively (or if possible quantitatively) on the basis of your SMART objectives (5.3). What conclusions can you draw from the table?

Objective				
Measure/strategy				

Extent to which the strategy contributes to accomplishment of objective from low to high: --, -, 0, +, ++

Conclusions:

4.5 Give a description of the estimated (relative) costs and benefits of the different measures. Also indicate how costs and benefits are distributed among actors. Is funding by the government required, or are there possibilities for private investment or public private partnerships? Explain and use sources.

5. IWRM PLAN & APPROVAL

Following the agreement on a water resources management strategy the next step is to operationalise this into a plan which details what has to be done, by whom, when and using what resources. The production of a feasible, acceptable and relevant plan is the expected result of this step in the planning cycle.

5.1 How would you organize this phase? Which roles would you give each actor? Which policy instruments and institutional arrangements will be used? Explain.

5.2 How would you sell the measures/strategies to the general public?

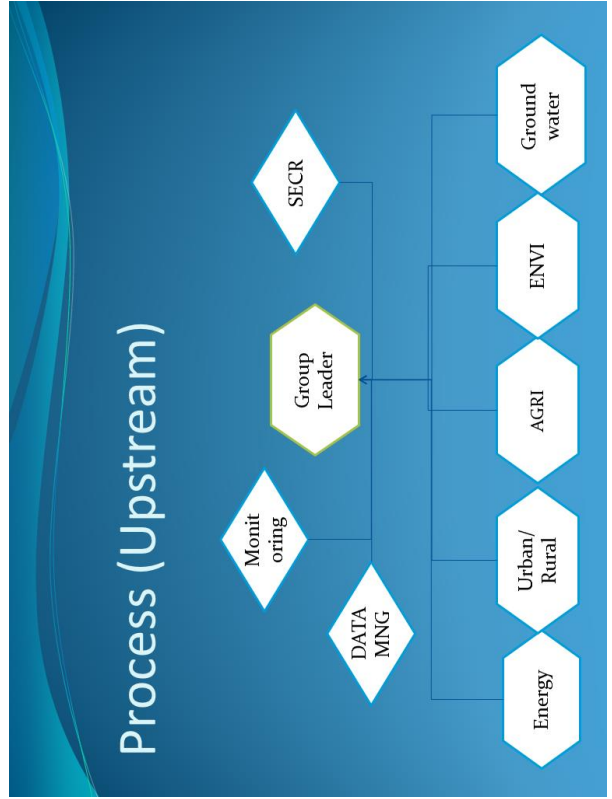
5.3 What are the major uncertainties and what strategies would you propose to deal with these uncertainties? Explain.

Republic of Climateland

A middle-income country by the year 2025

Outline

- Objectives
- Process
- Developments
- Results
- Conclusion



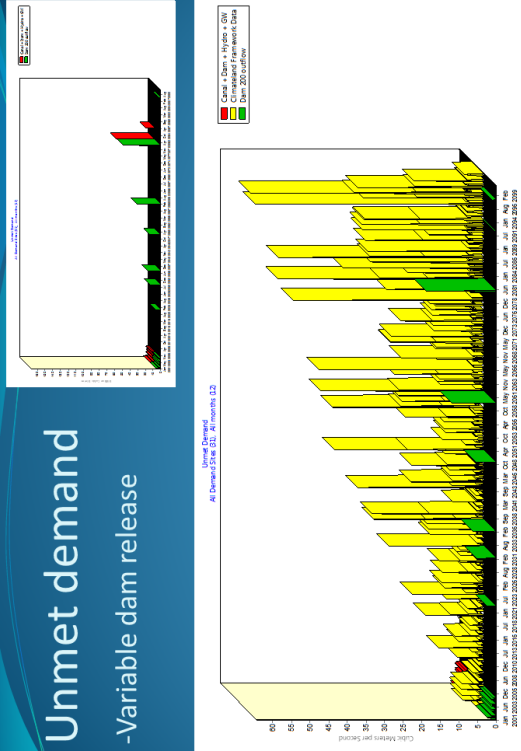
Process (Downstream)

```

    graph TD
      Monitoring{Monitoring} --> GroupLeader{Group Leader}
      DataMining{DATA MING} --> GroupLeader
      GroupLeader --> SECR{SECR}
      GroupLeader --> Energy{Energy}
      GroupLeader --> UrbanInd{Urban/Ind}
      GroupLeader --> AGRI{AGRI}
      GroupLeader --> RuralEnv{Rural/Env}
      GroupLeader --> GroundWater{Ground water}
  
```

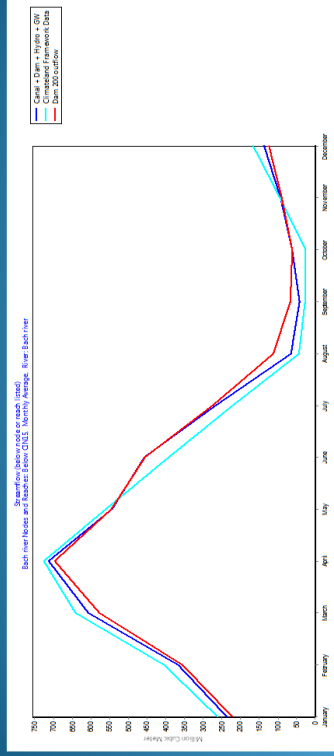

Unmet demand

-Variable dam release



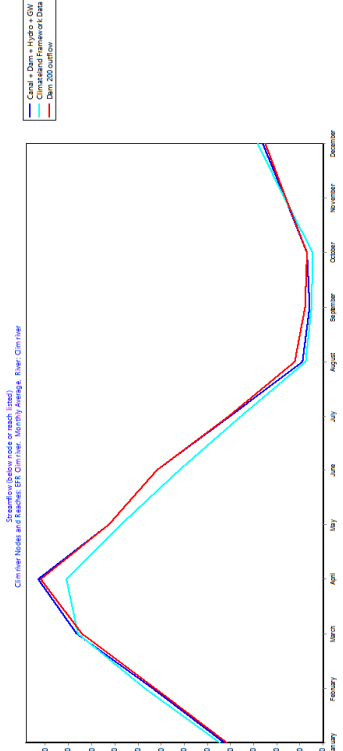
Stream flow effects

-100 yr monthly average Bach river



Changes in stream flow

-100 yr monthly average Clim river

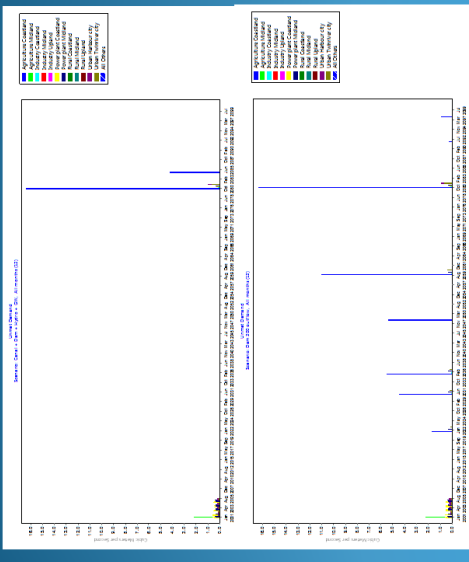


Hydropower/ use of reservoir

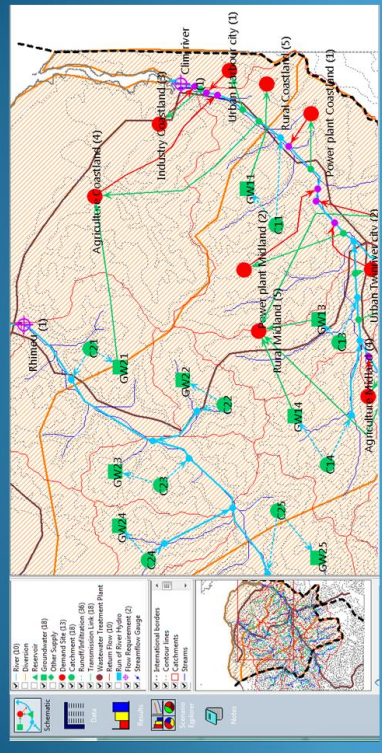
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Sum
Canal + Dam + Hydro + GW	38.90	60.57	88.07	100.34	86.85	81.27	48.90	12.67	8.48	12.31	16.56	25.28	578.21
Canal + Dam + Hydro + GW + Combined Forework Data													
Dam 200 outflow	37.35	62.24	88.98	106.45	94.56	87.72	55.28	25.95	15.42	12.68	16.30	21.49	624.43

Mw per year

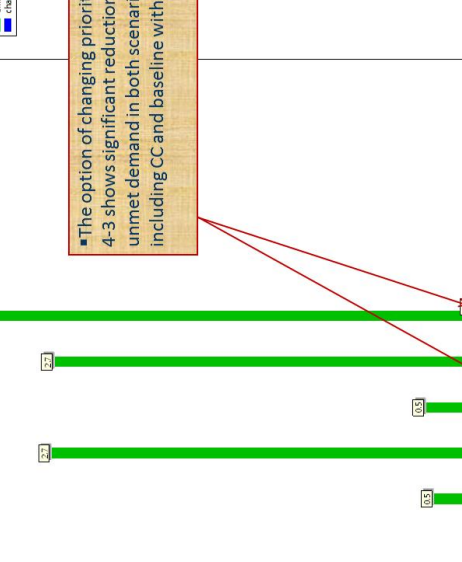
Unmet demand after implementation of reservoir



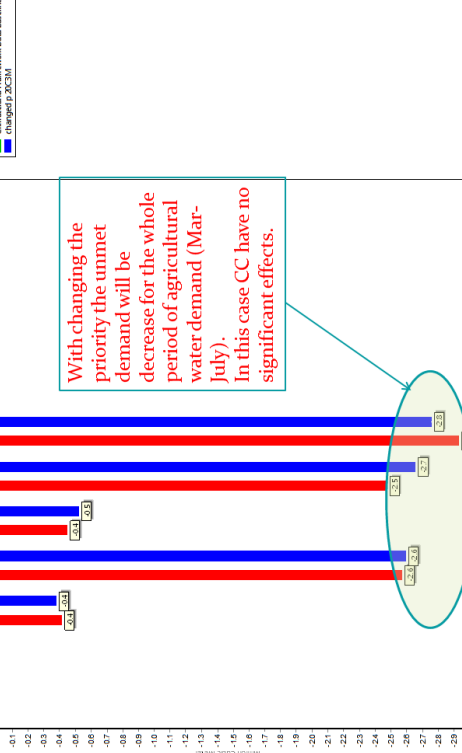
Agriculture Coastland still faces unmet demand

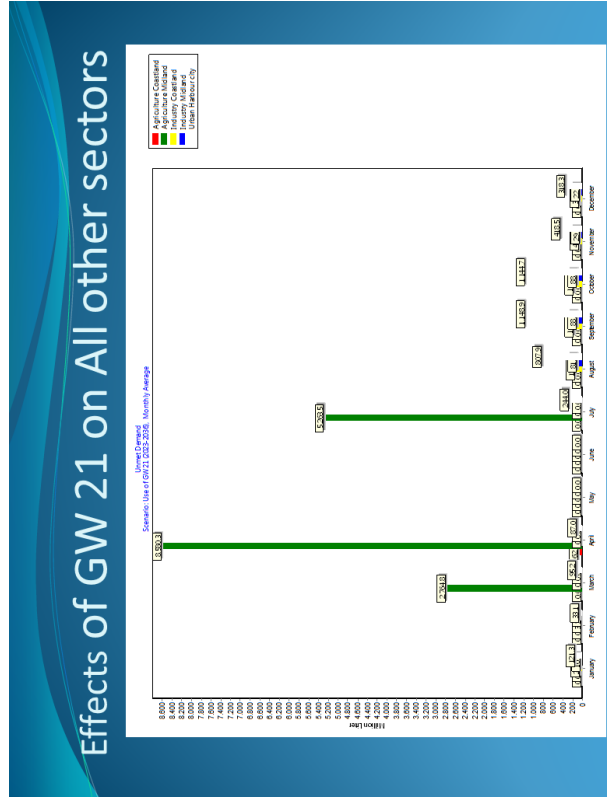
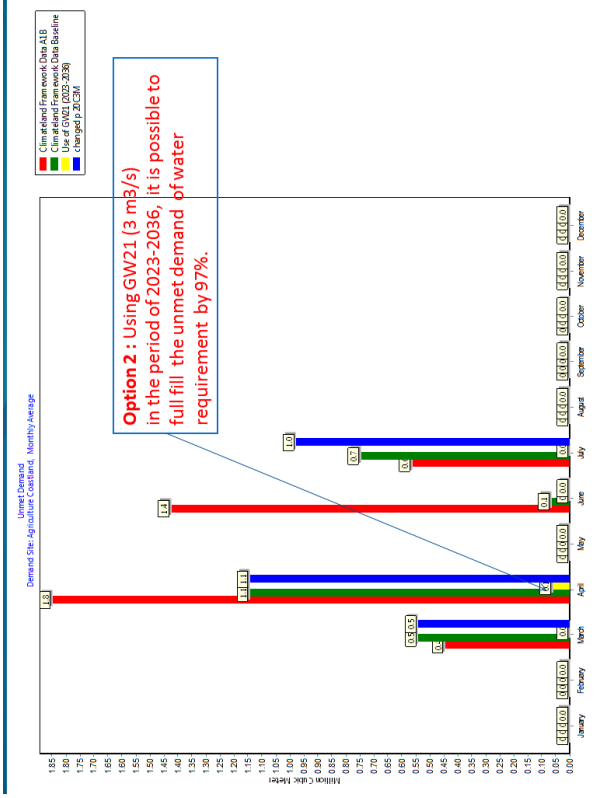
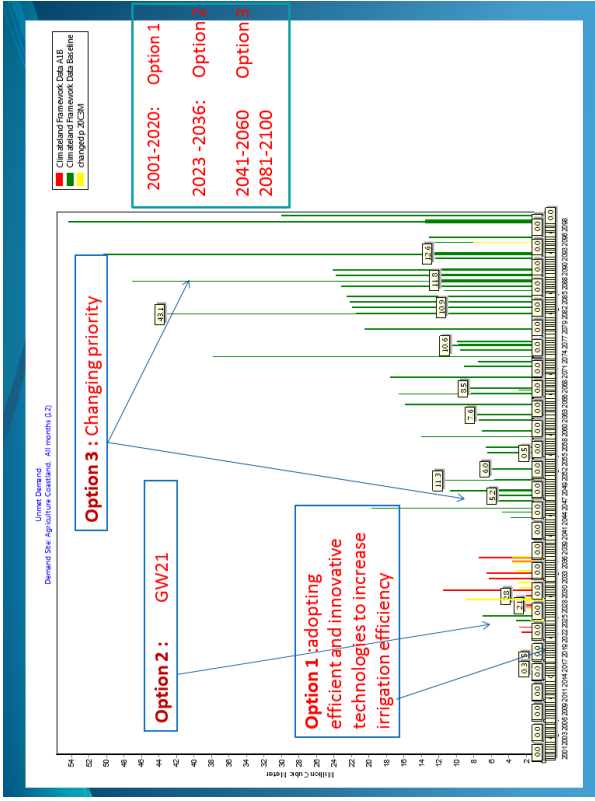


Unmet demand after implementation of reservoir



Unmet demand after implementation of reservoir





Results

- **Climate land:** building reservoir, in future some moments additional water from groundwater will be necessary
- **Urban/ rural:** water recycling, reduce residential water demand (water pricing, education)
- **Industry:** innovations for water process efficiency

Results

- Environment; preserve mangroves at Coastland (protecting from erosion)
- Energy; use of Green Energy to meet the growing energy demand; biomass (make use of the residue from current agriculture, but also look into solar- and wind energy!)
- Agriculture; use of groundwater during dry periods and increase irrigation efficiency

Conclusion

- DANKJEWEL!

