



經濟部水利署出國研習報告

聯合國教科文組織國際水利環境工程學院
氣候變遷下之水資源管理調適策略研習

UNESCO-IHE Short Course on Climate Change in Integrated Water Management

出國地點：荷蘭-台夫特 (Delft, The Netherlands)

出國日期：100 年 7 月 2 ~ 24 日

出國人員：

經濟部水利署北區水資源局	課 長	李珮芸
經濟部水利署南區水資源局	工程員	陳由聖

中華民國 100 年 10 月 19 日

摘要

本次參加荷蘭舉辦之氣候變遷下綜合性水管理調適策略研習課程，學習就不同時間尺度之歷史觀測數據證據下，感受全球氣候變遷及其造成之影響。在水資源空間及時間分佈上、環境上皆受到氣候變遷影響，造成各地不同的極端洪患與乾旱現象。實務上各種氣候變化現象充滿不確定性不易以定量分析，然可採用脆弱度指標方法來評估各地之脆弱度，並採取因地置宜之調適方法。

其次，本次課程有安排現地參訪課程，以實際案例來進行討論與經驗分享。本次參訪世界最大 Maeslantkering 防暴潮巨型移動擋水構造物及以防洪建設聞名的 Dordrecht 市。此外，本課程亦安排各國受訓人員按地區別分組簡報氣候變遷對自己國家水資源之衝擊，透過此交流過程俾利瞭解不同國家水資源所面臨之問題及解決對策。最後，以 WEAP 軟體進行受氣候變遷影響情境下，水資源長期趨勢供需變化及採取不同因應對策後之成效評估。

目 錄

摘要.....	I
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
第一章 課程內容.....	1
1-1 簡介.....	2
1-2 綜合性水資源管理之原則.....	3
1-3 氣候系統、氣候變遷與變化.....	6
1-4 氣候變遷與水文循環.....	9
1-5 不確定性與脆弱度.....	13
1-6 氣候變遷對環境之影響.....	20
1-7 乾旱之衝擊與調適方法.....	23
1-8 洪水之衝擊與調適.....	29
1-9 洪水脆弱度指標實作.....	37
1-10 模擬工具簡介.....	42
1-11 從制度面與利害關係者參與觀點探討氣候變遷調適策略.....	46
第二章 現地參訪.....	49
2-1 Maeslantkering 現地參訪.....	49
2-2 Dordrecht 市參訪.....	53
第三章 專題分組報告.....	58
3-1 各國水資源與氣候變遷議題分組報告.....	58
3-2 WEAP 模式模擬成果報告.....	70
第四章 心得與建議.....	75
4-1 心得.....	75
4-2 建議.....	76

參考文獻.....	77
附錄 1、氣候變遷對水資源影響分組簡報.....	78
附錄 2、氣候變遷對水資源影響分組報告.....	80
附錄 3、WEAP 情境模擬成果簡報.....	82
附錄 4、WEAP 情境模擬成果報告.....	85
附錄 5、結訓證書.....	91

表 目 錄

表 1	課程大綱.....	1
表 2	決策分析框架表.....	14
表 3	脆弱度值之物理意義.....	42
表 4	WEAP 軟體之優點.....	43

圖 目 錄

圖 1	參訓人員照片.....	3
圖 2	水資源管理範疇.....	6
圖 3	南極冰層中鑽探的冰芯內二氧化碳濃度資料.....	7
圖 4	全新紀以來氣溫變化程度.....	7
圖 5	聖嬰之南方震盪現象.....	8
圖 6	全球人口數量與時間關係.....	8
圖 7	全球溫室氣體與時間關係.....	9
圖 8	氣候改變影響因素.....	9
圖 9	世界年降雨變化趨勢.....	10
圖 10	北極海冰山面積最保守觀測與估算值.....	11
圖 11	系統不確定性與利害關係圖.....	14
圖 12	常用之三種決策分析框架.....	15
圖 13	人為氣候變遷驅動力、衝擊與反應概要框架圖.....	17
圖 14	脆弱度在氣候變遷調適之角色.....	19
圖 15	氣候與淡水間複雜的影響關係.....	20
圖 16	萊茵河之月平均流量.....	21
圖 17	生物對環境因子耐受範圍.....	22
圖 18	白頰山雀、毛蟲與橡樹之食物鏈關係.....	23
圖 19	工程調適方法.....	25
圖 20	資訊管理示意圖.....	27
圖 21	四種常見調適方法間的關係.....	28
圖 22	氣候變遷在濱海地區影響.....	29
圖 23	典型熱帶濱海生態系統.....	30
圖 24	溼地或瀉湖淡水水位與海水入侵關係：(a)淡水量穩定時；(b)淡水量減少時.....	31
圖 25	臨海地區氣候變遷影響之調適方法.....	32
圖 26	各種天災發生次數與時間關係.....	34
圖 27	日本政府淹水深度分級.....	34

圖 28	歐洲洪水事件發生次數分佈.....	35
圖 29	脆弱度與曝露度、敏感性與韌性關係.....	38
圖 30	沿海都市脆弱度計算結果.....	39
圖 31	脆弱度指標知識網站.....	41
圖 32	脆弱度指標計算成果.....	41
圖 33	水資源分配位置圖.....	44
圖 34	水資源資料輸入及建置模式.....	44
圖 35	範例模擬結果畫面.....	45
圖 36	範例模擬結果總覽.....	45
圖 37	São Tomé and Príncipe 小島位置圖.....	47
圖 38	Maeslantkering 擋水構造物位置.....	49
圖 39	Maeslantkering 擋水構造物未啟動前.....	50
圖 40	Maeslantkering 擋水構造物金屬桁架.....	51
圖 41	Maeslantkering 擋水構造物右岸.....	52
圖 42	Maeslantkering 擋水構造物關閉後.....	52
圖 43	1953 年遭受北海洪水侵襲.....	53
圖 44	Dordrecht 市、Rhine 河及 Muese 河位置圖.....	54
圖 45	Dordrecht 市之堤防位置及型式.....	54
圖 46	小巷擋水板固定插槽(上方為較低臨河川處).....	55
圖 47	房子背水面小型擋水板固定槽構造圖.....	56
圖 48	防洪板施作照片.....	56
圖 49	Dordrecht 市不同頻率之對應潮汐水位.....	57
圖 50	三層級洪水防護示意圖.....	57
圖 51	維多利亞湖位置.....	59
圖 52	查德湖位置及面積變化.....	60
圖 53	非洲漁民魚穫體型.....	61
圖 54	尼羅河流域位置.....	62
圖 55	熱帶冰河融化變化.....	63
圖 56	阿爾及利亞位置.....	64
圖 57	南亞地區國家位置.....	65

圖 58	臺灣代表進行水資源受氣候變遷影響簡報.....	70
圖 59	氣候共和國之水資源配置.....	71
圖 60	氣候共和國之農業水資源配置.....	72
圖 61	氣候共和國之降雨量.....	72
圖 62	氣候共和國之河川基流量.....	73
圖 63	結訓團體照片.....	74

第一章 課程內容

本次受訓上課期間為 7 月 4 日至 22 日，課程內容(表 1) 包含講師授課、課堂上分組討論、現地參觀、上機實習、專題報告繳交及上台報告等。

表 1 課程大綱

日期	主題	講師
7/4	課程簡介及自我介紹 Introduction 綜合性水資源管理之原則 Principles of IWRM	Dr Erik de Ruyter van Steveninck Dr. Ton Bresser Dr. van der Meulen
7/5	氣候系統、氣候變遷與變化性 The climate system, climate change and variability 氣候變遷與水文循環 CC and the hydrological cycle	Dr. Arie Kattenberg Dr. Stefan Uhlenbrook
7/6	不確定性與脆弱度 Uncertainty and vulnerability	Dr. Jeroen van der Sluijs Dr. Ton Bresser
7/7	氣候變遷對環境之影響 Environmental impacts of CC 乾旱之衝擊與調適方法 Impacts and adaptation measures: droughts	Dr. Erik de Ruyter van Steveninck
7/8	氣候變遷及整體水資源管理之經驗分享(分組簡報) Experiences with CC and IWRM (Presentations parts.) 現地參訪 Maeslantkering 市 Field trip to Maeslantkering	Dr. Erik de Ruyter van Steveninck Dr. van der Meulen
7/11	洪水衝擊與調適 Flood, impacts and adaption 洪水脆弱度指標 Flood Vulnerability Indices (FVI)	Dr. van der Meulen Dr. Stefania Balica Dr. Jos van Alphen/ICHARM

7/12	模擬工具簡介 Modeling tools	Venneker/Wenninger
7/13	Dordrecht 市之空間規劃及決策過程(參訪) Spatial planning and decision making processes (Field trip to Dordrecht)	Gersonius/Pathirana/ Dr. van der Meulen
7/14 7/15 7/19 7/20 7/21	跨部門多重標準之決策(實作課程) Multi-sector/multi-criteria decision making 簡報及繳交書面報告(實作課程) Report writing	Venneker/Wenninger
7/18	從制度面與利害關係者參與觀點 探討氣候變遷調適策略 Institutional aspects and stakeholder participation	Kemerink Dr. Erik de Ruyter van Steveninck
7/22	結訓並繳交評估報告 Finalizing and submission report evaluation	Venneker/Wenninger Dr. Erik de Ruyter van Steveninck

1-1 簡介

本次受訓學員共 19 位，其中 3 位來自美洲、7 位來自亞洲、其餘 9 位則來自非洲。學員年紀大約 20 多歲至 50 多歲，大都來自政府水資源或環境部門、非政府組織、工程顧問公司、學生、大學教授...等，各具有不同專業技術與實務經驗。本次台灣參加此課程人員計 2 位，分別來自水利署北區水資源局及南區水資源局(照片如圖 1 所示)。



圖 1 參訓人員照片

1-2 綜合性水資源管理之原則

本研習課程目標為瞭解綜合性水資源管理(IWRM)意義及其原則、採用 IWRM 方法主要原因及 IWRM 可用來協助氣候變遷調適之案例。

綜合性水資源管理須考慮不同用水者之間是相互有關且依賴的，最終目標係為了水資源能永續管理及發展。綜合性管理係指同時考量不同水資源之使用，其分配和管理決策須考慮個別使用對其它使用標的之影響，且考慮到全體社會及經濟目標，包含永續發展之達成等。至於採用 IWRM 方法之理由如下所述：

1. 水對於人類生存及健康佔有一席之地，且為人類發展之基本資源。世界淡水資源需求量有日益增加而面臨無法充份供應之壓力。
2. 水量管理支配危機方面，傳統上常採用不同部門方法來管理水資源，迄今此法仍佔多數，惟此作法會導致局部

化及不協調之資源開發及管理。

3. 在無效率之管理支配下，此有限資源爭奪將日益嚴重。
4. 世界上有五分之一的人口無法使用到安全的飲用水，且這些人口的半數無法獲得適當公共衛生環境。
5. 獲取水源以增加糧食產量：在未來 25 年，新增的另一波 20 至 30 億人口將需要更多的食物。
6. 保護重要的生態系：水域生態系統與水流、季節性及水位變動有關，且逐漸被惡化之水質所威脅。
7. 性別不平等：水管理一直是由男性主導，雖然女性人數仍持續成長，但女性在水部門機構之代表仍非常少數。
8. 誰做決定呢？目前在水供應、公共衛生技術、水源位置、運轉維護系統等，大部份仍由男性決定。

都柏林原則(Dublin Principles)已清楚勾勒出水部門改善之基礎，目前宜改善過度消費、污染及日益增加乾旱洪水之威脅。在地區性、全國性、國際間不同層級下，基於下列四大指導原則(Water management principles)來執行：

- 第 1 號原則：淡水為有限且脆弱資源，對於維持生命、經濟發展及生態環境皆很重要。因為水延續了生命，所以有效水資源管理需要方法，並考量社會經濟發展且顧及自然生態系統保護。有效管理也與整個流域或地下水含水層之土地及水使用有關。
- 第 2 號原則：水開發管理應該以相關參與者(如：不同程度之使用者、規劃者及政策制定者)意見為基礎，並讓參與者體認政策制定者與民眾間對於水之重要性。其目的在規劃及完成水方案之各決策階段，完全尊重民眾商議及相關使用者之意見，使民眾及使用者也擔任共同決策者

角色。

- 第3號原則：女性在供應、管理及保全水方面扮演重要的角色，然此重要的角色幾乎未在水源開發管理制度上被重視。為能使此一原則被接受及實現，需要積極改變去滿足女性的特定需求並使其更有能力及權力去參與各種水資源規劃過程。
- 第4號原則：水在競爭使用下具有經濟價值，就應該被認定為經濟商品(goods)。在此原則下，首先需去確認人類在可接受價錢下，使用乾淨水源及公共衛生之基本權利。過去在認定水源錯誤的經濟價值觀下，造成水浪費及對環境有害的使用。將水視為經濟商品之管理為達成有效公平使用及鼓勵節約並保護水資源的重要方法。

IWRM 是對傳統實務、態度及專業之挑戰，它與部門根深蒂固的利益衝突，且基於水資源整體利益下被管理。因此，IWRM 是一項哲學。換個角度而言，IWRM 隱含著改變，即會對於人們之權力及社會地位造成威脅，且會對於以前在感官上認為是專業的人們帶來威脅。故 IWRM 需要發展一個協商平台，允許不同之利害關係者間經常提出他們截然不同或不相容的觀點，並可在從某種角度一起參與。

一個完整(overall)計畫需包含：一個新的水政策、改革水法及制度，並做困難的決策。水立法轉變政策於法律應該：明定使用者和水供應者應得權利和責任；明定政府和其它利害關係者角色；水分配系統公式化；對於政府水管理機構及水使用團體授予法之位階；保證水資源永續使用。

IWRM 重要的水資源管理功能有助於氣候變遷之調

適，較佳的水管理使其易於反映可獲水質水量改善(圖 2)。集水區規劃有助於風險確認及減緩。利害關係者參與有益於行動及風險評估之推動。



圖 2 水資源管理範疇

1-3 氣候系統、氣候變遷與變化

為獲得古代歷史上之大氣資訊，採用冰芯紀錄為一可靠之科學方法。冰芯紀錄有重現特性且相當可靠、可提供不同解析度及不同時間尺度的紀錄。從南極冰層中鑽探的冰芯可分析出記錄著最近 40 萬年來的大氣溫度與二氧化碳含量，其分析結果顯示 40 萬年來二氧化碳濃度與大氣溫度相關(圖 3)。然現今二氧化碳濃度(約 370ppm)急劇增加，遠超過以往濃度上限(約 300ppm)。近一萬年全新紀(Holocene)以來，氣溫亦不規則變化著(圖 4)。

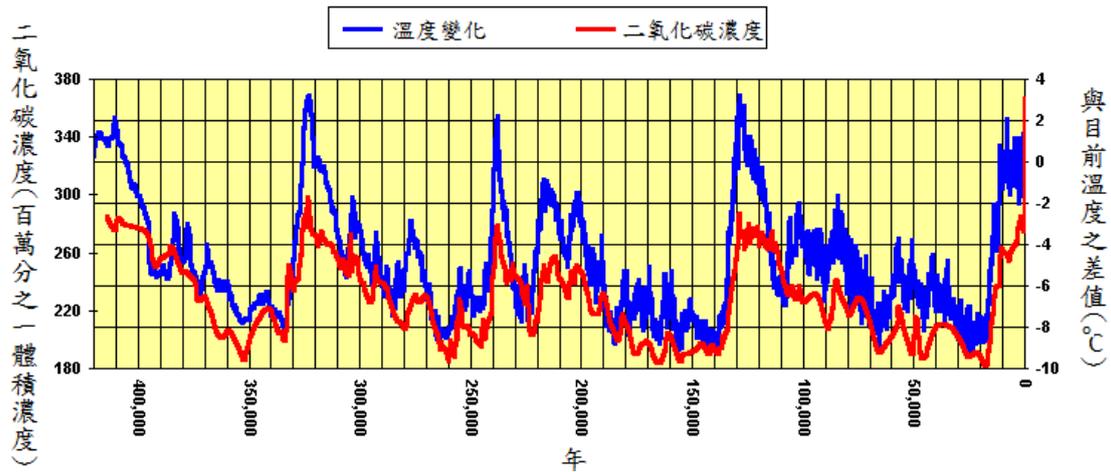


圖 3 南極冰層中鑽探的冰芯內二氧化碳濃度資料

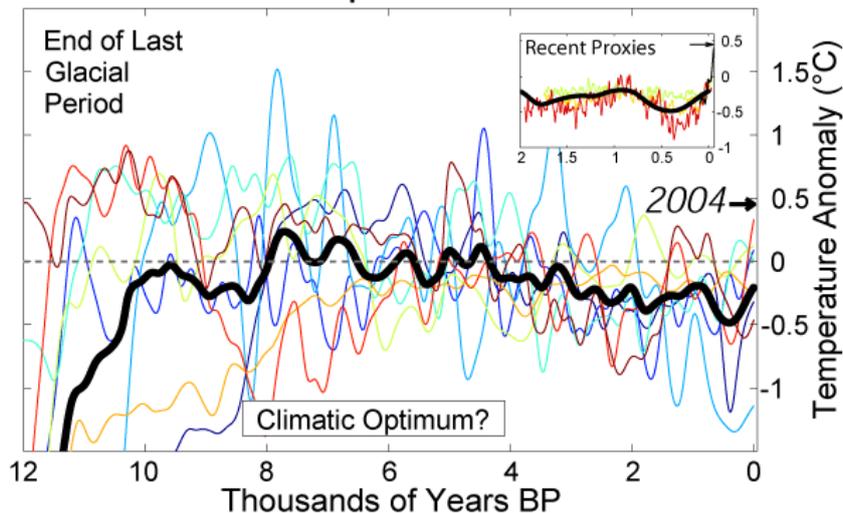


圖 4 全新紀以來氣溫變化程度

海洋與大氣間會交互影響，如：聖嬰現象(El Niño) 在 1982~1983 年間，使南美洲當地氣候及海洋生態發生改變，對全球的天候狀況亦造成極明顯的影響。另學者提出聖嬰之南方震盪現象(El Niño Southern Oscillation, 縮寫為 ENSO)，有時用來指南太平洋東西兩側氣壓如翹翹板高低平衡的關係。當太平洋東側氣壓相對於西側高時，風會在赤道上方由東側(厄瓜多爾)吹往西側(印尼附近)(圖 5)。

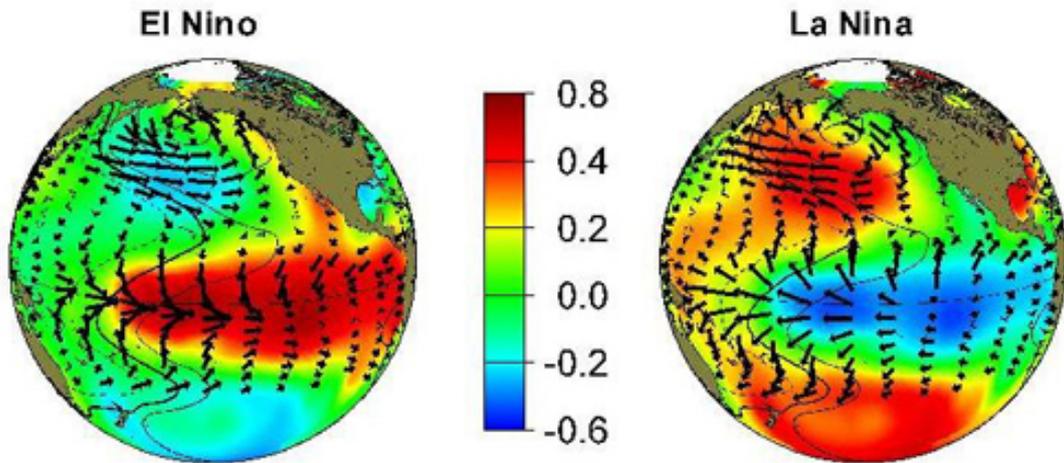


圖 5 聖嬰之南方震盪現象

近百年來溫室氣體濃度隨全球人口同步增加(圖 6 及圖 7)。溫室氣體包括 11 種氣體，最常見的包括二氧化碳(Carbon Dioxide)、甲烷(Methane)與氧化亞氮(Nitrous Oxide)。其中二氧化碳的主要來源係生物呼吸作用、化石燃料的使用以及林木燃燒所產生；甲烷係主要畜牧業及農業水田排出產生；氧化亞氮則來自石化燃料使用、工業活動及農業活動施肥所產生。對於過去氣候可以利用模式去進行模擬並與實測值去比較，由圖 8 顯示，可以看出溫室氣體之增加會造成溫度增高。

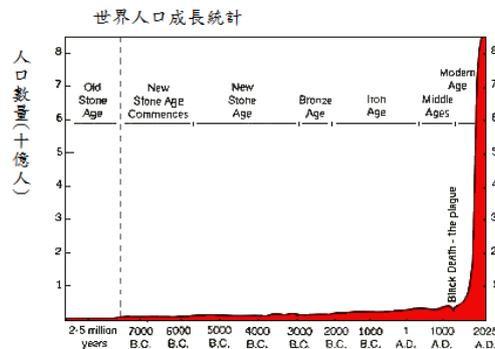


圖 6 全球人口數量與時間關係

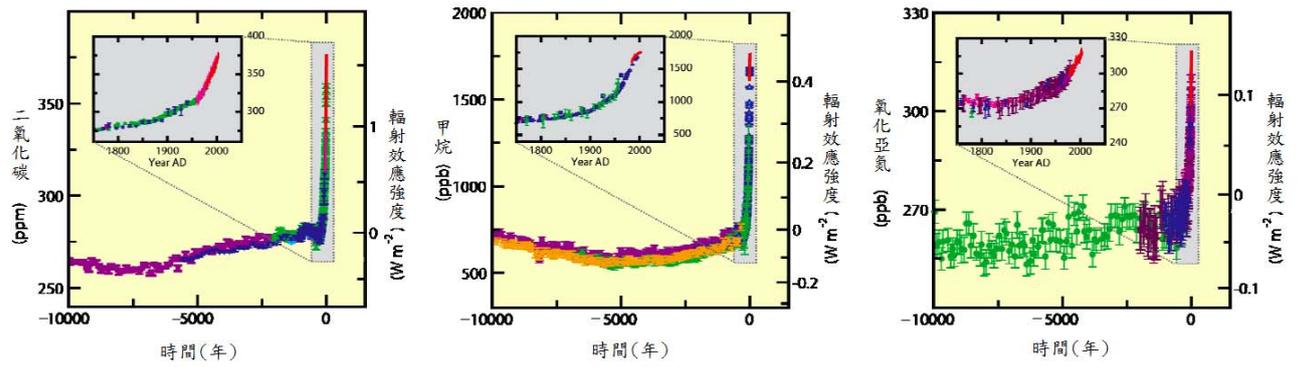


圖 7 全球溫室氣體與時間關係

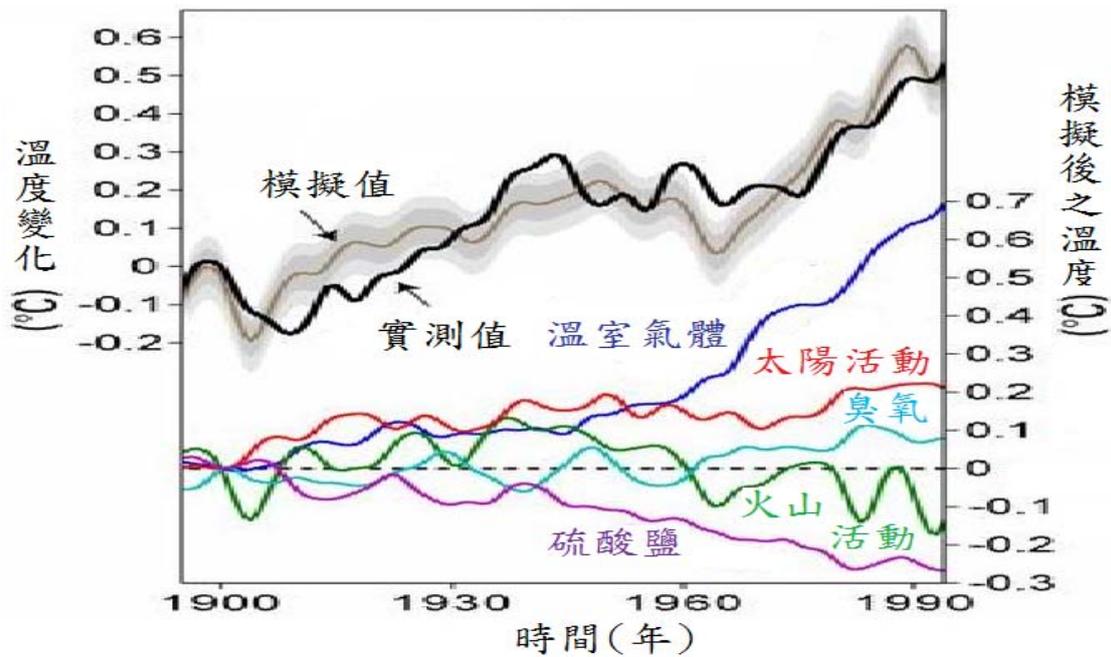


圖 8 氣候改變影響因素

1-4 氣候變遷與水文循環

在陸地降雨量方面，根據 IPCC2007 報告書顯示，1991 年至 2005 年期間在北緯 30 度北方附近降雨量增加；在 1970 年後，在北緯 30 度與南緯 10 度間之陸地降雨量減少(圖 9)。由於較高之溫度會導致飽和蒸汽壓(saturation vapor pressure)增加，空氣中含水能力增加帶來降雨強度增強。未來降雨趨

勢方面，溫暖的大氣將不會帶來中等雨量及不會降低降雨頻率，反而會帶來更大之雨量。在北半球中緯度和高緯度地區秋冬季節雨量會增加，但在這些地區之降雪量反而減少。在南北半球之乾旱和半乾旱熱帶和亞熱帶地區雨量會減少，但在潮溼的熱帶地區雨量反而會增加。此外，在美國和英國的極端降雨頻率將會增加。在 2001 年 IPCC 報告中較強調會有更嚴重的聖嬰和反聖嬰(La Niño)現象事件發生，然而在 2007 年 IPCC 報告中對此則持保留態度。

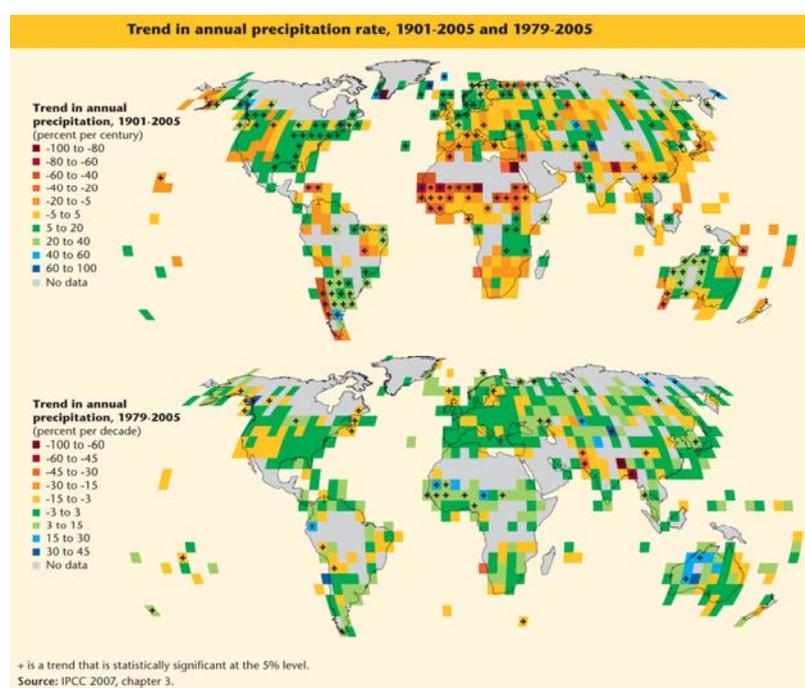


圖 9 世界年降雨變化趨勢

河川流量方面，長期紀錄中顯示人類活動(如：土地使用、水管理等)嚴重影響到河川流量。流域對於氣候變遷脆弱度與地形特徵及儲蓄特性變化(如：雪與冰、地下水、湖泊、水庫、植被等)有關。由於全球土地使用、水管理等因素變化之不確定性，長期模擬趨勢很難完全歸咎於全球暖化所造成。根據 2007 年 IPCC 報告顯示，在歐亞大陸和北極之某些

河川流域流量有明顯增加或減少，在北美和歐亞大陸尖峰流量在早春發生且冬天河川基流量減少。在洪水或乾旱方面仍無明顯證據表示其與氣候之關聯性，但洪水造成之損失是持續嚴重的。且從 1970 年開始，某些較乾燥地區之乾旱情形較以往更為嚴重。

冰河和冰冠(ice caps)為地球上最大淡水儲存地點，也是很好的氣候指標之一。它提供了部份河川流量的重要來源，然從近幾十年來範圍逐漸退縮。由觀察資料顯示，北極海冰山面積在最近幾年來觀測到減少面積量遠超過聯合國跨國氣候變遷小組所模擬 A1B 情境之結果(圖 10)。冰河體積在近幾十年來正快速減少，尤其在熱帶地區冰河減少速度加劇。

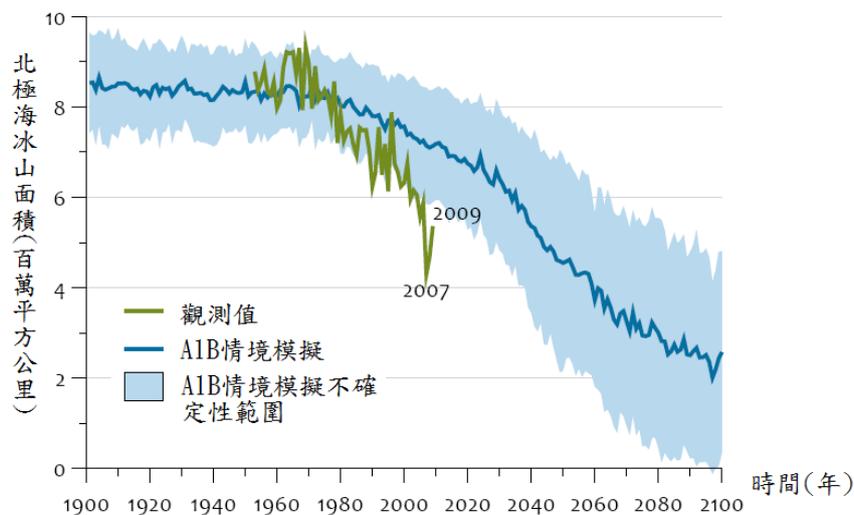


圖 10 北極海冰山面積最保守觀測與估算值

氣候變遷刻正影響水文循環，極端事件發生之可能性也在改變。在改變間受著複雜的交互作用或回饋(feedback)作用所影響，不容易去釐清單一因子之影響程度。在未來 40 年，估計大約 30~70 億人會面臨低水資源供應之困境，而且愈來愈多的人會活在易淹水或乾旱地區。在水供應與衛生環境方

面，日益增加基礎建設與服務供水之壓力，因此更加依賴地下水來滿足需求量。且在日益感到有壓力的生態系統將變得更脆弱，例如：沿海生態系統、半乾旱農業、小島、山區等。大部份的氣候變遷負面效應將著重在開發中國家，連帶影響遷徙程度之增加，曝露於此負面效應下大部份為窮人、老年人、孩童等弱勢者。

2010年12月10日在墨西哥召開之「聯合國氣候變化綱要公約第16次締約國會議(COP16)」(The 16th Conference of Parties of the UN Framework of Climate Change Convention)仍未解決在第一階段京都議定書(Kyoto Protocol)2012年有效期屆滿後如何約束全球碳排放問題，一切仍待明年之南非高峰會討論獲取共識。由本次會議可以發現，對於氣候變遷議題反映出唯一不變就是會改變，亦即改變在今後是會很常見的現象。本次會議著重討論韌性因應、生態系統服務、可能發生事件之管理、需要更為強韌的因應制度、知識分享等等。此外，也討論氣候變遷調適財務問題，包括：成累次增加之巨額成本、潔淨開發機制、碳市場等等。

全球化氣候變遷刻正持續發生，水文循環似正在很多地方加速變化，但由於各地水文變數不同，故並非在世界各地均會有相同影響。因此區域性水平衡之差異變得更為明顯。可獲得使用之全球化水資源正日益減少，約58%的全球人口在2025年將全面臨水供應不足之情況，目前可做的應及時去面對、處理與因應氣候變遷之衝擊，而非只是等待負面效應的發生。

1-5 不確定性與脆弱度

在決策分析時，最常遭遇到實務上問題之不確定性。對於不確定性，不是忽略去促進政治上決策(加強共識)，就是過份強調去避免政治行動(political action)。此兩個促進決定的對策並不適合去處理所面對問題之不確定性及複雜度。因此，在永續科學上需要一個用來處理不確定性、科學上異議與多重性之理論。

在 1993 年，Funtowicz & Ravetz 對於複雜度、不確定性及風險歸納出其以下典型的特徵：

- 決策在有結論性科學證據可得到前就必須完成；
- 錯誤決策的潛在衝擊可能很嚴重；
- 價值仍有爭議；
- 知識庫(knowledge base)係由大量不確定性、多重因果關係、知識缺口(gap)及不完整的理解所組成；
- 做過很多的研究不等於可減少不確定性，係因仍存在許多未預見的複雜度；因此，知識品質評估非常重要。

後常態科學(post-normal science)是由 Funtowicz 與 Ravetz 在 1993 年發展的一個概念(圖 11)，試圖藉由提出探索方法論來解決某些案例，諸如：事實存在不確定性、價值有爭議、高度利害關係及急需做決策等。它主要應用在缺乏資訊且利害關係者關注的長期議題上。近年來全球暖化議題之相關研究發表豐碩，也引起兩派人士不少熱門討論與爭辯，一派主張暖化由人為造成而另一派認為暖化為自然發生，兩派論點之爭辯非僅止於單純的科學辯論，也包含兩派對環境、社會經濟或政治問題的不同價值觀，此現象在高度不確定性又具高風險利益的後常態性科學中常遇見。

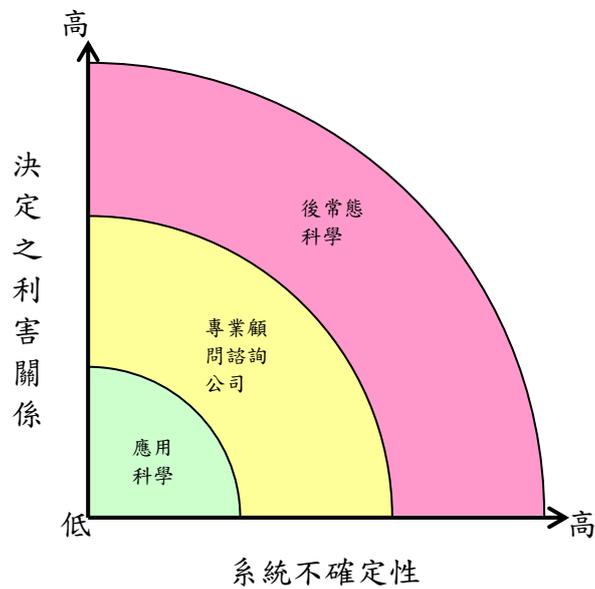


圖 11 系統不確定性與利害關係圖

目前常用之三種決策分析框架(表 2 及圖 12)包含：由上而下法(Top down approaches)、由下而上法(Bottom up approaches)及混合法(Mixed approaches)。

表 2 決策分析框架表

由上而下法	-避免之原則(Prevention Principle) -IPCC 方法(IPCC approach) -風險方法(Risk approaches)
由下而上法	-預知原則(Precautionary Principle) -工程安全邊際(Engineering safety margin) -預期設計(Anticipating design) -韌性因應(Resilience) -調適管理(Adaptive management) -人類發展方法(Human development approaches)
混合法	-調適政策框架(Adaptation Policy Framework) -健全的決策(Robust decision making)

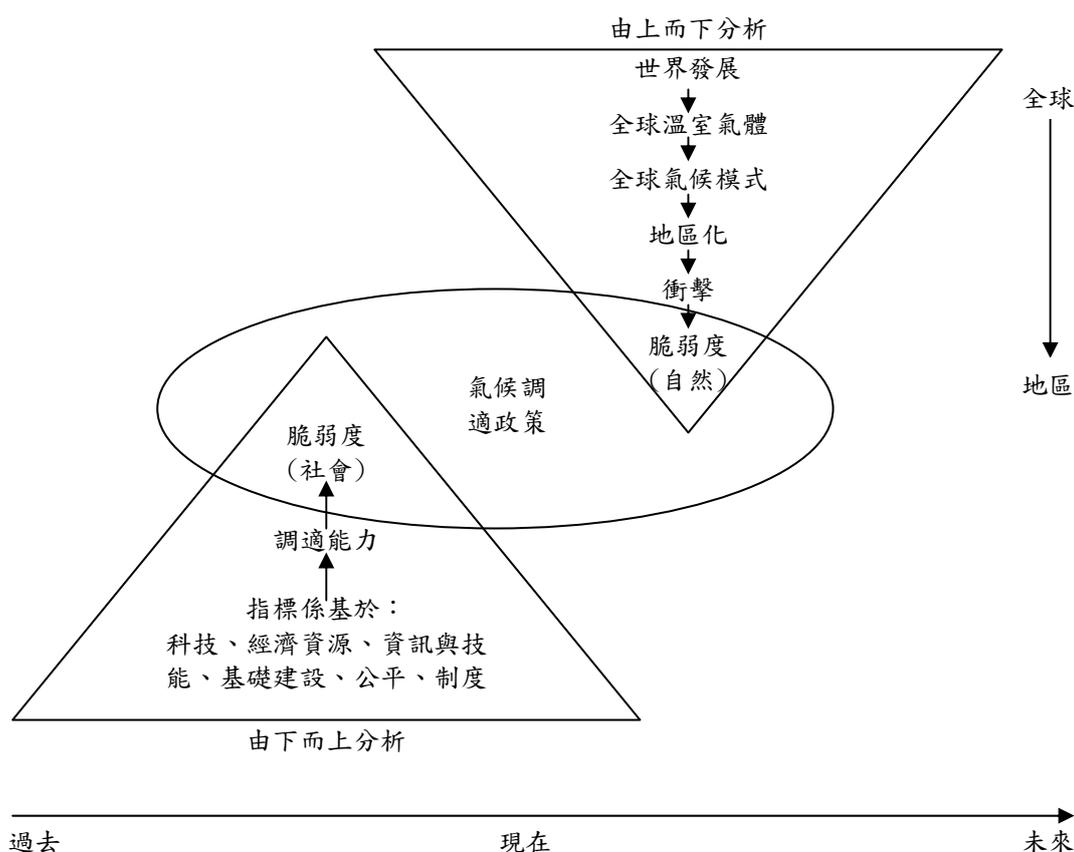


圖 12 常用之三種決策分析框架

投入更多之經費不見得可以減少不確定性，在高度不確定性下決不要太信賴定量之結果。評估統計上不確定性(預測然後行動)、情境模擬不確性、忽略假設不確定性等的相對重要性。我們唯一可以確定的是氣候變遷將帶來不可預期的結果。在高度不確定性下，我們需要更靈活的調適策略，而不是依賴尖端的電腦運算。

調適(adaptation)之定義：對於氣候之調適係指人類減少氣候對他們健康與福利的負面效應，並善用氣候環境所提供的機會(Burton 1992)。調整(adjustment)：在大自然或人類系統中，對於真實或預期的氣候刺激因子或影響，進行調整以減少傷害(IPCC, 2001)。

受到環境壓力之脆弱度定義與何時去評估有相關，如在任何回顧之最後、在焦點、在剛開始時等，皆會有不同之脆弱度值。根據 IPCC (SAR, 1996) 對於脆弱度定義為在氣候改變時可能會損壞或傷害此系統之程度，其不但與系統敏感度有關，且與對新氣候條件之調適能力有關。敏感度為系統對於氣候條件變化之反應程度。至於脆弱度概念發展之定義 (IPCC, 2001)：

- 對於氣候改變之負面效應(氣候變化與極端事件)，系統敏感或無法處理之程度。
- 脆弱度為一函數，其影響參數包括：系統所在環境之氣候變化特性、大小與速率、敏感程度與調適能力。
- 包含社會與生物物理學之脆弱程度(IPCC 2007)。

氣候變遷受到人為驅動力、衝擊與反應之概要關係與交互關係，架構表示如圖 13 所示。在 2001 年第三次評估報告 (TAR) 中，獲得的相關資料主要僅能用以描述圖中順時針方向之關係，亦即由社會經濟資訊及氣候過程驅動力(氣體釋放量)來獲得其對氣候變遷及衝擊。隨著對這些連鎖關係瞭解程度增加，現在也可能去評估反時針方向之連鎖關係，即評估可能發展途徑及在全球氣體釋出約束量下減少未來衝擊之風險。

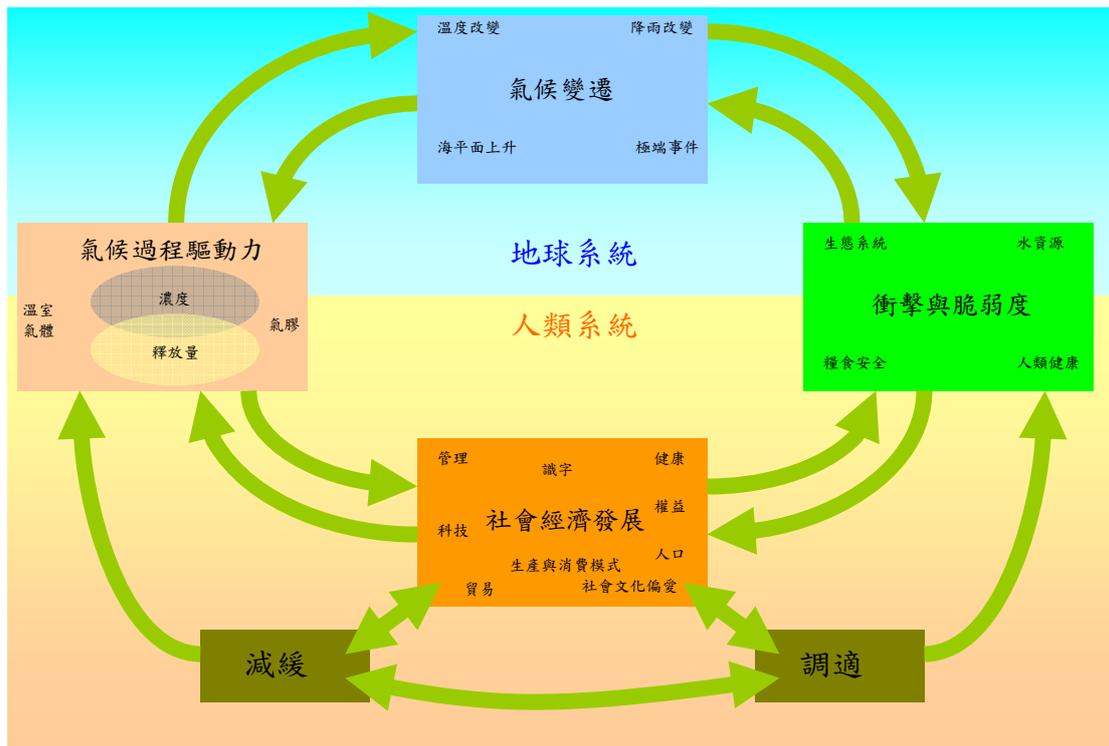


圖 13 人為氣候變遷驅動力、衝擊與反應概要框架圖

如何制定氣候變遷調適架構呢？常用之四種方法如下 (Funfgeld and McEnvoy, 2011)：

1. 危險度分析法(hazard approach)

受危害一詞與災害風險管理很相關，在氣候變遷政策討論上，天然災害一直被很重視。受氣候的危害程度被多數人所接受，同時並考慮社會經濟與環境趨勢的影響。舉例來說，人口增加擴展至河川洪水平原或沿海地區可能被海平面上升或暴風雨湧浪之影響。

2. 風險管理法(risk management approach)

在地方政府和私部門常用來解決不確定性之方法為風險管理，風險一詞的中心概念為不確定性與洞察力。風險

被定義為危害度、曝露度及脆弱度之函數，且與危害度和風險管理有一密切關係。

3.脆弱度法(vulnerability approach)

脆弱度著重於誰和何種事物以某種方式被影響。脆弱度即暴露在災難中受害的可能性，而造成脆弱度的主因可分為外在環境脆弱度、社會脆弱度及人群脆弱度。

4.韌性因應法(resilience approach)

韌性恢復力一詞原來自生物學領域，係指生態系統遭受外力干擾破壞後，系統回復至原狀況之能力。如今此一名詞廣泛應用在人類社會上，可定義為在遭受社會、政治或環境改變下帶來之外力或干擾後，群體或社區之因應處理能力。此法為由下而上之分析方法，常使用於能力發展(capacity development)與社區為基礎(community-based)之調適方法。

脆弱度評估之步驟(圖 14)如下：

1. 建立評估內容(定義、架構與目標)：闡明此概念架構及脆弱度定義。
2. 確認脆弱度群體、曝露度與評估之邊界條件：定義系統範疇，包括對於何事件而言誰是脆弱的、在哪些方面是脆弱的及在何處是脆弱的。系統的特性被定義為部門間、利害關係者、制度、地區、尺度、時間等等。

3. 評估被選擇之系統與脆弱群體的敏感度與目前脆弱度：瞭解氣候因子(氣象、水文)轉變成風險與災害之過程，掌握反應與介入之關鍵點。
4. 評估未來脆弱度：瞭解目前脆弱度成因有助於未來脆弱度評估，包括在自發性或被規劃的調適策略，或許會影響未來氣候之風險等。
5. 連結脆弱度評估結果與調適策略：連結第 2 至 4 步驟之結果與利害關係者之決策、大眾的認知與進一步的評估等。

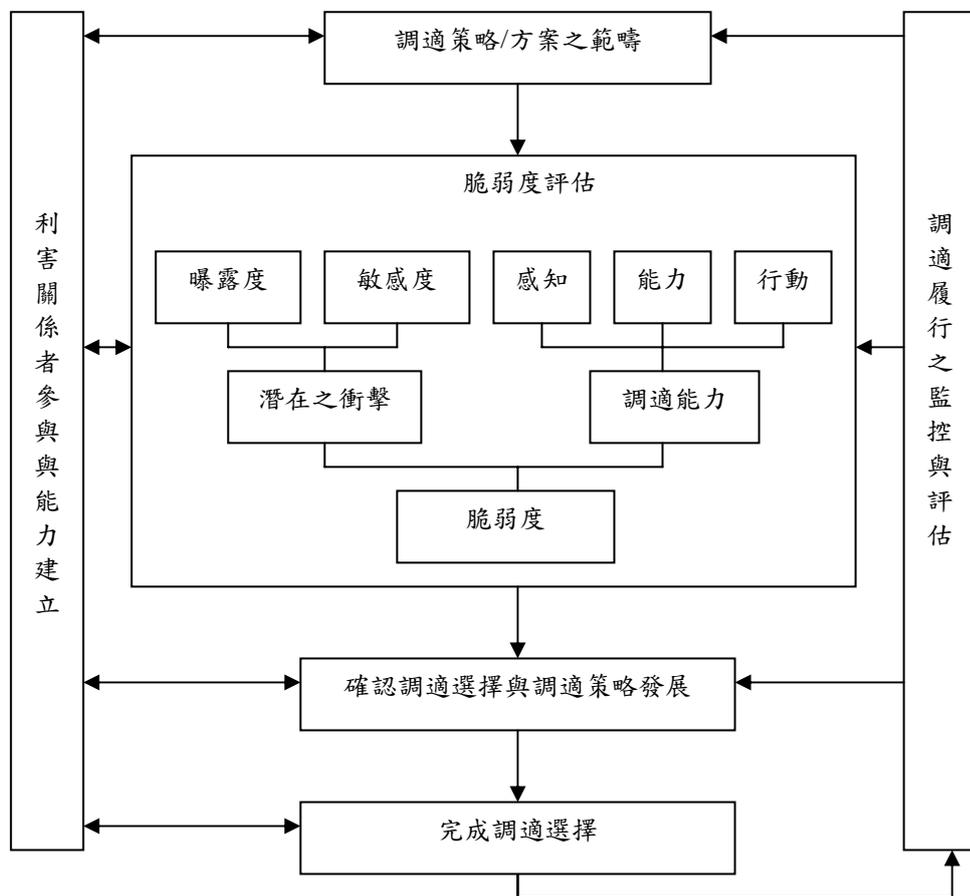


圖 14 脆弱度在氣候變遷調適之角色

1-6 氣候變遷對環境之影響

氣候與淡水以複雜的交互作用方式彼此影響，如圖 15 所示，根據 IPCC2007 年報告指出，水質與氣候相關趨勢並無證據顯示有明顯相關。通常氣候變遷對水質之衝擊可初步分析如下：

- 更多密集降雨-引起水中懸浮固體或濁度增加、帶來更多污染物質(肥料、殺蟲劑、都市廢水)及水相關疾病。
- 減少或增加河川水量-減少或增加污染物稀釋、引起河口鹽度變化。
- 降低湖泊水位-揚起底床沉澱物後造成濁度增加或釋出負面物質。
- 提升水表面溫度-藻類生長茂盛、有毒藻類增加、藻類消耗大量水中溶氧量。

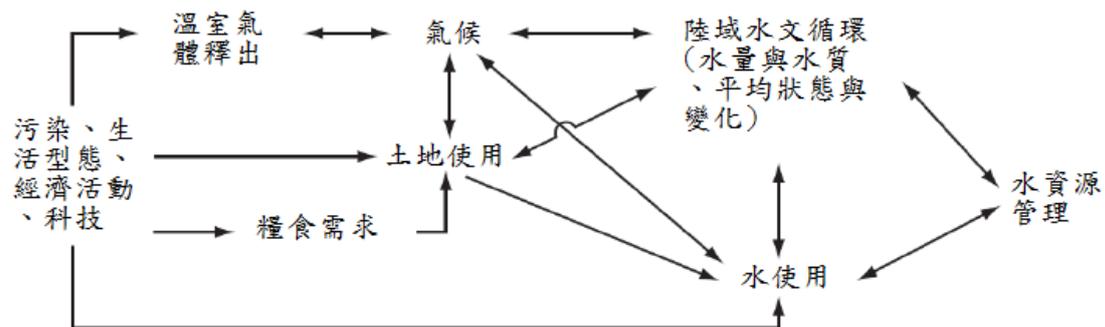


圖 15 氣候與淡水間複雜的影響關係

萊茵河之月平均流量表示如圖 16 所示，由圖中可以發現在 12 月至 4 月間隨溫度增加河川流量明顯增加，尤其在溫度增加 4°C 時流量增量最為明顯。夏季高溫低流量之乾旱時期，水質主要受水文極端事件所影響更為明顯。

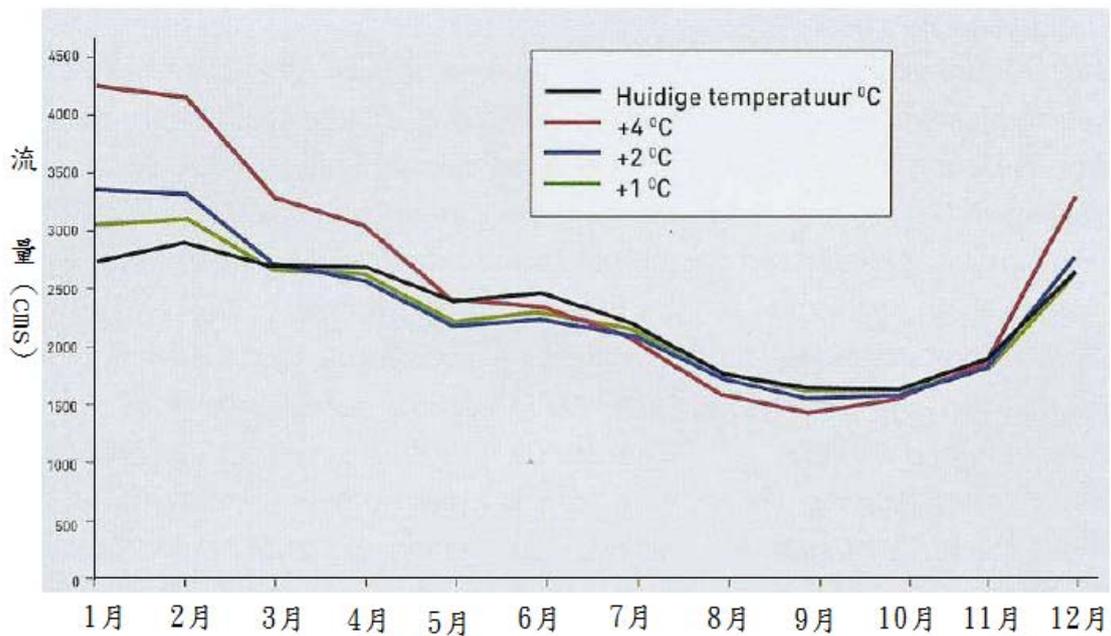


圖 16 萊茵河之月平均流量

一般而言，生物耐受程度範圍愈廣泛，其對於某一特定狀態適應能力則愈低(圖 17)。然對於極端環境耐受度適應力高之生物，不見得可在一般生物適合生存的環境下生存。生物也可能對某一生態因子的耐受範圍很廣，同時又對於某一個因子呈現不耐受。當某種生物對某一特定生態因子不是處在最適度狀態時，對其它生態因子的耐受限度可能隨之下降。在自然界中，常可看到生物實際上並不在某一特定生態因子最適合範圍內生存。生物對環境因子的耐受性限度在其生活史中往往不是恆定的，而是隨不同年齡階段以及其它條件而改變。

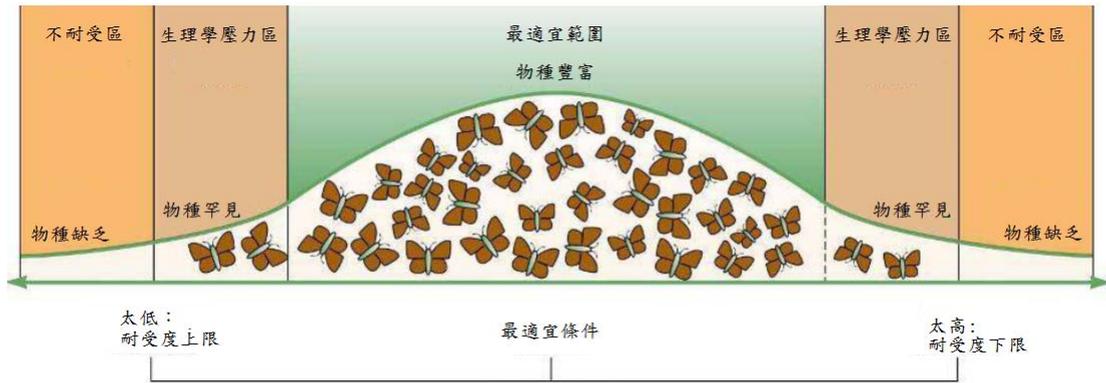


圖 17 生物對環境因子耐受範圍

以白頰山雀、蝴蝶及橡樹間之食物鏈為例(圖 18)，探討溫度上升對其彼此間之交互影響。白頰山雀在每年 4 月會進行築巢產卵，1990 年至 2000 年產卵時間幾乎與 1970 年至 1980 年間無異。但近年來該地區春季溫度卻已經上升，尤其 4 月及 5 月間的溫度已經上升了 2°C 。雖然白頰山雀的繁殖節奏並無明顯隨暖化而改變，但其成鳥主要用來餵養幼鳥的毛蟲型態特性卻已受影響。1990 年至 2000 年毛蟲生物量的最多時期比 1970 年至 1980 年提早約兩週。1970 年至 1980 年時，毛蟲數量最多時期恰為白頰山雀幼鳥孵化最需大量食物時間。如今毛蟲生物量減少且提早達到最多時期，無法完全供應給全部山雀幼鳥做為主要食物來源。

再往食物鏈的下一層看毛蟲與橡樹關係，毛蟲需要橡樹橡樹嫩葉作為食物來源。然而，由於暖化造成橡樹提早發芽，毛蟲為求生存必須配合橡樹發芽期提早孵化才得以覓食。若太晚孵出，則因橡樹葉子產生單寧酸而無法食用，亦同樣無法獲得食物來源。

山雀的交配產卵孵化期是固定的，但橡樹卻明顯受溫度所影響，毛蟲的數量亦受限於其食物來源(橡樹)。毛蟲與橡

樹時序上的差異，尚不足以嚴謹證明影響白頰山雀的數量，係因其有可能是因為其它各種因素(如其它食物來源短缺)造成短暫數量變化，遠大於暖化的影響。但暖化對生態系統的威脅實在不容忽視。

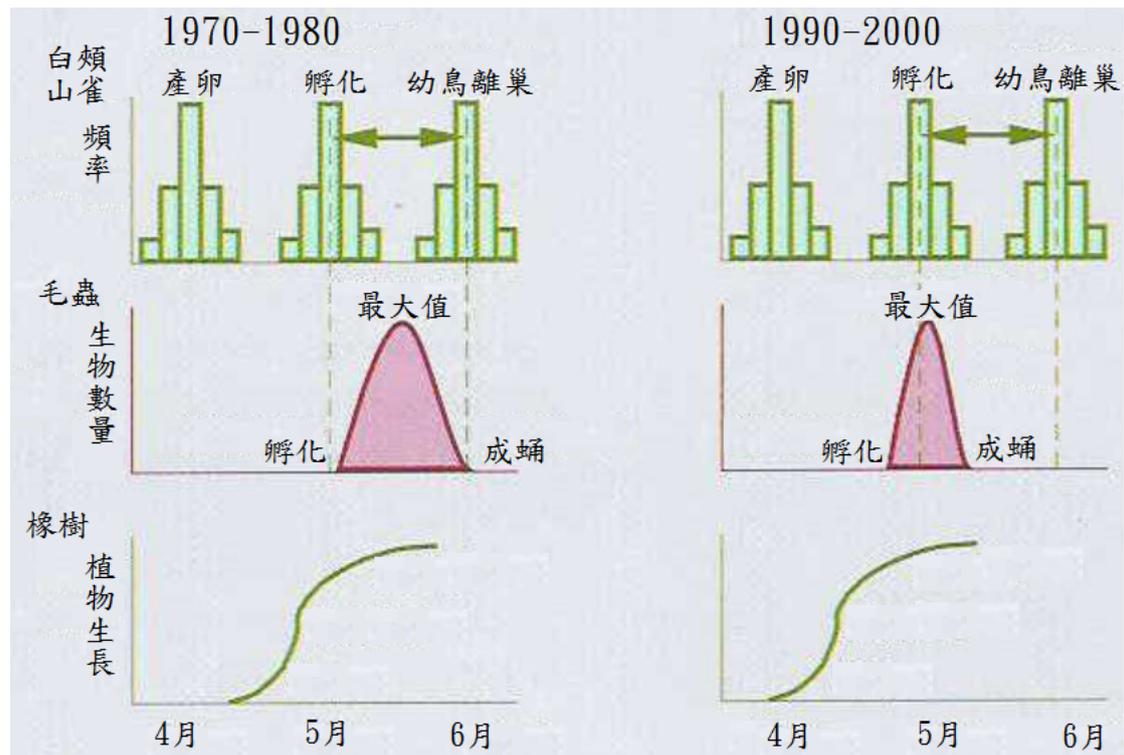


圖 18 白頰山雀、毛蟲與橡樹之食物鏈關係

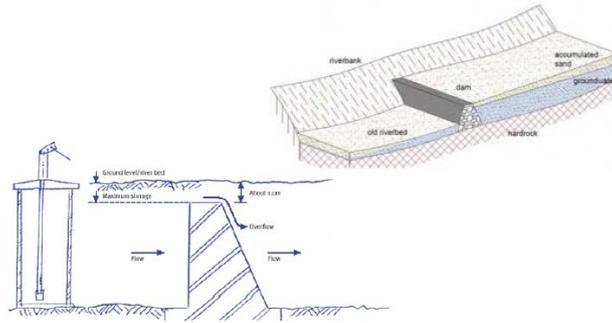
1-7 乾旱之衝擊與調適方法

全球溫度及降雨量之大小、時間及空間分布等充滿了變數，尤其又要綜合考量氣候變遷時不確定性更加高。氣候之不確定性、變異及風險都是造成水資源管理在預測局部地區性氣候變遷時之不一致及不精確。傳統規劃方法上以天氣和水系統的穩態假設已不再可信，且過去的經驗不再是未來可

信賴參考。氣候變遷為全球性現象，惟此之現象衍生之問題將是非常局部化，因此必須因地制宜去找出調適及規劃方式，我們必須去做更多之準備，而不是只是看著問題發生。

IPCC 報告針對調適(adaption)一詞給予定義，係指對於真實或預期氣候在生態、社會、經濟系統方面之影響或衝擊進行調整修正以適應。其與減緩(mitigation)一詞不同，減緩係指人為介入去減少溫室氣體。有很多方法可達到調適之功能，諸如：搬離原地點、升高地面以保護重要財產、避開危險並預為準備、改變使用量或替代方案、分散風險、加強研究以發展新策略或新科技、改變使用行為或法規來減少風險等等。調適方法可大略分為四大面向：

- (1) 工程科技方法(高科技)：包含：基礎建設之更新改善或運用科技來使其更彈性來因應氣候變遷；採用堅固構造物去避免、阻擋或轉移氣候變遷造成之風險；創新的科學或技術去增加調適能力。對其優勢則在於：可以提供永久之保護及有助於促進創新工法之研究。而其劣勢為：高度環境或社會衝擊、相較於其它方案貴、需耗時設計、財務及採購、在缺乏健全管理制度下不易維持。例如：新建水庫、新建砂壩、雨水儲留、水再利用或水循環回收處理再利用...等(圖 19)。



Re-use / recycling

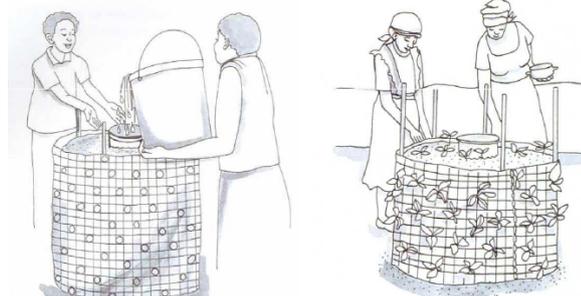


圖 19 工程調適方法

- (2) 環境方法(大自然): 環境與大自然息息相關，包含：保護未開發自然生態系統去減緩氣候變遷衝擊；使用綠工程和科技去增加韌性因應(resilience)。優勢在於確保基本生態系統商品及服務之永續發展；屬低或不需成本之方法，且具高本益比。劣勢為一般人均視堅固的土木工程結構較佳，使得此法難以推廣；未開發生態系統對氣候變遷韌性因應之價值總是難以被人接受或具經濟價值。大自然資產對氣候調適很重要。生態系統提供天然之保護以對抗極端氣候，保護及保育未受開發之生態系統為最低成本之氣候調適方法，以傳統工程技術配合現地特性之策略，並回復受破壞之自然緩衝區等，以獲取最大之調適優勢。因此，在生態管理方面，可分為：保護未受破壞之生態系統以維持其

功能，如：溼地和洪水平原保護、濱海地區管理(包括沙丘、海岸侵蝕)及環境基流量維持；及綠基礎建設或工程，如：洪水控制、水儲留、暴雨入滲及水純化系統。

- (3) 社會或制度方法(人):針對制度或社會層面與人有關則包括：政策上、法制上及管理機制；資料及資訊管理有助於決策；民眾參與的管理方法；行為改變方法；社會網絡及家庭的支持。其優點在於確保利害關係者與政府間對於提出解決方案之擁有權，建立在既有文化、社會、與家庭網絡或資產之基礎上。而缺點則為能力有限(尤其是在開發中國家)；政治改革、制度強化及行為改變費時且難以達到短期之成效。例如：資訊管理(下左圖顯示全球模擬 2050 年平均年逕流量與 1961-1990 年之差異，下圖右顯示由小尺度氣象預報至大尺度之氣候預測之時空關係)、政策(如：國際性之聯合國氣候變化綱要公約、地區性之行動調適計畫、全國性之空間規劃與都市整體規劃等)、風險分擔或分散(如：社區和家庭團結、政府組織預為準備、生計經營多樣性等)。

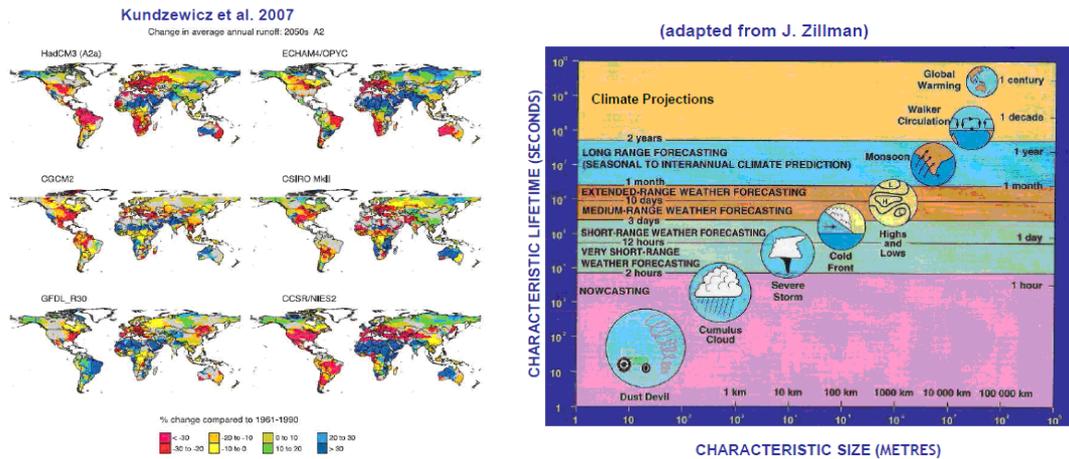


圖 20 資訊管理示意圖

(4) 財務方法(錢): 財務係指金錢, 包括分攤或分散因氣候變遷造成風險和損失、行為改變給予財務獎助或處罰、建立對於氣候變遷調適之融資機制。而其優點為可與市場力量密切合作; 加強投資之持續性; 吸引私營企業投資。缺點為財務模式仍未成熟(尤其在開發中國家); 找到調適所需之融資具有挑戰性。對於原則性之財務調適方法, 包含保險: 賠償金按降雨、氣溫、洪水位及風速等因素決定。銀行信用貸款: 提供貸款使窮人有脫離貧窮的機會, 例如: 提供受災戶貸款重建, 以遠離洪水侵襲。社會政策支持。誘因與懲罰: 受災區減稅、鼓勵效率高技術之研發。權益保障: 設立開發銀行、發行市政公債、提供技術協助及貸款保證。

以上四種常見之調適方法間仍息息相關, 各有其重要之角度去扮演, 詳如圖 21。綜合上述, 受理保險前應先考慮是否將風險降低。信用貸款為重要之投入去增加調適能力。社

會政策可以使得收入、水和調適方面獲益。誘因和處罰可以改變行為。財務保障有助於確保債可永續經營及基礎建設之設計可承受氣候變遷之衝擊。

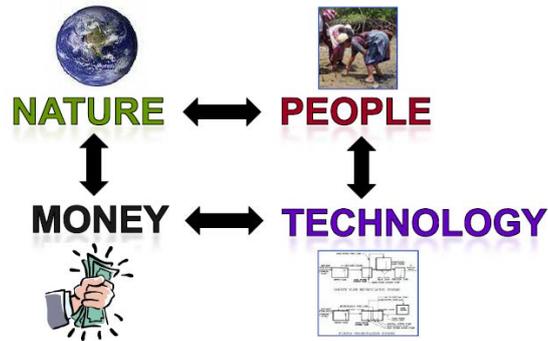


圖 21 四種常見調適方法間的關係

最後，講師請各學員思考並提出乾旱對環境之衝擊，經整理所提內容如下：

- 飲用水不足
- 水質惡化
- 農業灌溉用水不足
- 水力發電用水不足
- 冷卻用水不足
- 河川水位過低而無法行駛運輸船
- 海水入侵
- 溼地乾枯
- 河川水流動力不足

針對此一問題可以長期監測、初期預警系統及準備因應計畫來解決，以下則就供應面及需求面提出探討。

供應面：

- 地面水及地下水資源開發；

- 水資源調度；
- 加強降雨量(如人造雨等)

需求面：

- 改善土地使用習慣(如耕作方式等)
- 集水區管理
- 雨水逕流儲留
- 水循環處理再利用(如經處理之都市廢水作為灌溉使用)
- 水量分配策略研究
- 減少灌溉水之浪費(如改以滴灌方式)
- 水土保持改善
- 水價及補助

1-8 洪水之衝擊與調適

氣候變遷在沿海地區之衝擊可簡化如圖 22 所示。第 1 區為直接受溫度、降雨等影響區域。第 2 區為受上游流量影響區域，如水庫、污染、泥砂來源。第 3 區為受海影響區域，如侵蝕、洪水、海水入侵、暴雨湧浪、波浪。第 4 區為沿海區域，受到陸地及海之影響。

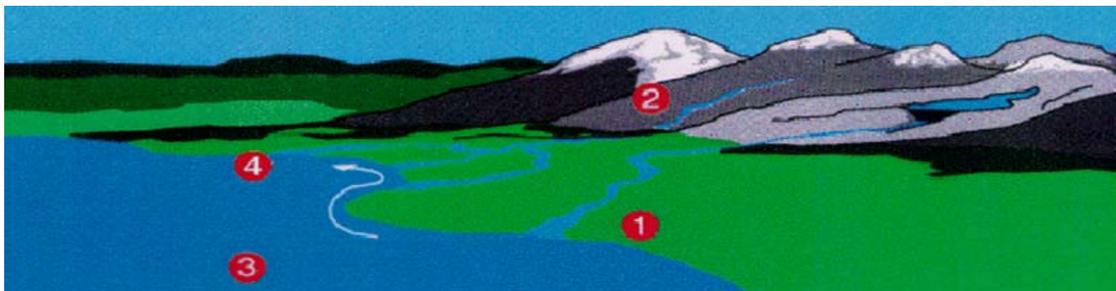


圖 22 氣候變遷在濱海地區影響

典型熱帶濱海生態系統由陸地向海洋方向包含紅樹林區、海草區與珊瑚礁區，如圖 23 所示。紅樹林區之功能在於保護海灘避免侵蝕、提供生物孕育溫床及提供營養鹽等。此區環境可產出大量有機營養鹽，供成魚和甲殼綱動物成長所需。再往海洋方向就到海草或藻類生長區，除陸地帶來流入海中之營養物外，又有海草等做為食物來源，提供生物躲藏產卵地點。由於有豐富之海草和藻類之生長，也提供了成魚所需足夠碳和氮的來源。再往海中前進可看到珊瑚礁區，此區提供較為實質的緩衝區、多樣化棲地及孕育地點，也是營食鹽使用最有效率之區域。珊瑚成長有助於魚類、無脊椎動物生長，並具有削減波浪及潮流等功能。

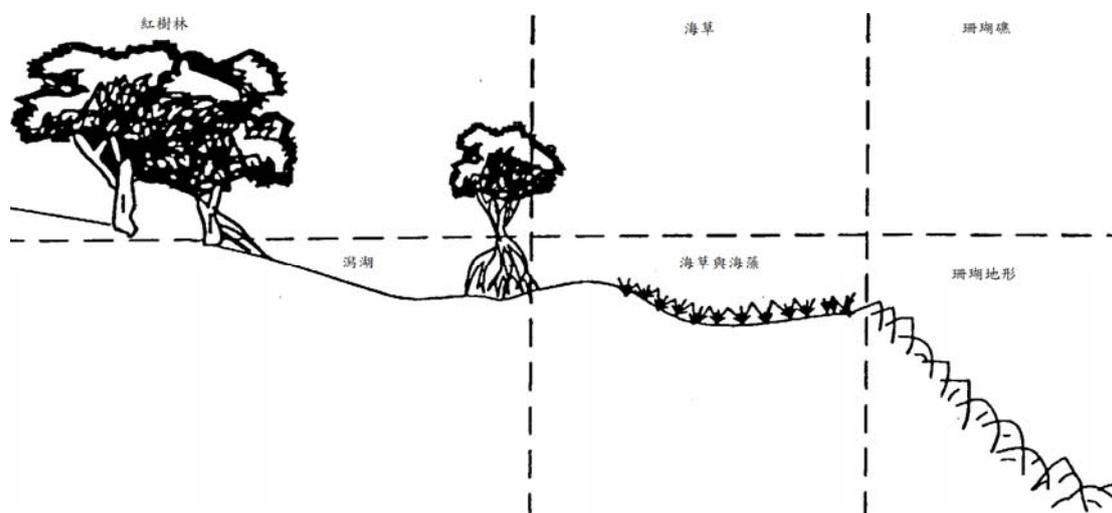


圖 23 典型熱帶濱海生態系統

溼地的經濟價值包含使用價值與非使用價值兩大類，而使用價值可以分為三類：直接使用價值、間接使用價值及潛在未來價值。直接使用價值係指溼地產物(魚、蘆葦)、娛樂與觀光、運輸、農業、及能源(泥炭)等。間接價值為防洪、

地下水補注、海岸線穩定與暴雨防護、水質改善、及微氣候變遷減緩等。潛在未來價值在於可供潛在未來使用。非使用價值係指存在價值，包括：生物多樣性、文化傳承價值及遺產價值(未來子孫價值)。

位處潮間帶的溼地與瀉湖在防止海水入侵方面具有正面功能，沿海淡水溼地有益於維持飲用水、洗滌及灌溉用水供應至社區，並可避免土壤鹽化。沿海低窪的高透水性溼地，上方的淡水水源可避免下方深層之海水入侵到陸地(如圖24a)。一旦上方之淡水量來源減少或水位降低(如抽取地下水)或溼地功能被破壞或移除，此時深層之海水將貫穿流入原來充滿淡水之陸地表面，造成土壤鹽化和水質惡化等問題(如圖24b)。

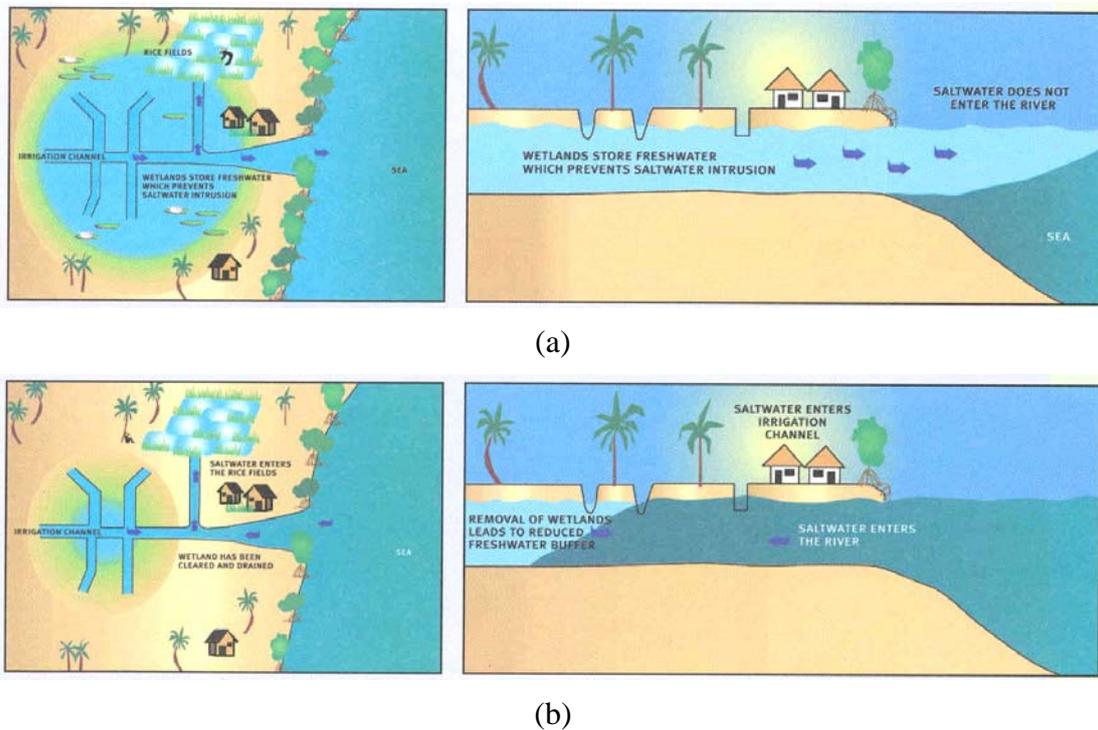


圖 24 溼地或瀉湖淡水水位與海水入侵關係：(a)淡水量穩定時；(b)淡水量減少時

氣候變遷在沿海地區形成壓力來源與大小不一的衝擊程度，如：海平面上升會造成臨海地區淹水、海岸侵蝕、溼地被海水淹沒等。河川流量改變帶來洪水或乾旱、海水入侵等問題。海水溫度上升引起淡水資源變差、珊瑚白化甚至大量死亡等。針對沿海海水上升對臨海地區建築物之影響為例，可採取之調適策略則為撤退遠離、加高適應及以堤防保護等(如圖 25)。

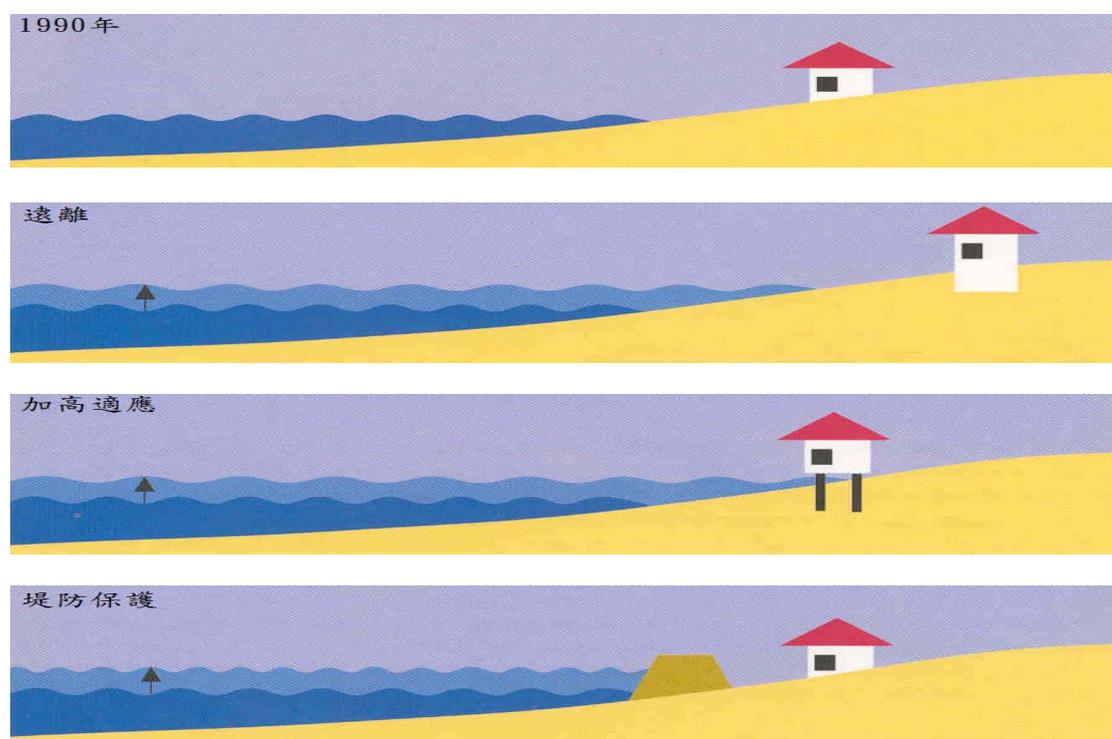


圖 25 臨海地區氣候變遷影響之調適方法

再多的人為氣候變遷預測結果都是死的，但是人對於天災及極端事件的應變卻是機動的。氣候變遷本身具有很多的不確定性，人類對於其未來則進行多項情境模擬與社會經濟分析。氣候變遷帶來豪雨常引起地表裸露地的大量增加，另由於土地被人為開發與極端天災造成之災害成因更趨複雜。

與水為伍之荷蘭已對未來幾世紀最糟的氣候變化進行情境模擬，為能確保安全及遠離洪水之生存環境，已採取下列幾項因應措施，以加強洪水風險管理並減少損失。在結構性(工程)調適成本上，已增加經費達國民生產毛額(GNP)的0.5%。柔性調適方法上，開始無後悔(No regret)(包括保留空間、砂量、金錢)且無預設藍圖之策略，儘量以貼近自然之工程及水系統(watersystem)之方法施作。對於居民及其後代則強化其對洪水之意識及居民間之團結。最有名的保證完成案例為三角洲行動方案(Delta-Act)。

至於日本則推動洪災潛勢圖(flood hazard mapping)製作，尤其在1960年至2004年諸多之天然災害中，包括：洪水、暴風、乾旱、水造成傳染病、地滑、飢荒、巨大湧浪等，其中以洪水是最常造成災害的且愈來愈常發生(圖26)。單單只靠結構性工程方法是無法有效解決洪水問題，因此需同時配合非工程柔性方法才能有效減少洪災損失。繪製洪災潛勢圖(FHM, Flood Hazard Mapping)為一非結構性方法，有助於洪災發生時避難並減少生命財產的損失。除了淹水範圍外，在考量救災困難度方面，日本政府並將淹水深度分成四級(0.2~0.5m、0.5~1.0m、1.0~2.0m及2.0~5.0m等)(圖27)。

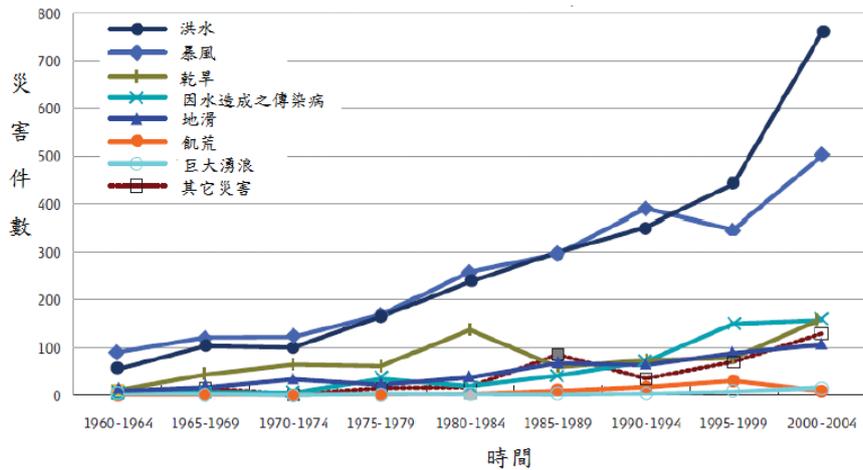


圖 26 各種天災發生次數與時間關係

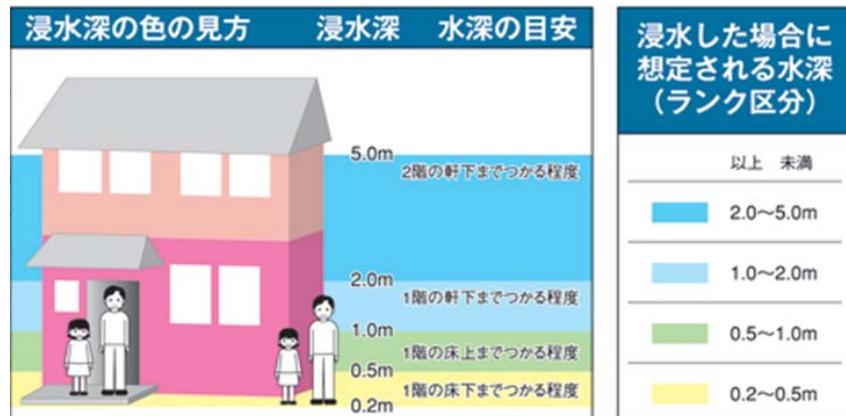


圖 27 日本政府淹水深度分級

洪災潛勢圖對於災害減緩及風險溝通方面為很重要的工具之一，可廣泛應用於很多層面。然現今因其具有資料密集及經費昂貴特性，隨著新世紀之來臨，未來將可提供不可獲缺災情研判及決策資訊。

在歐洲，河川洪水泛濫從 1990 年開始為最常見之天然災害(已發生約 259 次主要之河川洪水事件)，每年平均造成 35 億歐元損失。尤其在 2002 年發生之洪水事件甚至造成 170 億歐元之損失，在 1998 年整年洪水事件則造成高達數百人

傷亡。洪水發生頻率與強度持續增加中，但在歐洲各國隨地點不同其影響不盡相同(如圖 28)。洪水頻率及強度增加原因可歸究於氣候變遷、經濟及社會發展等所造成。對臨海地區而言，約有三分之一歐洲人口住在離海岸線 50 公里之範圍內，且約 14 萬平方公里之面積在海平面 1 公尺以下，可以想像氣候變遷加劇造成海水位上升會造成易淹水面積增加、更多生命財產風險增加及臨海動植物棲地之減少等。

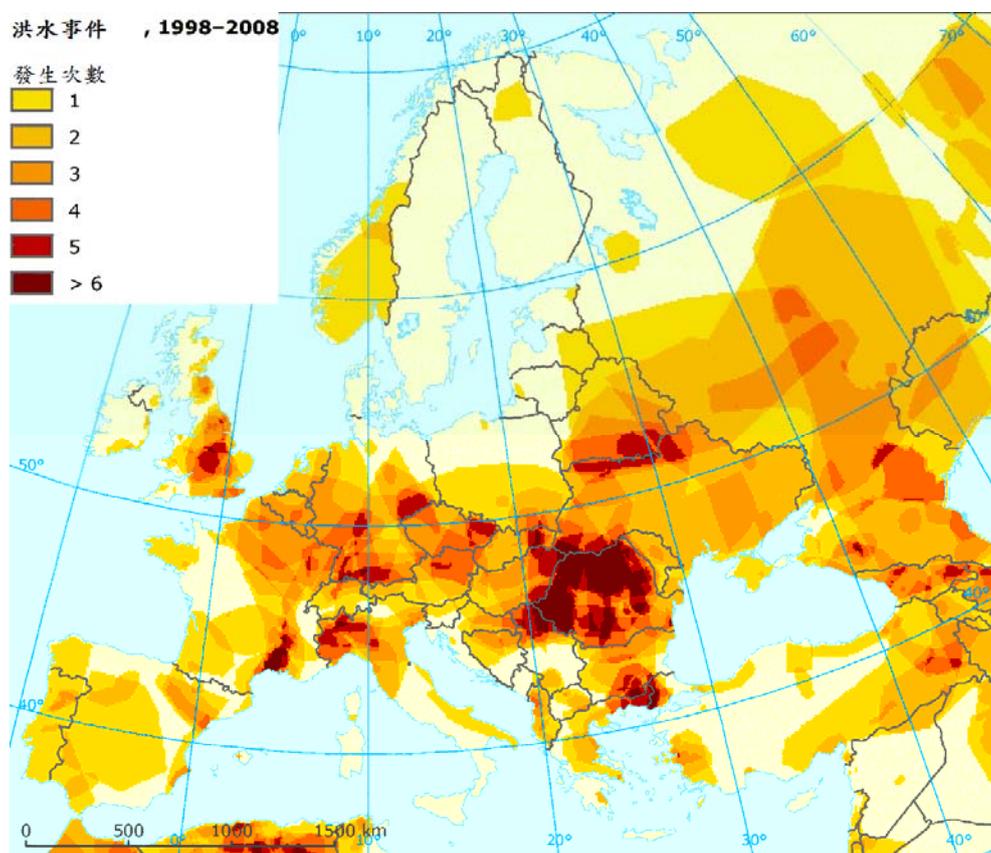


圖 28 歐洲洪水事件發生次數分佈

洪水風險管理理論上可分為三部份，分別為保護、避險及準備。防洪保護大部份屬工程方法，包括築壩、養灘、防暴潮大浪堤防或防洪閘門、滯洪池、洪水平原與堤防重新檢討...等。在避險方面，包含土地使用規劃、建築法規訂定、

防洪建築、預留洪水空間、堤防改善...等。防洪準備方面，諸如緊急疏散撤離計畫擬訂、緊急材料之儲存(如：砂包、糧食、水)、防汛演練、民眾教育...等。

歐洲在洪水管理實務上，從 2002 年之洪水事件後，開始以整合之方法治洪。在 2004 年 7 月，歐盟委員會(EU-Commission)對於防洪開始擬定策略，包含在洪水風險管理上加強溝通、組成專家團(expert circles)、防洪行動計畫(flood action program)。該計畫有助於資訊、知識及經驗之交換及選定方向募集資金、研擬策略計畫書等。歐盟在 2007 年通過洪水風險評估與管理指令(The EU Directive on the Assessment and Management of Flood Risk)訂定防災措施，包括 2011 年「初步洪災風險評估(Preliminary risk assessment)」、2013 年「洪災潛勢圖(Flood hazard maps)」與「洪災風險圖(Flood risk maps)」的繪製以及 2015 年「訂定洪災風險管理計畫(Flood risk management plans, FRM plans)」等三部分。荷蘭於 2009 年尚無「初步洪災風險評估」，但其預計在 2010 年至 2013 年進行「洪災潛勢圖」與「洪災風險圖」繪製，且在 2010 年至 2015 年間進行「洪災風險管理計畫」訂定。

洪災風險圖強制規定潛在受影響之經濟活動、人口數量及受保護地區，並評估有可能因洪水造成某些特定設施意外污染。對於下列項目則無強制列入評估，包含：潛在受損程度(每公頃土地損失金額)、重要基礎建設(如能源、通訊)、文化歷史、特定建築物(醫院、監獄)及疏散撤離路線圖等。另洪災風險管理計畫可考慮跨國河川集水區、空間規劃、災害管理、保護與準備、氣候變遷、水框架指令(Water Framework

Directive)、公眾參與及每六年修正一次等。

洪災風險管理計畫內容包含初步洪災風險評估之結論、洪災潛勢圖及洪災風險圖。該計畫目標係為減少潛在對人體健康、環境、文化遺產及經濟活動之負面效應。所採用方法優先度係根據如何減少洪災損失或機率而訂。該計畫之目的係為避免洪災而進行保護及準備，並與其它歐盟指令(EU-Directives)原則一致而不抵觸。以萊茵河(Rhine)1998年洪災風險管理計畫為例，明確訂定在2005年及2020年分別減少10%及25%之洪災風險，在2005年及2020年分別減少淹水30公分與70公分。

1-9 洪水脆弱度指標實作

水患為臨海地區最常發生的天然災害之一，影響人類生活環境。近幾年來，洪水造成之生命財產損失甚於其它天然災害，因此決策者必須採取積極態度去制定策略及尋找有效解決方法，而綜合性評估指標可做為決策者之重要參考依據。

綜合性指標結合多面向多參數觀點，經過運算得到之一個數值，有助於決策之判斷方法。該指標被廣泛地應用，如：氣候脆弱度指標、環境脆弱度指標、缺水指標、非洲氣候變遷之社會脆弱度指標、洪水脆弱度指標...等等。

許多學者對於脆弱度提出他們個別之定義分述如下：

- 面對氣候變遷及海平面上升結果致無法處理能力程度(IPCC CZMS, 1992)。
- 由於特定事件或災害造成系統潛在受損之程度(Jones and

Boer, 2003)。

-一相關性、過多量和敏感性之函數(Veen and Logtmeijer, 2005)。

-一敏感性、韌性及知識程度之函數(Gheorghe, 2005)。

-在特定曝露度、敏感性及韌性條件下，可預期之危害程度(Balica, 2007)。

水資源系統對洪水之衝擊而言是脆弱的，可以洪水脆弱度指標來表示。此系統對洪水敏感程度、曝露度、擾動與它的處理、回復或調適能力等綜合考量有關(如圖 29)。

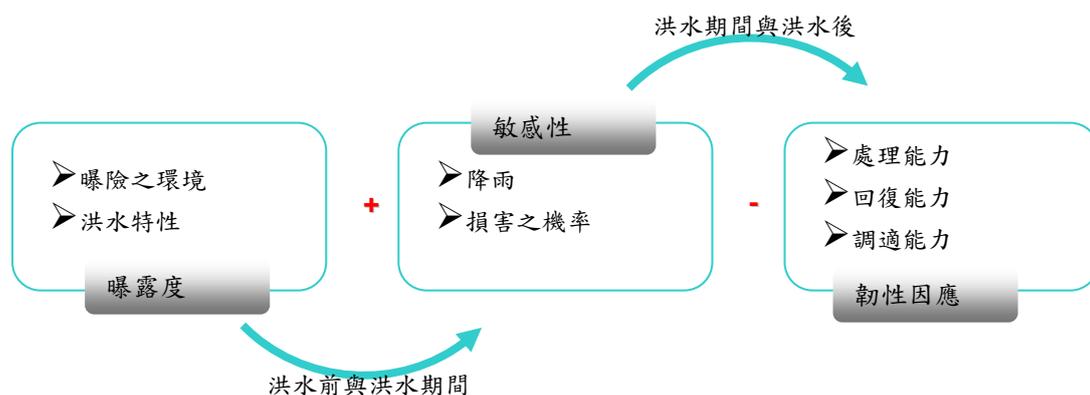


圖 29 脆弱度與曝露度、敏感性與韌性關係

以沿海都市脆弱度(CCFVI)之組成概念為例，就三大類別 19 個單一指標進行探討。

- (1) 水文地質(天然系統)：由系統之水文地質-地質-形態及氣候特性組成。例如：海水位上升(SLR)、暴雨湧浪(SS)、颱風數量(#Cyc)、最大流量紀錄(RD)、前灘坡降(FS)、土壤沉陷面積(Soil)、海岸線長度(CL)。

方程式： $FVI_{\text{水文地質}} = f\{SLR, SS, \#Cyc, FS, RD, Soil, CL\}$

- (2) 社會經濟：人類之存在及週遭與脆弱度相關議題等。例

如：文化遺產(CH)、臨海人口數(PCL)、都市人口成長率(GCP)、避難所數量(S)、年幼老人數量(%Disab)、民眾察覺與準備程度(A/P)、災後回復時間(RT)、都市排水渠道長度(Drain)。

$$\text{方程式：} \quad \text{FVI}_{\text{社會}} = f \left\{ \frac{CH, PCL, \#Disab}{A/P, S} \right\}$$

$$\text{FVI}_{\text{經濟}} = f \left\{ \frac{GCP}{RT, Drain} \right\}$$

(3) 政治行政(制度系統)：確認國家、區域與地區等不同等級且相關之制度。例如：淹水潛勢圖(FHM)、制度化的組織(IO)、未管制之沿海面積比例(UP)、洪水防護與否(FP)。

$$\text{方程式：} \quad \text{FVI}_{\text{政治行政}} = f \left\{ \frac{FHM, UP}{IO, FP} \right\}$$

資料之蒐集係透過網際網路或電子郵件等方式取得。沿海都市脆弱度(CCFVI)之組成方程式方面，先合成4個部份，最後再合成總 CCFVI 指標(如圖 30)。

$$\text{總體沿海都市 FVI} = \{ \text{FVI}_{\text{水文地質}}, \text{FVI}_{\text{社會}}, \text{FVI}_{\text{經濟}}, \text{FVI}_{\text{政治行政}} \}$$

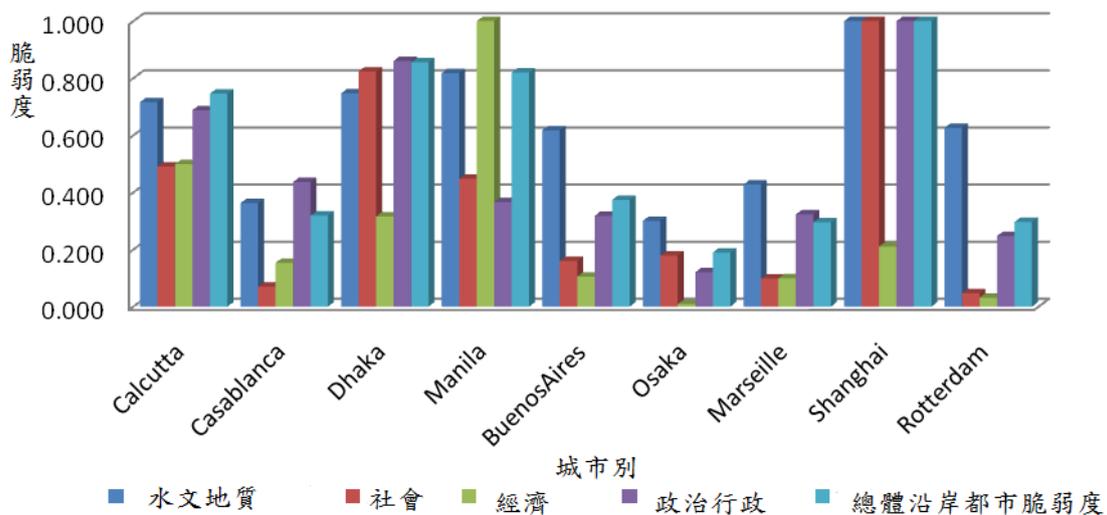


圖 30 沿海都市脆弱度計算結果

在真實世界複雜的難題中，使用脆弱度與其它整合指標有助於決策者策略及方法之具體闡述。脆弱度之優點包括：有益於找出適當解決方法、可聚焦在不同空間尺度下最有問題之地區、可結合其它決策工具進行分析、可用來於不同知識背景專家及社會代表進行溝通、可整併不同議題與利害關係者意見等等。

但是，脆弱度方法也有其限制及有待改進之處，例如：指標難以展現動態現況；真實世界之簡化，為一決定論的模式；不同方面之加權(如：社會變數之定量、隨時間改變優先順序)；資料有效性等。

在前述研究方法之案例展示後，講師在課程中將全班同學分成 4 組，以紐奧良市為例，分工合作蒐集上述 19 個單一指標數據，並利用脆弱度知識分析網站進行運算。首先連結至該網站(<http://www.unesco-ihe-fvi.org>)(圖 31)並註冊進行新帳號申請。啟動新帳號後，再進行登入作業，填寫海岸脆弱度之 19 個參數。此參數之資料來源仍由各組透過網際網路限時進行搜尋，各組成員可以分工合作找尋相關資料討論。最後，由講師核對答案並比較各組資料正確性，各學員須補充回答資料來源及解釋為何選用該數據之理由。脆弱度值最後計算結果展示如圖 32 所示，其物理意義詳如表 3。

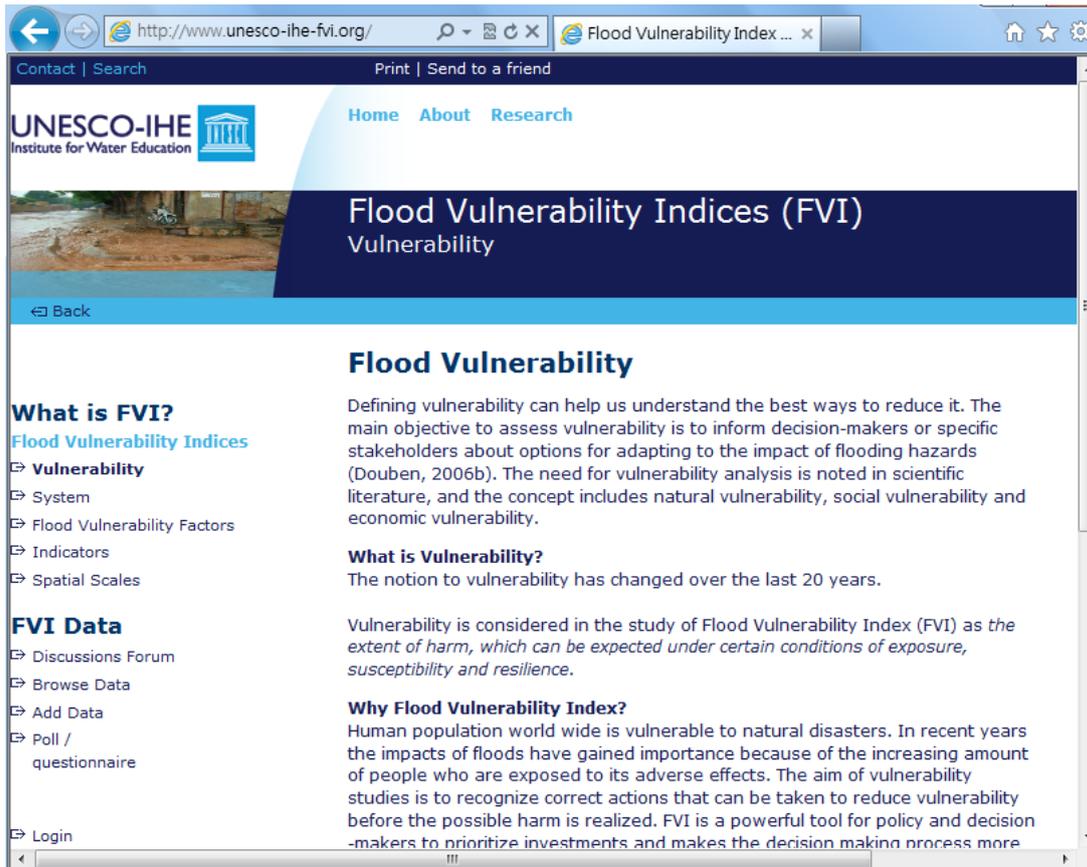


圖 31 脆弱度指標知識網站

FVI Datasets

FVI Data Browse datasets: [Scales](#) > [Costal Cities](#)

Browse Data
[My Data](#)
[Add Data](#)

Own datasets of type Costal Cities										
#	Name	Description	Type	FVI _S	FVI _{Ec}	FVI _{En}	FVI _{Ph}	FVI _{HG}	FVI _{PA}	FVI
213	New Orleans_Group1	City in the US	coastal	0.109	0.344			1.961	1.325	3.738
Other users datasets										
#	Name	Description	Type	FVI _S	FVI _{Ec}	FVI _{En}	FVI _{Ph}	FVI _{HG}	FVI _{PA}	FVI
234	New_orleans_Group 2	data set								
232	Tokyo	city in japan								
231	Tokyo	City in Japan								
230	Tokyo	City in Japan (Femi)								
229	Tokyo Grp_4	Japan								
228	tokyo	city in japan								
227	banu	coastl								
226	New_orleans_Group2	Dataset from New Oreleans	coastal	0.011	0.344			1.961	1.325	3.64
225	New Orleans	USA	coastal	0.109	0.344			1.961	1.325	3.738
223	New Orleans_group 2	New orleans	coastal	0	0			0.354	0	0.354
222	New Orleans_group 2	new orleans fvi								
221	new orleans	City in the US	coastal	0	0			0	0.792	0.792
220	New Orleans_Gp4	City in USA								
219	New Orleans_Group2	data for new oreleans								
218	New Orleans_Group2	Data for New Oreleans								
217	New Orleans_Group 3	New Orleans is located in southeastern Louisiana, straddling the Mississippi River.	coastal	0.109	0.344			1.101	1.325	2.879
216	New Orleans_Group 2	New Orleands fvi								
215	New Orleans_Group2	Data of New Oreleans								
214	New Orleans_Gp_4	City in the USA								
212	New Orleans_Group2	Climate Change and IWRM								
211	New Orleans_Gp_4	River discharge								

圖 32 脆弱度指標計算成果

表 3 脆弱度值之物理意義

脆弱度值	意義	描述
<0.01	對洪水之脆弱度很小	此地區回復速度快、投資金額及意願高。
0.01-0.25	對洪水之脆弱度小	此地區對於洪水有經驗、並有因應對策及編列預算，故回復過程快。
0.25-0.50	對洪水之脆弱度中等	此地區對洪水影響是脆弱的，可能要花費幾個月時間才能回復原狀。
0.50-0.75	對洪水之脆弱度高	此地區對洪水影響是脆弱的，恢復過程很慢，亦無制度化之因應組織。
0.75-1.00	對洪水之脆弱度很高	此地區對洪水影響是高度脆弱的，恢復過程很慢甚至要花數年期間，且無足夠預算編列供災後重建。

1-10 模擬工具簡介

模擬工具 WEAP(Water Evaluation And Planning System) 可用來進行水資源不同情境模擬，並可進行多方案比較。WEAP 軟體可用水資源規劃方面，免費供應學術、政府單位及及其它非營利組織使用，目前語言版本有英文、法文、希臘文、西班牙文、葡萄牙文、簡體中文...等。該軟體係由斯德哥爾摩環境機構美國中心所研發。WEAP 軟體官方網站提供相當多參考資料及軟體操作手冊說明檔，官方網站可連結至 <http://www.weap21.org> 查詢。該軟體之優點如表 4 所示：

表 4 WEAP 軟體之優點

優點	內容
1.綜合性方法	獨特方法引導整合水資源規劃評估
2.利害關係者參與過程	透明結構有助於不同的利害關係者在公開過程協商調合
3.水平衡	保持水需求及供應之質量平衡模式
4.可進行過程模擬	計算水需求、供應、逕流、入滲、作物需求、水流、蓄水、污染源、水處理、流量、河川水質及策略情境模擬等。
5.策略情境模擬	評估全區域水資源開發及管理方案，並考慮多種水系統之競合使用。
6.友善之操作介面	圖形化可拖曳之 GIS 介面，並可選擇彈性輸出模式，如地圖、圖形及表格等。

WEAP 使用上包含數個步驟，首先須定義並設定時間框架、空間邊界、系統組成及問題架構等。不同帳號可以用來視為應用上分門別類之步驟，並提供實際需水量、污染負荷量、系統之資源與供應等簡要資料。關鍵假設可用來表示目前政策、成本及會影響需求量、污染、供應及水文等因子。情境模擬允許去探索未來水可獲取量與使用量之假設或政策。最後，情境模擬可用來評估水資源充份供應、成本效益、與環境目標一致性及不確定性敏感度等關鍵變數之影響。操作過程界面詳如圖 33~圖 36 所示。該課程經講師介紹功能及操作流程後，即由學員分組並自行摸索，其模擬成果詳 3-2 節所示。

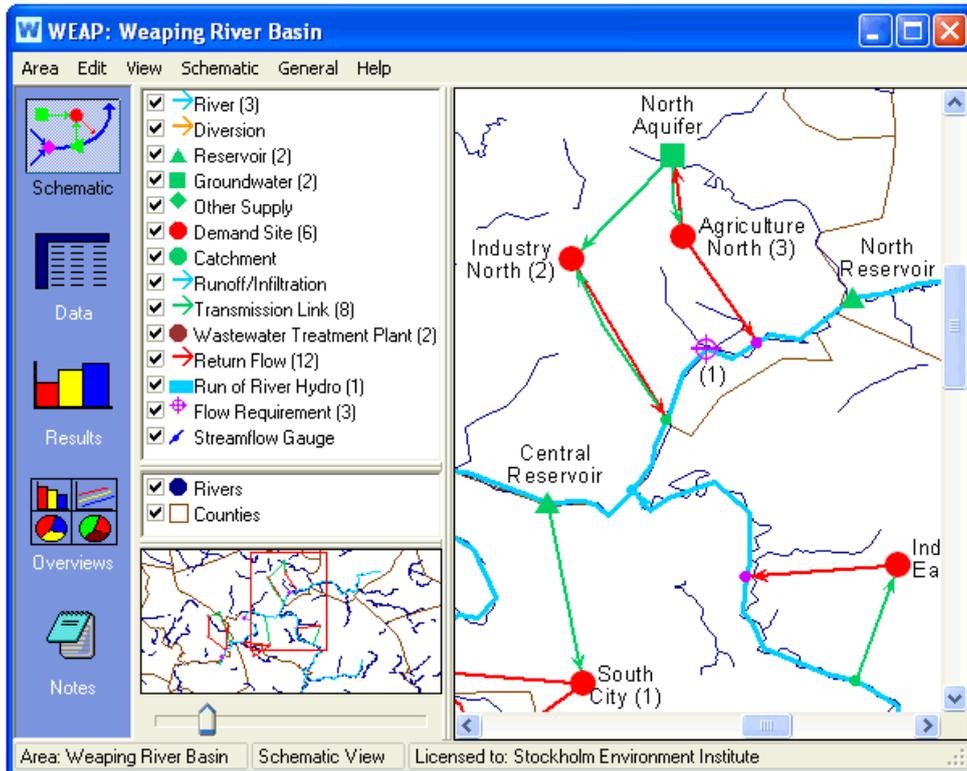


圖 33 水資源分配位置圖

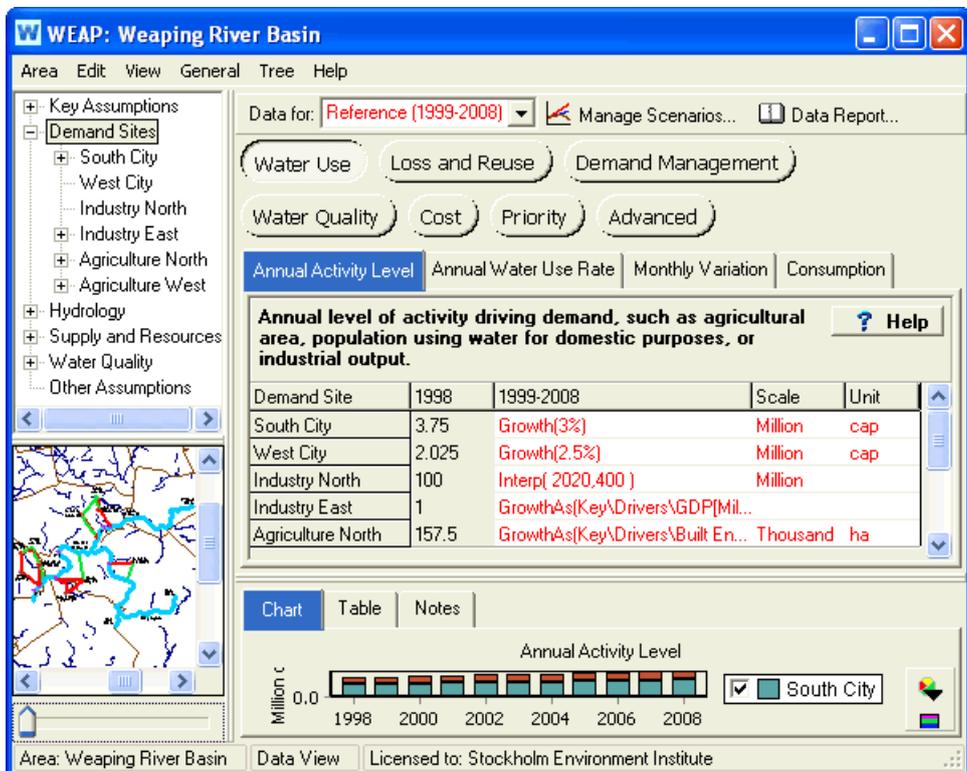


圖 34 水資源資料輸入及建置模式

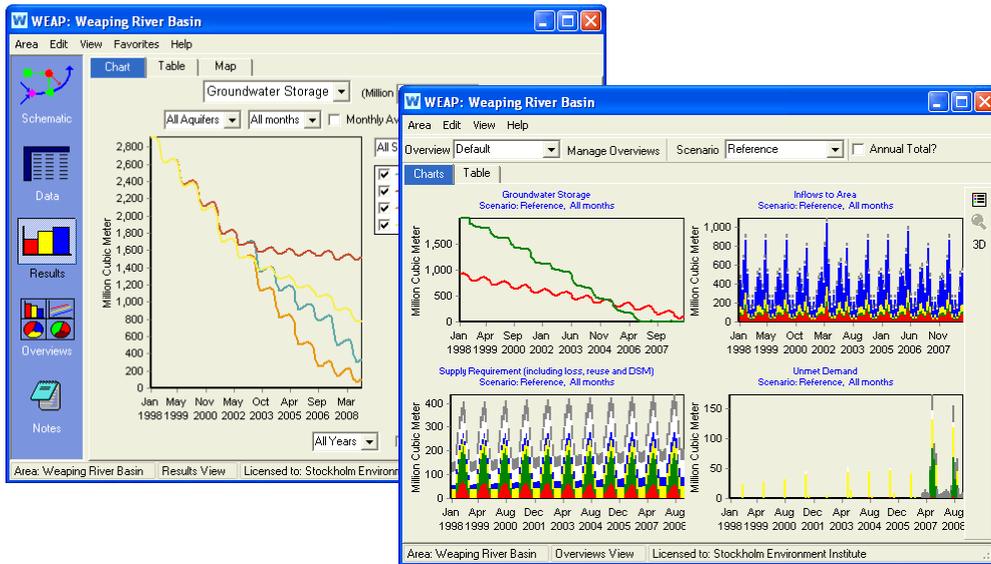


圖 35 範例模擬結果畫面

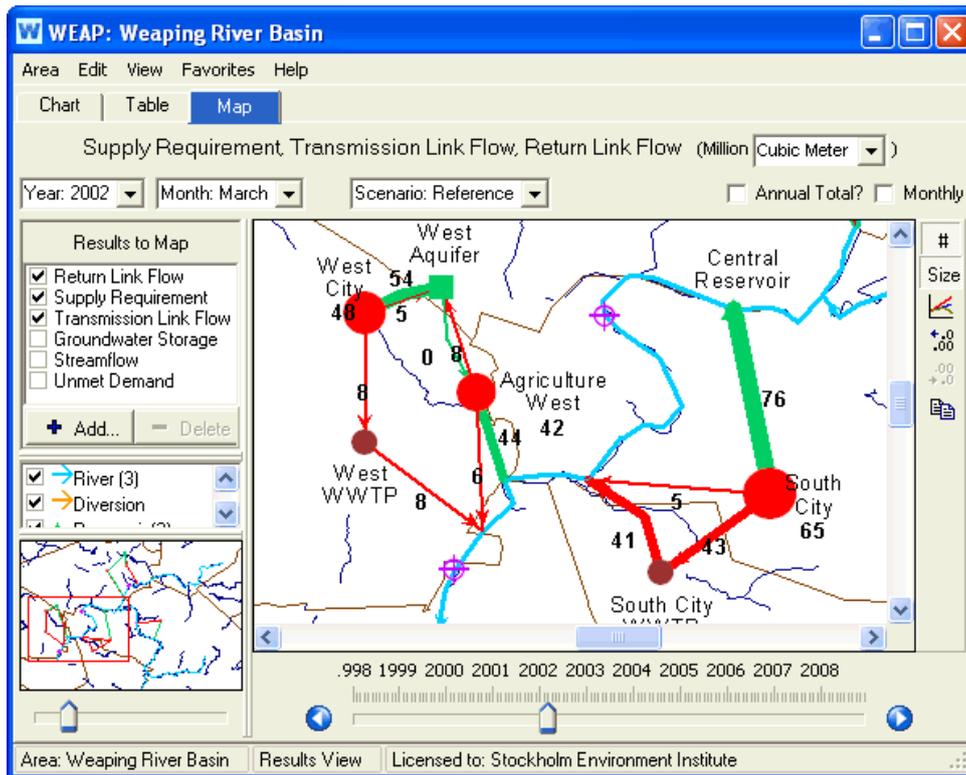


圖 36 範例模擬結果總覽

1-11 從制度面與利害關係者參與觀點探討氣候變遷調適策略

本課程之目標期望在學習後能真實反映制度化觀點且於氣候變遷調適過程中被考慮，另亦能解釋群眾參與概念及討論參與群眾所關心之處，確認氣候變遷調適方案的利害關係者能應用利害關係分析之工作。

制度(institutions)係指社會跨越時空用來塑造規範及重造人類行為之秩序，是動態的且會隨時間突然產生、演進與消逝。例如：正式之州法律、文化規律、組織結構、經濟政策及宗教信仰...等。

本課程以非洲西岸 São Tomé and Príncipe 小島(圖 37)為例，探討與氣候變遷調適之關係。該小島為非洲第二小之國家，領土面積 1001 平方公里，島上居民 166,000 人。在西元 1470 年開始被葡萄牙殖民，藉由引進非洲大陸奴隸大量生產可可亞、咖啡、甘蔗及棕櫚油以獲取經濟利益。1975 年開始獨立，在非洲社會主義運動影響下，這國家經濟大權以集中方式管理。在 1991 年此國家開始多黨民主政治，目前國民生產毛額(GDP)為 1700 美元，54%人口活在每日花費少於 1 美元貧窮線下。

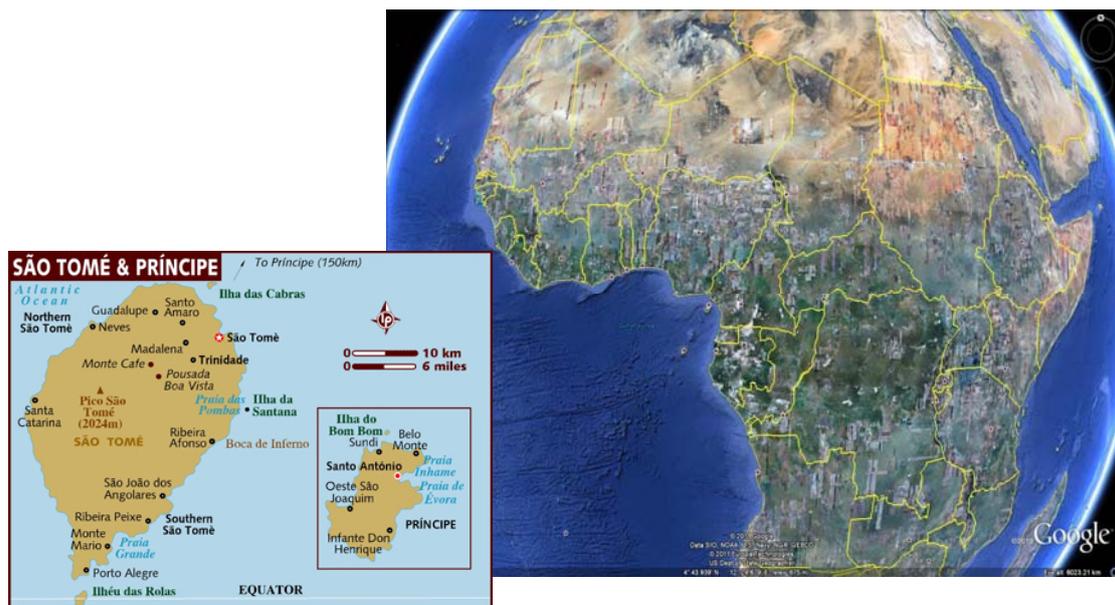


圖 37 São Tomé and Príncipe 小島位置圖

小島沿海村落過去曾遭受洪水泛濫及沖蝕，近年來由於暴雨強度增強造成淹水及沖蝕現象更為明顯，雨季降雨期間及強度已改變。海平面上升影響，沿海村落每年遭受大約 4 次淹水災害，並進而基礎建設損壞造成人民生命財產損失。大洪水亦造成藉由水傳染之流行性疾病。全球環境機構 (Global Environmental Facility) 透過世界銀行 (World Bank) 贊助 UNESCO-IHE 和 Deltares 執行研究，該研究目標為確認調適策略介入後將可減少 São Tomean 沿海社區因氣候變遷衝擊造成基礎建設損壞及生命財產損失。

經過深入訪談後才瞭解，此地臨海之貧窮居民早期為脫逃奴隸之後裔，最後被驅趕而住在易淹水之海邊。由於歷史背景及現在政治因素才是造成他們現況的原因，而氣候變遷並非是造成他們居住在易淹水地區之主因。因此，在研究調適策略之前，必須先確定問題為何？成因為何？再進一步才能找出適當解決問題之方法。

此一事件印證了眼見未必是真之情況，在初次看到事情

之表面時，妄下論斷加以評論實為不妥。本案例在深入訪談詢問到適當的人及適當的問題後，才瞭解及釐清問題真正原因，此即突顯利害關係者參與之重要性。同時，必須研究當地歷史背景以鑑古知今，樂意熱情去跨領域洞察，超越本身專業所學之既有觀念。本案例之制度方面及政治過程在此地影響了當地居民社會之一切，且可發現氣候變遷影響貧窮人甚巨。

參與之基本理由爭論分為兩大類：公平活力化爭論 (equity & empowerment argument) 與效率爭論 (efficiency argument)。前者係為了促進社會改變對於邊緣化、被排除及弱勢團體之優勢。其由社會運動、環境運動、當地居民行動團體、女性運動及非政府組織等所推動。後者目的係為了獲得較佳的方案成果，主要由當地國家政府組織、捐贈者及世界銀行、國際研究教育機構及非政府組織等所推動。

何謂利害關係者(stakeholder)呢？只要對特定方案有直接或間接興趣之機構、組織、團體、或個人，對此方案之完成有影響力或被影響者，皆可稱為利害關係者。換言之，只要在特定議題或系統上有利害關係之人皆可稱為利害關係者。利害關係者可分為三大類，分別為主要利害關係者(primary stakeholder)、次要利害關係者(secondary stakeholder)及一般大眾(general public)等。主要利害關係者係指因某個方案之預期受惠者或直接或間接受負面影響者。次要利害關係者係指方案設計、完成與監測過程之參與者，例如：政府機構、私人部門、非政府組織、資助機構。以前述小島案例而言，利害關係者包含：居民、當地政府、中央政府、運輸業、漁業、漁民、旅遊業、商店老闆、大自然環境...等。

第二章 現地參訪

2-1 Maeslantkering 現地參訪

Maeslantkering 擋水構造物(barrier)為一座暴潮湧浪之人工屏障，位於最大商港鹿特丹下游 Nieuwe Waterweg 航道上(圖 38)。於 1953 年之大水災後，荷蘭開始重新審視檢討原有防洪標準，並加強對未來防洪整體規劃之重視。此擋水構造物自 1991 年開始建造，經過六年時間規劃、模型試驗，於 1997 年終於完成，花費 4 億 5 千萬歐元，為目前世界上最大之移動型擋水構造物(圖 39)。此擋水構造物規劃每 10 年 1 次進行關閉閘門來抵擋暴潮湧浪，但迄 2007 年止，仍未發生達 3 公尺標準之暴潮而緊急關閉閘門。在定期維護方面，每年會在暴雨季節(11 月)之前的 9 月或 10 月間進行 1 次閘門關閉測試。



圖 38 Maeslantkering 擋水構造物位置



圖 39 Maeslantkering 擋水構造物未啟動前

此擋水構造物之施工非常困難，須有一定之程序去銜接每一步驟。首先，在寬約 360 公尺之 Nieuwe Waterweg 航道兩岸分別建造船塢及在航道底部建立基座(sill)，隨後完成 2 座 22 公尺高、210 公尺長之金屬閘門。緊接著將 237 公尺長之金屬桁架焊接在閘門上，此垂直豎立之雙長臂如同艾菲爾鐵塔高，但其每隻長臂重量為該鐵塔之 2 倍重(圖 40)。此雙臂可用來傳遞巨大的力量到閘門後方接頭來關閉閘門。在閘門開啟或關閉過程中，閘門後方之圓形接頭允許閘門可以隨水流、風及波浪等外力自由擺動。此機械式圓形接頭之作用如同人體肩部或臀部之球窩關節功能。



圖 40 Maeslantkering 擋水構造物金屬桁架

在操作上，此擋水構造物由連結天氣和海平面資料之自動化電腦系統所控制。在一般天氣時，這兩個擋水門在兩岸之船塢保養(圖 41)，當鹿特丹預測到超過海平面 3 公尺高之暴雨湧浪即將到達時，此擋水構造物將自動關閉。在關閉程序開始前 4 小時，會發佈訊息通知來往船隻，在開始前 2 個小時將停止航道上船隻之通行，開始前 30 分鐘會將暫置閘門之乾船塢開始灌入水，隨後此兩個閘門會浮起藉由雙臂推至航道(圖 42)。當兩個往航道移動的閘門距離約 1.5 公尺時，水開始被注入中空之閘門內使得閘門沉入到航道之底部。當閘門必須長期關上防暴潮時，易造成上游水位過高且無法排入海，此時中空之閘門會機動排出水以減輕重量而再度浮起，以使上游水量可以流入海中。隨後，閘門又充水下沈以發揮阻擋暴潮水位功能。在整個暴潮事件中，完全透過電腦進行決策分析與運算機制。

雖然有這項偉大工程，似乎可以阻擋暴潮帶來之洪水衝擊，但面對氣候變遷海水位上升問題，未來未必一定可以完全保障避免災害。



圖 41 Maeslantkering 擋水構造物右岸



圖 42 Maeslantkering 擋水構造物關閉後

2-2 Dordrecht 市參訪

回顧發生於 1953 年的北海水患(North Sea flood)，其主要由暴雨所造成，當年 1 月 31 日深夜及 2 月 1 日早晨，由於高潮位及強烈歐洲暴風造成暴潮，重創荷蘭、比利時、英國及蘇格蘭等 4 個國家。受到北海潮汐湧浪影響，局部水位抬高超過平均海平面 5.6 公尺以上，洪水與波浪淹沒了海岸防禦措施並造成大淹水(圖 43)。部份土地低於海平面且倚賴海岸防禦工事之荷蘭受到嚴重影響並造成 1,836 人死亡。因此，在該次事件後，荷蘭成立一個三角洲委員會(Delta Commission)去規劃研究原因並採取因應策略以避免未來之災害。



圖 43 1953 年遭受北海洪水侵襲

Dordrecht 市為荷蘭的一座古老城市，位於荷蘭西南方之南荷蘭省，四周由五條河流匯集之處。該城市具有數座超過 600 年及 1100 座超過 300 年之歷史建築，因城市內遍布海港及運河又稱為北方威尼斯。目前 Dordrecht 市人口約 11 萬 8

千人，大部份居住於約 6,944 公頃之低窪開拓地區。Dordrecht 市位於受潮汐及兩條主要河川(Rhine 河及 Meuse 河)水位影響之地區(圖 44)，此地區由長 37 公里之主要環形堤防(dike-ring)(圖 45)所保護。



圖 44 Dordrecht 市、Rhine 河及 Meuse 河位置圖

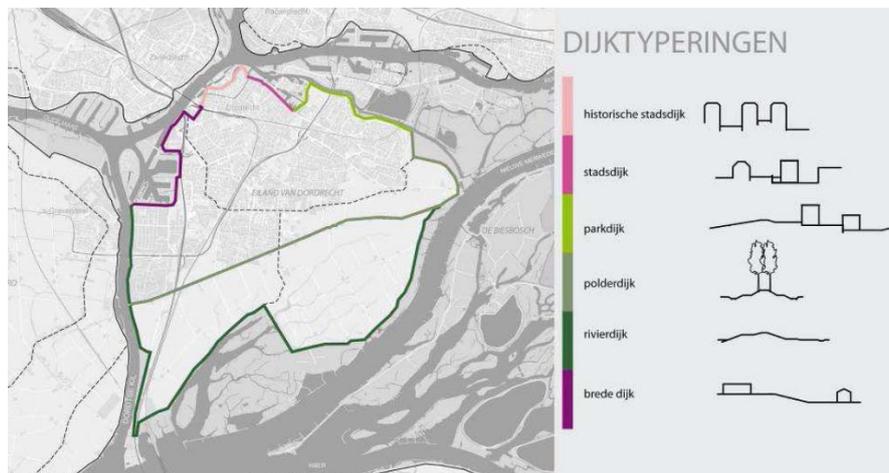


圖 45 Dordrecht 市之堤防位置及型式

緊臨水邊之 Dordrecht 市不但有其美麗景緻及經濟發展，也帶來洪水之不幸。此城市處處可見港口、標尺測量儀器及高洪水位標誌，真實反映該地區確實是一個臨水城市。

沿著狹長之港口可看到 16 座浮動碼頭(landing stage)座落於狹窄小巷口附近，此小巷可能導致洪水流入城市。為何到處可見此小巷口 stages 呢？係因其是用來運輸商品之進出所致。此缺口亦是 Dordrecht 市潛藏淹水風險之地點(圖 46 及圖 47)，且浮動碼頭之興建反映了在天氣威脅下高水由港流入城市之特殊因應景象。在 1916 年洪災後，市政府決定採用由厚板(plank)製成之防洪板(flood barriers)來因應。由於無法再找到更好之方法來阻擋外水，此概念迄今仍採用惟做一些小修正。這些厚板已被金屬門(steel portal)所取代，厚板亦可稱為洪水閘門(flood gate)。近年來，防洪板已被暫置於城市之特定地點，除非在遇到高潮水位之威脅時才會拿來使用(圖 48)。這些防洪門系統未來仍會保留，除非水管理委員會(water board)和 Dordrecht 市找到更好之方法。Dordrecht 市目前仍有淹水之風險，潮汐水位與發生機率可以參見圖 49。Dordrecht 市的水資源管理方面分為三層(圖 50)，第一層為政策性保護、第二層為永續空間規劃、第三層為系統化及永續化以減災。



圖 46 小巷擋水板固定插槽(上方為較低臨河川處)



圖 47 房子背水面小型擋水板固定槽構造圖



圖 48 防洪板施作照片

Understanding flood risks in Dordrecht

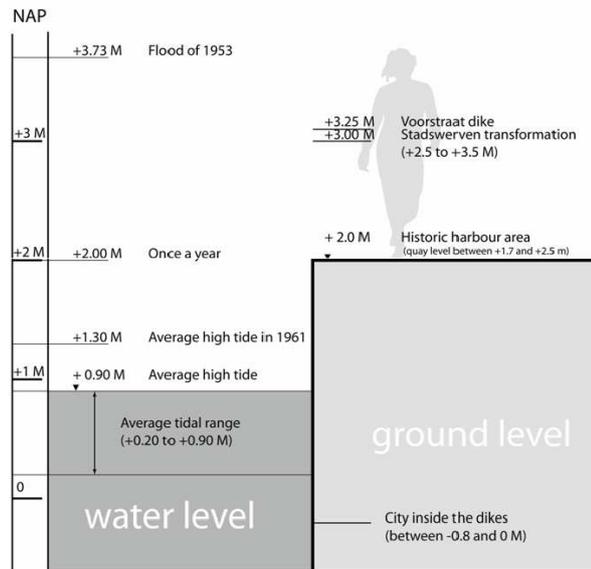
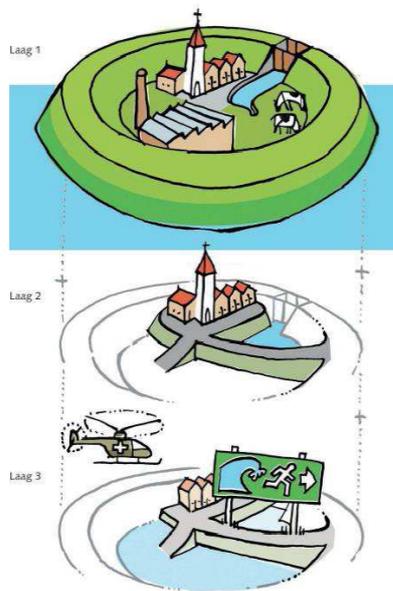


圖 49 Dordrecht 市不同頻率之對應潮汐水位



Multi layer safety

圖 50 三層級洪水防護示意圖

第三章 專題分組報告

3-1 各國水資源與氣候變遷議題分組報告

本課程必須實施分組報告作業，由講師依學員(共 19 名)國家位置指定分組成員(每組 2~3 人)，就是否已注意自己國家氣候上的改變？對於水資源的衝擊？及未來將如何變化且影響水資源利用？等方向思考。由於本次台灣共有 2 人參訓，因此本組外加來自印尼學員 1 人，報告內容需整合比較 2 個國家資料，所以以「台灣及印尼於氣候變遷下水資源運用 Climate Change in Water Resources of Taiwan and Indonesia」為方向，準備 10 分鐘之簡報與同學分享(參閱附錄 1)，並撰寫論文報告(以 2 頁為限，參閱附錄 2)。該課程藉由分組討論的過程，了解不同國家水資源所面臨的問題及解決對策等，以下則整理各分組報告內容，對於日後經驗交流及分享有所助益。

(一)、東非地區之氣候變遷經驗分享(坦尚尼亞、烏干達)

目前對於氣象預報大都以通用循環模式(GCMs)為基本，在東非地區，依該模式推估結果認為在 21 世紀降雨量將有增加趨勢。以該地區降雨形式來看，高地地區降雨量將增加，而低地可能變得更乾燥。例如：烏干達牛廊(cattle corridor)是非常重要地區，由於當地發生缺水的機率高，牧人間常因牛群侵入相鄰農人的土地吃草或喝水，引起激烈的爭執。

截至目前為止，在東亞地區發現的氣候及環境的改變，包括：1.維多利亞湖(介於坦尚尼亞，肯亞和烏干達間，圖 51)水位下降：維多利亞湖蓄水量的減少，已導致

發電量下降，由於這世界第二大湖的淺化以及緩坡降，海岸線已撤退約 50 公尺，進而影響航運和捕撈漁業。2. 海平面上升：證據顯示，海平面的上升已造成坦尚尼亞及肯亞部分海岸沖蝕，威脅著鄰近島嶼，例如桑吉巴爾 Unguja 島北端的 Ras Nungwi 100 公尺長的海灘和椰子園已經消失。3. 降雨量增加：造成很多地區發生洪水事件，並且對農作物造成損失，此外亦造成土壤沖蝕、交通運輸及基礎設施的破壞。4. 乾旱頻率增加。5. 吉力馬扎羅山 (Mt. Kilimanjaro) 的冰帽消退。6. 最高與最低溫度有增加的趨勢。



圖 51 維多利亞湖位置

進而對水資源的衝擊有：1. 乾旱造成河川流量減少，湖泊水位下降，井水乾涸。2. 人口增加造成供水壓力，進而向豐水地區遷移。3. 沿著河岸灌溉及工業行為的增加，相對造成水質污染。4. 海平面上升，導致沿海地區海水入侵。5. 由於城市化、工業化及貧乏土地利用等，使水資源減少。整體而言，農業在東非地區是主要的土地使用和謀生工具，然而也是用水量最大宗。由於人口日益增多、持續乾旱、不穩定降雨及極端天氣事件等，伴隨著食物產量和森林開採和生物多樣性不斷增加，如此使得地面水及地下水(包括濕地生態系統)相互之間的穩定面臨危

機。未來在全球氣候變遷下，水資源如何分配(人類直接使用優先或需考量生態系統用水-基流量)將會是一大挑戰。

(二)、氣候變遷及綜合性水資源管理經驗(南非、奈及利亞)

依據過去經驗來看，非洲地區直接影響生命的兩個主要因素為：供水和生物多樣性。因此在簡短報告中整合氣候變化對奈及利亞東北方的查德湖(圖52)影響及南非地區生物多樣性的消滅。

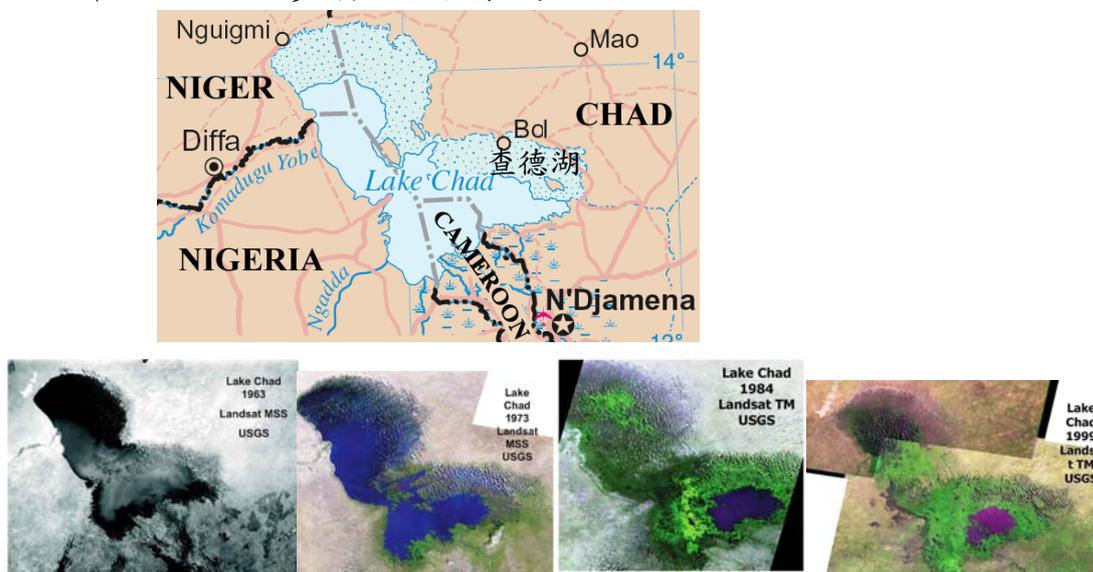


圖 52 查德湖位置及面積變化

地球就像是一個系統。假如系統的一零件受影響，整個系統也會被影響(蝴蝶效應)。由於氣候的改變，非洲地區生物多樣性正面臨許多挑戰。一些濕地和湖泊(查德湖)乾涸，以致大部分的水產種類受影響。生物多樣性(Biodiversity)是維持生態系統功能關鍵角色，在南非也一樣。這個關鍵因子若擾動，將改變大多數生物群落和地貌。薩瓦納、熱帶森林、珊瑚礁、淡水棲息地、濕地等東非生態系統都處於險境，也一併影響非洲社經發展。氣候變化對非洲地區最廣泛和潛在破壞影響是在降雨的

頻率、強度和預測的變化。地區性降雨變化正影響可用水量及水質(藻華)，間接的導致農作物減少、食物短缺及魚種衰退(圖 53)，溫度的增加相對的生物需氧量(BOD)增加及使水生物種生長行為面臨挑戰。



圖 53 非洲漁民魚穫體型

至於開發中國家由於溫度和濕度上升，已經促使傳染病流行(包括瘧疾、登格熱和腦炎等)。由於這些傳染病的增加已經導致負面結果，例如：減少經濟生產力、增加醫療費用及稅賦。極端氣候事件發生頻率的增加(如：洪水或乾旱)，使得越來越多的開發中國家，需要時間來回復。很多國家無力去處理新增疾病負擔且問題愈來愈惡化，此外人口的膨脹亦使得公共衛生及醫療服務品質受影響。總之，對於氣候變遷最佳水資源管理方法則是朝向綜合性的水資源管理(IWRM)政策的實行。

(三)、尼羅河流域氣候變遷及未來衝擊(依索比亞、蘇丹、埃及)

IPCC 指出，全球平均溫度以 1990 年基準至 2100 年間可能上升 1.4~5.8°C，氣候改變對水資源的供給、可獲得量及需求等將有直接及間接衝擊，另外對制度、經濟及社會上亦造成影響，然而這衝擊是非線性的，尤其包括以下的改變：1.由於乾旱造成河川、湖泊及水庫入流減

少，其水位也隨之下降。2.東非地區因大範圍缺水造成供水量及作物產量減少。3.除了牲畜及灌溉用水需求外，人類用水量亦是首要關心的事。4.湖泊及河川蒸發率增加。5.湖泊的消失。

氣候和大多數非洲人生計間有巨大的關連。農業產值占國內生產總值(GDP)的 40% 並且提供 80% 東非人生存用，但是因為溫度增加及部分地區降雨減少，糧食安全已受到影響。未來對尼羅河流域(圖 54)的衝擊可能是 1.氣溫升高-導致需水量增加，可用水量減少。2.海平面上升及海水入侵。3.降雨量及降雨趨勢不確定。4.乾旱更加嚴重。5.部分地區流量增加導致水患。



圖 54 尼羅河流域位置

(四)、拉丁美洲氣候變遷及綜合性水資源管理(秘魯、宏都拉斯、美國)

整體來說，水在拉丁美洲來說是充足的且以鹽水(大西洋、太平洋和加勒比海)及淡水兩個形式存在，地面水部分則包括河川(如：亞馬遜河，世界最大河)及廣闊的濕地，此外，安第斯山脈(Andean)的冰河及哥倫比亞到阿根廷到智利間高地上季節性降雪亦為水源來源。

氣候變遷對水已造成影響及衝擊。暖化正引起變化且不可預測，進而導致洪水和乾旱發生頻率增加及強度增強。溫度上升同樣對山脈冰河造成嚴重負面影響。此外溫室效應有助於蒸發量增加，很多地區濕度也隨之增加，改變了降雨頻率和強度。以下則簡短說明對中南美洲的水資源的影響。

首先是聖嬰及反聖嬰循環加劇：以往在中南美洲大約每 5 年交替一次，近幾年發現，聖嬰及反聖嬰現象的強度增加，反聖嬰年乾旱持久且更嚴厲；聖嬰年洪水發生規模更大且持續時間更久。其次是安地斯山的冰河消退；世界約有 70 % 的熱帶冰河位在秘魯、厄瓜多爾和玻利維亞間之安第斯山脈。自 1978 年起安第斯山平均溫度變化為 0.34°C ，已超過全球的平均值 0.2°C ，因此，熱帶冰河正迅速融化(圖 55)。最後，依據目前觀測資料推估，拉丁美洲許多熱帶和亞熱帶地區，蒸發量逐漸增加，致使半乾旱地區擴大，更造成乾旱發生頻繁及產生更嚴重的氣象事件。



圖 55 熱帶冰河融化變化

未來的 10 年將可以看見位於南美洲太平洋海岸的乾旱區和中美洲馮塞卡海灣缺水機會增加，市區用水則仰賴冰雪的融化，工業用水缺乏將會是廣泛的趨勢。總之，

拉丁美洲算是水資源豐富的地區，只是空間和時間分布的不同，使得部分地區已有了用水壓力。而氣候變化將使得這用水壓力更加惡化，如：洪水和乾旱發生頻率和強度的增加，加速熱帶冰河的融化速度，並且造成都市和鄉村的水利基礎建設的壓力。

(五)、氣候變遷下阿爾及利亞水資源管理議題

阿爾及利亞位屬半乾旱和乾旱區域的地中海國家(圖56)，當地時常面臨的氣候極端事件包含：定期的乾旱、持久或時而嚴重的洪水、對於這些災難已造成經濟及社會發展的限制。這持續的問題直到70年代才發生，顯然是氣候變化下的主要徵象。並且這也是非常嚴肅的問題，尤其是未來水資源該如何應用？需深入研究探討並考量可能狀況及調適方案，透過運轉操作及情境分析等手段，以達到最佳化的綜合性水資源管理。

阿爾及利亞共區分成5個地區，且共有17條流域，全國潛在水量估計約172億立方公尺，其中100億立方公尺屬地面水，24億立方公尺位於北部地區地下水，另外50億立方公尺則存於撒哈拉沙漠地區。



圖56 阿爾及利亞位置

至於參與聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)策略包含：1.規章及制度方面：建立水基本法。2.人民對節水

意識的體認：透過目標建立(如每人每日用水量)及用水人教育訓練，鼓勵節約用水。3.脆弱度及調適能力：由於降雨量減少(約30%)，影響水庫入流及地下水補助量，造成環境衝擊等，因此需重新訂定因應策略及機制，包括水土保持、涵養水量、植樹及流域管理等。4.教育及技術移轉：增加以氣候變遷為主題的研討會議(訊息和經驗的交換)，並包括世界各國遭遇問題。另國家的水資源局需負責蒐集氣候變化基本資料及不斷更新。5.進行水資源於氣候變遷下相關影響的研究。

總之，阿爾及利亞的持久乾旱從 1970 年起已是一個不爭的事實。對於水資源的匱乏及用水量的增加，則不得不尋求新水源，包括海水淡化等。

(六)、南亞地區地區性的氣候變遷及水資源衝擊(尼泊爾、印度及孟加拉)

對於南亞地區國家(圖 57)，特別是孟加拉、印度及尼泊爾，氣候的改變已經造成深遠的影響，例如：低窪或沿海地區淹沒、喜馬拉亞雅山的冰河融化，威脅著大多數重要河川的流量，也使當地數百萬以上的居民面臨著原水供應、鹽化、生態系統等問題及挑戰，此外它雖是地區性的問題但也可能引發全球問題。



圖 57 南亞地區國家位置

孟加拉被世界各國承認是全球暖化及氣候變遷下最易脆弱且影響的國家之一，這由於它獨特的地理位置、洪水平原及低海拔、高貧困水準等，以及對大自然壓倒性的依賴。由於它亦是氣候變遷下被嚴重影響的國家中排名第一，如：海平面、溫度和蒸發量逐漸增加，降雨量改變及排水不良等。此外，淡水可用水量減少，地形成長過程的擾動和洪水等災難。除孟加拉外，印度也是世界上最脆弱的國家。整個氣候區域分佈從喜馬拉雅山到印度南部的潮濕亞熱帶內，海岸線長 5,700 公里，印度完全暴露於全球暖化的危險之下。整個國家的平均溫度經預測從 1970 年代起至少提高 1.7°C，依據農業專家估計，每上升 1°C，小麥的生長期減少一周。降雨量估計會增加且伴隨著更大的洪水或乾旱，這是小農夫最為關心的事。

海平面每年正以 1.33 毫米上升中，且上升比例可能增加且超過聯合國科學家的預測值。研究指出，海平面上升 1 米高，將造成 700 萬人口遷移、威脅淡水供應及工業和基礎設施的集中。世界銀行認為，5 億人口居住地點易受颶風侵襲，雖預估發生頻率會降低，但是在強度方面卻會增加。此外，更多焦點在喜馬拉雅山脈的冰河的撤退，因為這是印度 3 條主要的河的發源地。

氣候改變造成洪水及乾旱等災難發生頻率增加，尼泊爾在過去十年，災害損失越形明顯、可耕地因洪水沖蝕而流失、不穩定的季風及缺水乾旱事件；由於這些改變造成更大的危險，常常意外的影響環境及社會經濟發展(包括：農業和食品安全、生物多樣性、水資源、能源、

人類健康及淡水生態系統...)。重要的季節改變已變得明顯，例如夏季時期，溫度一年一年增加，但到冬季冷度卻減少(暖冬)，因此，農夫被迫利用地下水做為灌溉需求，也造成地下水非法利用，而不用提的是夏季時需大量的飲用水等，另外水利發電、工業發展、居民健康(新疾病產生如：登革熱及瘧疾等)亦被影響，逐漸地世界各地生物因子正改變，作物產量也正減少，連同海岸地區海洋生物也受影響。

總而言之，國家的政府人員正採取因應氣候變化下的因應策略及措施，主要包含：1.教育社會及人民對於氣候變化的意識及體認。2.農業方面，推廣低耗水而高產值的品種。3.在主要城市、小鎮和沿海村落做一些調適策略，例如：災害減少、洪水預測、堤防及防洪牆的興建等。4.道路兩旁野生生物和植物(森林)的保護。5.嚴禁塑膠製品的使用。6.推動開發中國家之國家級調適行動計畫(NAPAs)，避免成為脆弱地區。

(七)、庫德斯坦地區氣候變遷及水資源管理

庫德斯坦(Kurdistan)被土耳其、伊朗、伊拉克及敘利亞 4 個國家圍繞，人口數大約 500 萬人，面積約 80,000 平方公里。當地土地型態變化很大，從多山、深谷到平坦、乾燥和適合開墾的土地。如同當地地形一樣，氣候的變化也很大，從零度以下及覆蓋雪地的嚴寒冷冬到溫度高達 45~48°C 的乾燥夏季。雨季是從 10 月到翌年 4 月，降雨量每年約 300 公釐到 1000 公釐，全部地面水潛在量大約為 30 億立方公尺；其中 18 億立方公尺來自內地而

和 12 億立方公尺則來自相鄰的國家。地下水部分則大約有 19,000 口深井，每年可獲得水量約 2000 立方公尺。

目前世界各國已廣泛地相信，能源分佈的變化已經引起全球溫度升高並導致冰河融化、海平面上升、熱浪侵襲、颶風、乾旱、洪水、野火、疾病、遷移等。不管這些自然的變動，由日漸成長的證據來看，人類活動對於地球氣候的變化中扮演非常重要的角色。綜合過去近十年的氣候影響，包含 1. 季節長度：季節長度已在改變，有些縮短則有些延長。2. 氣候暖化，氣溫變高：大多數山上的冰河已撤退，冰柱數量和大小已降低。3. 降雨量的改變：部分地區相較以前，其降水量已減少。4. 塵暴：過去常常一年約發生 4~5 個塵暴。而目前發生頻率上升至每月 4-5 個，影響能見度及空氣品質等。5. 缺水：由於高溫及雨量減少，已有植物和農業用水缺乏的相關報導。隨著這些變化，大部分地區已經沙漠化並與伊拉克中心的沙漠區聯結。這也造成居住農村地區的人口向城市遷移。這些變化不僅影響人類行為而且造成一些地區物種消滅或遷移。

隨著人口增加及遷移、水力發電設施、灌溉需求及農路開墾等，已經導致集水區破壞及影響水質水量，此外也造成植被減少並伴隨著含水能力及可使用水量降低與水質污染。

因此，庫德斯坦的氣候像其他地區一樣已經被影響，進而造成該地區水資源變得不充足。由於飲用水及農業用水的受限已經影響村民，此外城鎮亦因限制用水也被影響，人類行為(例如：土耳其的底格里斯河和幼發

拉底河上游興建大壩)已大大的降低水量，伊朗政府於其國境內使河川改道，使能流入庫德斯坦地區水量減少。因此，政府與鄰國之間的水資源運用扮演重要角色。而且，流經庫德斯坦的地面水因氣候改變預計將會愈來愈少。

為了減少氣候變化對地區的影響，對於水資源運用已透過教育及媒體等多元化形式宣導(例如：灌溉方式改變-灑水器的使用)，為了控制農業用水水量，鼓勵農民實施『Good Agriculture Practice』以增加用水效率，興建水庫以攔蓄河流及收集逕流，推動植樹及綠建築、廢水回收、噴灌技術提昇以減少水量，以及成立作物產量增加及水資源管理技術提升之研究中心，且臨近國家間對於水管理應有共識。除此之外，為管控飲用水量成長，則可進行水管網更新、水量計設置、水控制系統興建及居民蓄水的認知。

最後，最佳化管理包含目標設定、行動計畫、調適策略及危機應變等，合理需用水量是要仔細考慮，包含目前需求及未來推估結果

(八)、臺灣及印尼於氣候變遷下水資源影響(台灣、印尼)

由於受限於報告內容僅 A4 大小 2 頁，所以在臺灣方面除介紹基本的地理環境、氣候條件及目前面臨的水資源問題外，並以 2009 年莫克颱風對水資源及水庫衝擊為例(含後續 6 年 540 億整治計畫內容及因應對策等)，參閱附錄 1 及 2(圖 58)。至於印尼方面氣候則趨於暖化，自 1900 年起每年平均溫度上升大約 0.3°C ，而 1961~1990 年間則平均上升 1°C ，另外在印尼西部每年平均降雨量有增加趨勢而東

部則為減少。因此隨著氣候條件改變影響季節轉換，如：豐水期變得更短而乾季變得更長，降雨強度增加等。因此，在農業方面則進行灌溉效率提昇、迴歸水及污水再利用、轉作(高價值低耗水作物)、滴灌、低耗能、灌溉系統利用及強化稻作系統(System Rice of Intensification, SRI)，但長時間而言，為適應氣候變遷必需進行綜合性水資源管理(IWRM)，像是民眾對水資源運用的體認、蓄水設施興建、供應面及需求面協調、地表水及地下水聯合運用、調整水庫操作規定、監控季節流量波動、灌溉及供水系統修復、集水區水土保持及植生等。簡單來說氣候變遷正威脅著水資源，過去經驗未必是有用的，未來仍必須做不同的調適來面對挑戰。

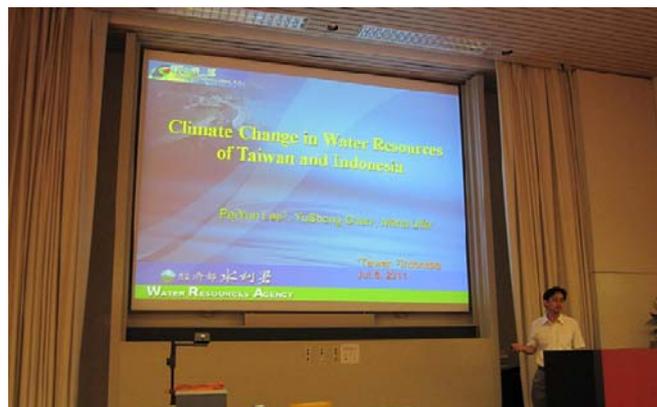


圖 58 臺灣代表進行水資源受氣候變遷影響簡報

3-2 WEAP 模式模擬成果報告

講師提供氣候共和國(Republic of Climateland)案例模擬之基本資料(圖 51~圖 54)，交由學員觀察模擬成果之溫度、降雨及蒸發散數據的長期趨勢變化，透過線性回歸趨勢之分析，初步可看出大部份資料均呈現隨時間增加之趨勢。另講師針對氣候變遷之架構下，由學員利用 IPCC 報告中 A2 及

A1b 兩個情境，自行假設氣候共和國裡都市及工業發展下，水資源調配如何滿足未來氣候變遷下之需求，並探討各項因應策略(如：都市水回收處理再利用、興建水庫)對增加水資源之影響。在完成模擬成果後，須上台進行簡報(參閱附錄 3)及詢答，另須繳交一份書面報告(參閱附錄 4)。

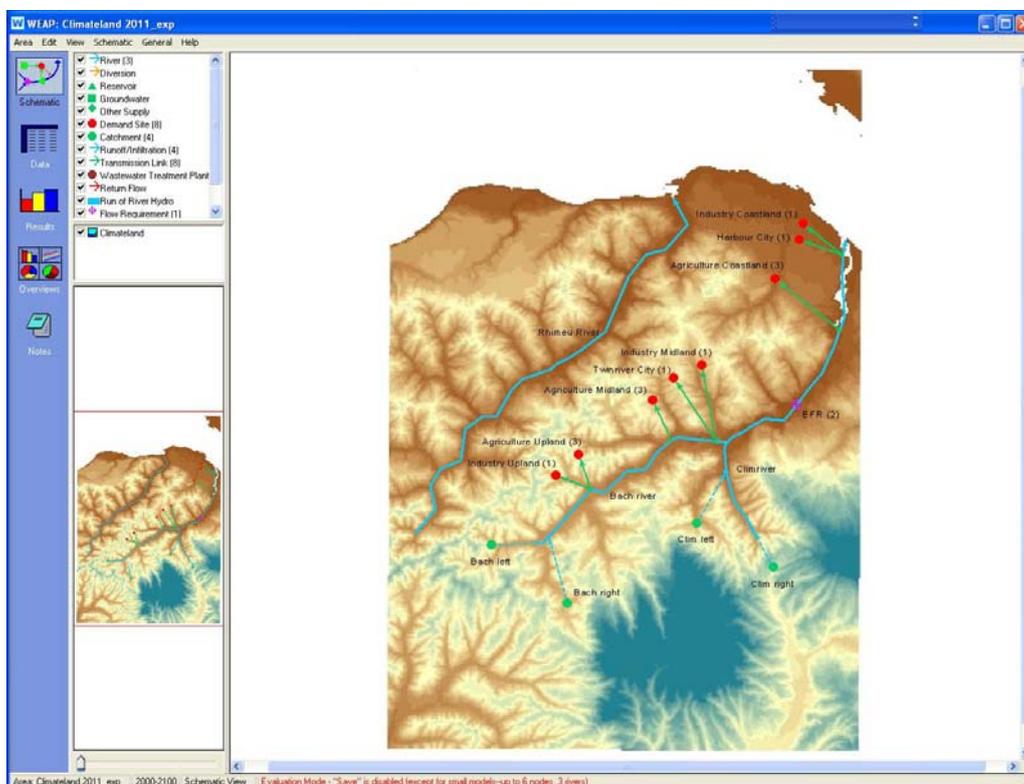


圖 59 氣候共和國之水資源配置

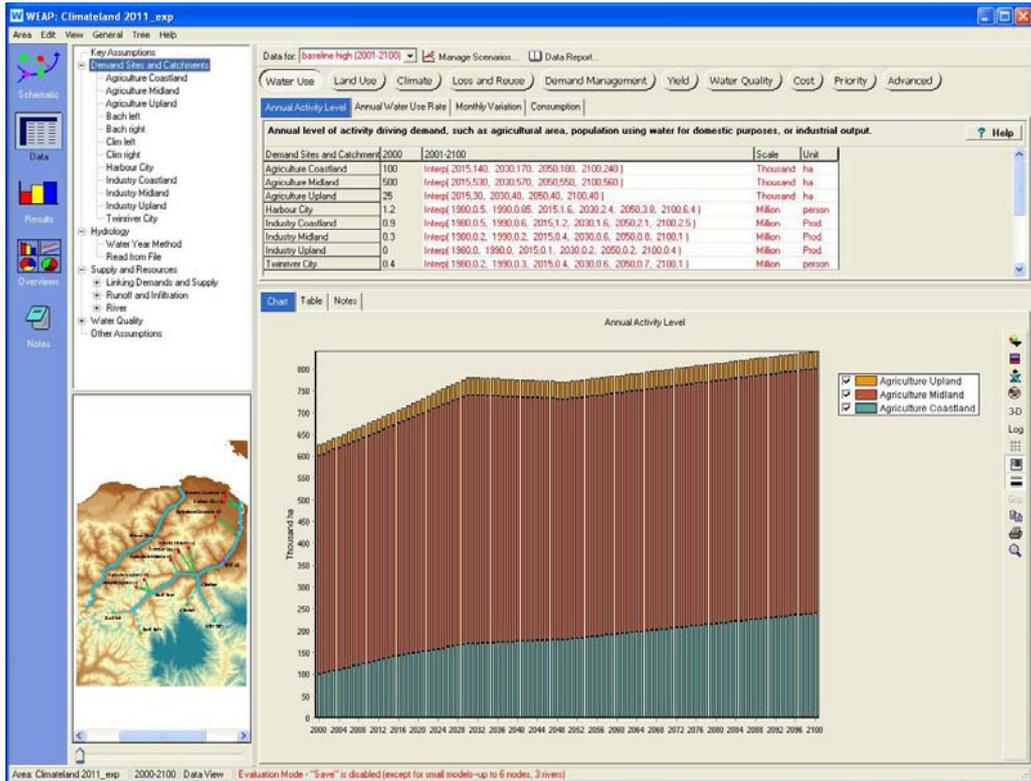


圖 60 氣候共和國之農業水資源配置

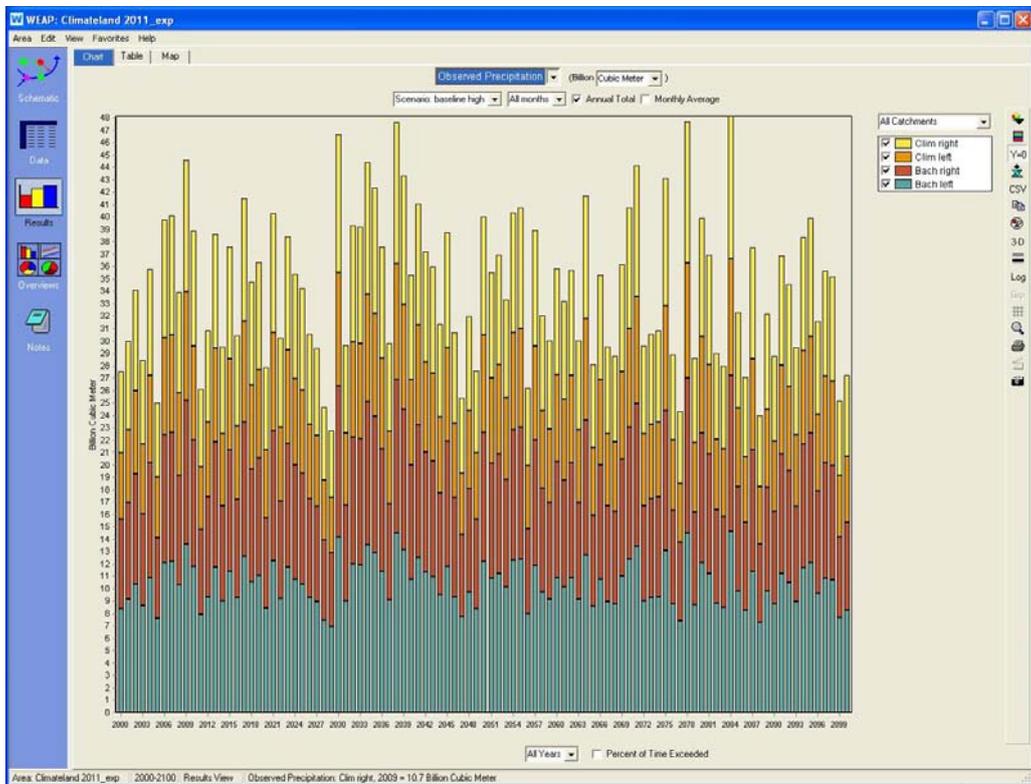


圖 61 氣候共和國之降雨量

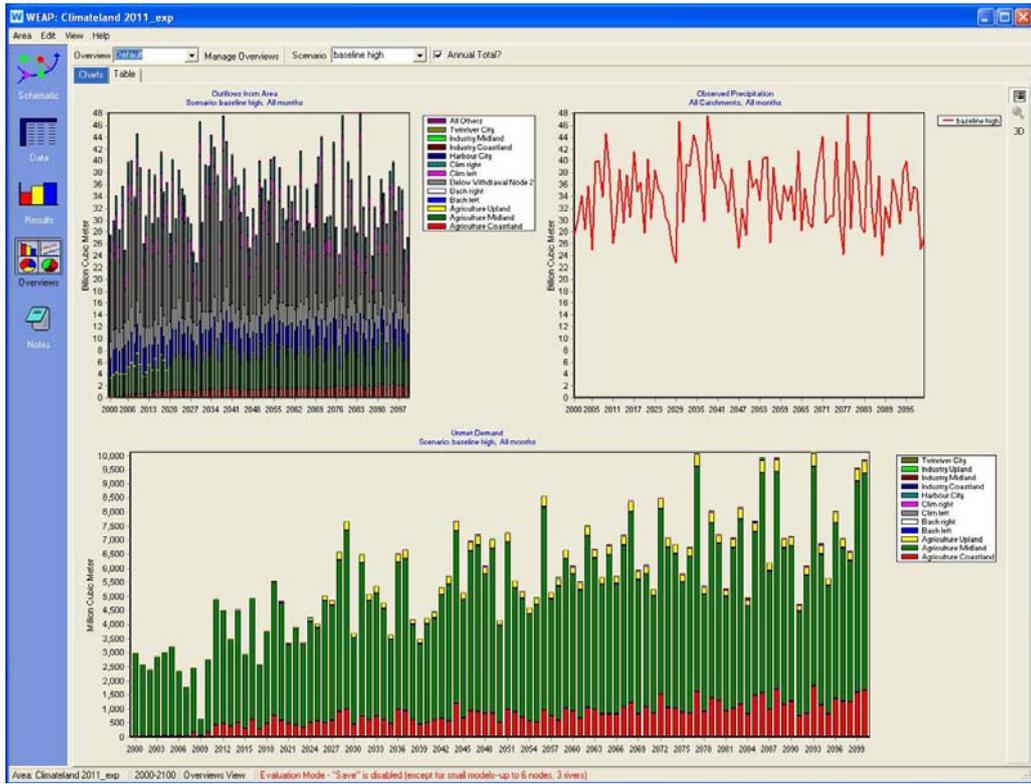


圖 62 氣候共和國之河川基流量

3-3 結訓典禮

本班學員在完成為期 3 週的課程後，終於取得結訓證書，短期課程最後一天與班導師及課程講師於在階梯教室合影留念(圖 55)。



圖 63 結訓團體照片

第四章 心得與建議

4-1 心得

1. 全球氣候變遷加劇之趨勢顯而易見，尤其在小尺度之局部地區特別明顯。世界各國在此刻已面臨不同之氣候變遷衝擊，如：洪水、乾旱、或旱澇同時發生等。台灣雖為四周環海之寶島，面積略小於位於歐洲大陸半面臨海低於海平面之荷蘭，然降雨強度及溫度上升在近年亦明顯影響居民的生活。
2. 台灣可興建水庫之適當地點有限，且兼顧開發環境保育及環境影響評估審查冗長之過程，可穩定供應水資源之新開發案不多。目前對現有水資源節流、減少水資源輸送過程損失、水資源合理分配等為台灣須著重之方向(加強管理面的推動)，惟氣候變遷加劇降雨強度及集水區沖刷，實為台灣目前急需面對之難題。
3. 南部重要水庫在經過 2009 年莫拉克颱風帶來高強度極端降雨事件後，集水區崩塌地面積及地點倍增，大量漂流木、砂土進入庫區造成水庫安全之危機及水資源穩定供應之挑戰。隨後制定特別條例且通過「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」，期藉由六年(2010-2015 年)期間改善水庫防淤效率及穩定水源供應。然氣候變遷之時間尺度非如此短暫，宜有更長期(十年以上)之宏觀觀點進行整體方針擬定，並定期檢討修正，以符水資源策略實際需求。
4. 目前台灣已公布縣市淹水潛勢圖，後續宜加強洪災風險圖繪製及洪災風險管理計畫研擬，俾減少洪災對居民生命財

產衝擊。

4-2 建議

1. 氣候變遷為國際上熱門關心議題之一，建議持續參與此項課程，俾利加強國內水利人才全球化視野及吸收國際新知所需之語言能力。
2. 台灣面積雖僅3萬6千平方公里，但經常同時面臨複合型災害之機會很高，也具有很多防洪治水及抗旱的經驗。建議未來可仿照荷蘭教授國際課程之經驗，建立本土長期水文、災害等資料庫並分析其成因，以奠定作為未來經驗傳承與開授國際課程之基礎。



參考文獻

1. 經濟部水利署，歐盟氣候變遷國際合作計畫，民國 100 年 2 月。
2. 經濟部水利署，曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫宣導網站，<http://ssp.wra.gov.tw/default.asp>。
3. 經濟部水利署，縣(市)政府水情中心建置計畫之研究-水災保全計畫，<http://www.dprc.ncku.edu.tw/download/>。
4. Berry Gersonius, William Veerbeek, Abdus Subhan, Karin Stone and Chris Zevenbergen, (2011), Local Sustainability, Volume 1, Part 4, 273-282.

附錄 1、氣候變遷對水資源影響分組簡報

經濟部 Economic Affairs, R.O.C.

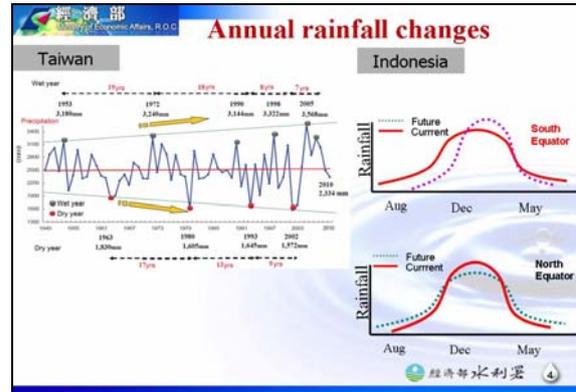
Climate Change in Water Resources of Taiwan and Indonesia

PeiYun Lee¹, YuSheng Chen², Maria Ulfa²

¹Taiwan (Water Resources Agency)
²Indonesia

Jul. 8, 2011

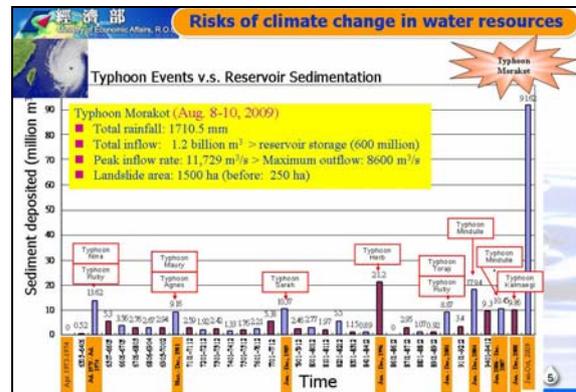
經濟部 水利署
WATER RESOURCES AGENCY



Outline

- 1 Introduction
- 2 Observation of climate change
- 3 Risks of climate change in water resources
- 4 Adaptation
- 5 Concluding remarks

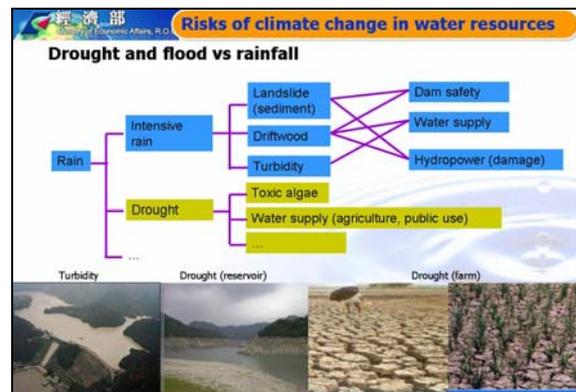
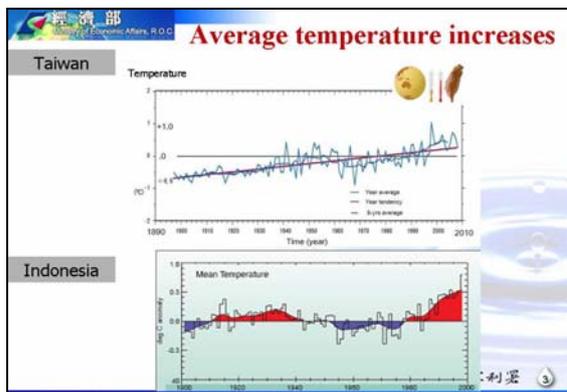
經濟部 水利署



Risks of climate change in water resources

Reservoir's severe problems caused by intensive rainfall

- Basin – Landslide**
- Upstream Rivers -- sediment & wood**
- Intake facility (near dam) – Driftwood & sediment deposited**
- Influence: water supply & safety**



Mitigation & Adaption – Agriculture in Indonesia

Mitigation :
 e.g.: System Rice of Intensification (SRI) : a technique that is able to increase rice productivity in a way change crop management, soil, water and nutrients.

Adaption:
 e.g.: Integrated Water Resources Management, such as: public awareness, water & soil conservation, coordination, additional/construction of artificial lakes, change operating rule of reservoirs, maintaining the existing major dams and reservoir, integrated information system management, spabal management, etc.

經濟部水利署 8

Adaptation – Case study on Tsengwen Reservoir

Age>37yrs

經濟部水利署

Concluding remarks

Taiwan and Indonesia are suffering from climate change threats to water resources, and work hard to find and study adaption strategies.

Experience from the past could not always be useful and need to make a difference to adapt future challenge.

經濟部水利署 10

附錄 2、氣候變遷對水資源影響分組報告

Climate Change in Water Resources of Taiwan and Indonesia

PeiYun Lee, YuSheng Chen, Maria Ulfa

Taiwan

Indonesia

Introduction

Taiwan locates near the southeastern coast of China, across the Taiwan Strait, and has an area of about 36,000 km². It is characterized by the one-third plain and the eastern two-thirds mountains and hills. Most water resources are from precipitation brought by typhoons and stored by dams. With steep terrain and excessive rainfall, the most severe disaster in Taiwan is flood caused by typhoons and storms in summer season with concentrated intensive rainfall and rapid flows. The average precipitation is 2500 mm/year. By contrast to rivers around the world, the rivers in Taiwan have the steepest slope, the largest discharge per unit drainage area, as well as the shortest flood peaking time. For example, it often reaches its peak flow within 10~30 hours.

Indonesia is located between the continent of Asia and Australia, and passes the Equator, consists of islands. The islands stretched from west to east, with many strait and bays. This geographic condition makes both countries prone to the climate change. Indonesian's climate is affected by three regional that influence Indonesian's climate, they are: a. Monsoon Circulation between Asia and Australia, b. Inter Tropical convergence zone, and c. Regional sea temperature. So, there can be different weather in each part of Indonesia. The west side of Indonesia tends to be having more rainfall than the east side. The west side has the average of 2000-4000 mm/year and the east side can be 500-1000 mm/year.

Observation of climate change

The average temperature increases at least 1°C in Taiwan from 1890 to 2009. The tendency of temperature goes up with time. According to rainfall data from 1949 to 2010, the annual precipitation increases 400 mm, but the period between two peak rainfalls become short. For annual precipitation distribution change, it is observed that more heavy rain falls in the flood period and less rainfall falls in the dry period in Taiwan after 1999.

The climate in Indonesia has become warmer during the 20th century. The annual average temperature has increased about 0.3 °C since 1900. The temperature in 1990's is the warmest in this century and the year 1998 is the warmest year, almost 1 °C above the average in the year 1961-1990. There is also increasing trend of average annual rainfall (490-1,400 mm/yr) in the west of Indonesia, and in the contrary in the east, decreasing trend of average annual rainfall (860 mm/yr) and decreasing midday temperature (0.2-0.4 °C) and night temperature (0.2-0.7 °C). The climate change also affects on the season's transformation where the wet season becomes shorter and the dry season becomes longer, and causes the extreme event on the rainfall.

Risks of climate change in water resources

In both countries, the storage volume of dams becomes gradually limited due to great

amount of sediment coming from basins after heavy rainfall. Dams might collapse due to inflow is over its releasing capacity after high intensive rainfall. In downstream rivers, the flood possibility might increase after urgent releasing water by dams. Also, limited storage volume of reservoirs cannot store enough water for annual use.

In Indonesia, the increasing of drought event caused by the climate change, will impact in many cases, especially in agriculture, because agriculture consume approximately 81.4% of used water that is 127.6 billion m³/yr. It will decrease cropping intensity and declining productivity in particular rice cultivation. Finally it will threaten the national food production, and Indonesian economic condition. Thus, some adaptation work has to be done.

Adaptation and mitigation in Indonesia

Things that have done in Indonesia to mitigate climate change in agriculture's sector are: irrigation timing and efficiency, drainage re-use, use of wastewater effluent, high value/low water use crops, drip, micro-spray, low energy, precision application irrigation system, salt-tolerant crops that can use drain water, and System Rice of Intensification (SRI) But in the long term, to be adapted to the climate change Indonesia must integrate the agriculture sector with the water and human sector, so there can be an Integrated Water Resources Management, such as: public awareness, water conservation, coordination demand/supply, additional/construction of reservoirs/storage, use conjunctive surface/groundwater supply, change operating rule of reservoirs, controlling the seasonal discharge fluctuation by constructing and or maintaining the existing major dams and reservoir, rehabilitations of existing irrigation system and water supply distribution systems, rehabilitation of function of upper watershed by vegetative and hydrology restoration.

Plans for renovation of the biggest two reservoirs in Taiwan

We are performing two great plans in two big reservoirs, including the first plan (Shimen Reservoir) implementing from 2006 to 2011 with budget US\$ 1 billion and the second plan (Tsengwen Reservoir) implementing from 2009 to 2014 with Budget US\$ 2 billion. It is hoped to maintain the reservoir's capacity to store water and prevent flood to downstream rivers.

- (1) Basin preservation, improvement, management, monitoring
- (2) Reservoir facility rehabilitation improvement, driftwood removal, flood prevention, siltation prevention, sediment survey & planning for long-term strategy, etc.
- (3) Enhancement of transfer & back-up systems, such as rehabilitation of purification plant, expansion & replacement of downstream pipeline, groundwater use.
- (4) Development of new water resources, such as reuse of wastewater after treatment, rehabilitation of deep wells, and building a manmade lake.

Concluding Remarks

Taiwan and Indonesia are suffering from climate change threats to water resources, and work hard to find and study adaption strategies. Experience from the past could not always be useful and need to make a difference to adapt future challenge.

附錄 3、WEAP 情境模擬成果簡報

Water Management Plan for Climateland

Options under A1b and A2 High-Development Scenarios

July 22, 2011

Unmet water demand can be reduced by changes in agriculture policy, investment in water infrastructure, and other policy changes

July 22, 2011

Problem: Rising Temperatures, More Water Stress Due to Climate Change 2001-2100

A1b Scenario	A2 Scenario
<ul style="list-style-type: none"> Temperature ↑ 5.04°C (from 15.28°C to 20.32°C) Precipitation ↓ 0.11 mm (from 129.30mm to 129.19mm) Evapotranspiration ↑ 16.44 mm (from 65.45mm to 81.89mm) 	<ul style="list-style-type: none"> Temperature ↑ 4.56°C (from 15.48°C to 20.03°C) Precipitation ↓ 7.2 mm (from 123.62mm to 116.42mm) Evapotranspiration ↑ 11.04 mm (from 67.7mm to 78.74mm)

July 22, 2011

Organization and Approach

- 2 groups: A1b and A2 Scenarios
- Groups combined to agree on single set of policy recommendations for both scenarios
- In absence of data on current GNP, we assume that the economy is rapidly developing and will allow investment in a moderate number of infrastructure projects. Our plan thus focuses only on High Development scenarios.
- We considered demands from various sectors including Agriculture, Urban Demand, Energy, Transportation, and Ecosystem.

July 22, 2011

Unmet water demand is primarily in agriculture sector

A1b Scenario	A2 Scenario

July 22, 2011

Key Positions

- Maintain navigability of River Bach as negotiating point with Sultanate.
- Maintain EFR of 30% to preserve healthy ecosystem/buffer zones.
- Prioritization: 1. Human consumption (urban demand), 2. agriculture, 3. energy, 4. industry, 5. transport

July 22, 2011

Supply and Demand Sites for Climateland

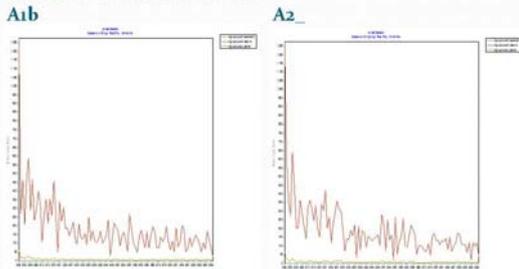
July 22, 2011

Agricultural Demand

- Climateland's major crop, rice, is sensitive to drought.
- Agriculture is the single largest factor in unmet water demand in 2001-2100 period.
- To reduce unmet demand, we recommend the following:
 - Build 1 reservoir (1,200 million cubic meter capacity) to increase water supply for Midland Agriculture
 - Scenario 1: Intensified rice production: lower total area under cultivation, but with higher yields and lower water demand (3,200 m³/ha)
 - Scenario 2: Crop diversification: 10 different crops with different water demands (4,000-6,500 m³/ha), introducing crops in coastal area with higher salinity tolerance

July 22, 2011

Unmet Water Demand, Agriculture Sector Rice-Intensive Scenarios



July 22, 2011

9

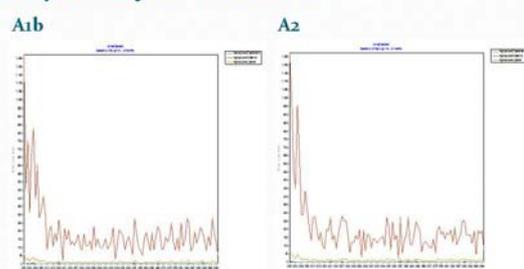
Wastewater Treatment

- Our budget assumption is that we cannot ensure 100% wastewater treatment. Thus we recommend the following:
 - Build 1 treatment plant in midland region for Twin River City (to avoid down-river contamination), with 95% reuse and 5% loss
 - Regulate industries to ensure that they have their own ETPs (effluent treatment plants)
 - Build stabilization ponds for domestic wastewater treatment in places where cost constraints prevent construction of treatment plants, including Harbor City
 - Bring more urban wastewater treatment plants on line in future years as resources allow

July 22, 2011

13

Unmet Water Demand Agriculture, Crop Diversification Scenario



July 22, 2011

10

Energy Demand

- Our current energy source is primarily coal-based. This generates GHG and ultimately exacerbates global warming, with negative consequences for water supply.
- We recommend the following:
 - Install hydroelectric plant on Clim River to power midland industries
 - Consider medium-term switch to non-hydro renewables, including wind turbines, biogas, and tidal energy generation, for coastal areas including Harbor City

July 22, 2011

14

Agriculture: Policy Considerations

- Rice-intensive policy entails lower water demand, but has disadvantage of over-reliance on single crop
- Crop-diversification policy has higher water demand than rice-only policy, but advantages in terms of market risk and food security
- It is impossible to eliminate all water stress under realistic scenarios. Ultimately, government may want to prioritize growth in industry and service sectors over agriculture.

July 22, 2011

11

Transportation Demand

- Navigability of the Bach River is essential to (a) trade (domestic and international), and (b) access to the ocean by our neighboring Sultanate (which provides us with a valuable negotiating tool).
- Our EFR rate is estimated to preserve minimum water depth for river navigation for about 70% of the time.
- Due to seasonal variability in streamflow, it may not be possible to maintain navigability during August-October, even with minimum EFR.

July 22, 2011

15

Urban and Industrial Demand

- Under both scenarios, water demand is satisfied for both cities and industries.
- If desired, Climateland could increase supply for agriculture by satisfying urban/industrial demand through:
 - Groundwater extraction
 - Desalination
 - Rainwater harvesting

July 22, 2011

12

Ecosystem Demand

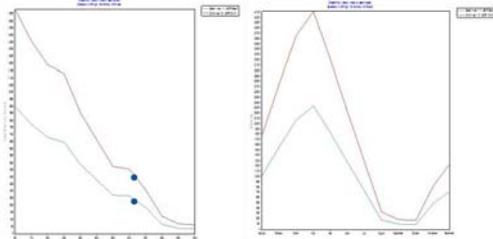
- Mangroves are essential to defending coastal area against sea level rise, salt-water intrusion, and coastal erosion. Currently mangroves are under stress from habitat loss and aquaculture.
- We recommend the following measures:
 - Preserve minimum EFR of 30% (see next slides)
 - Implement policies against further development in coastal/mangrove areas
 - Become signatory to Ramsar Convention on Wetlands
 - Eliminate fish farming in mangroves (=> increase in ocean fish stocks, to benefit of ocean fishing industry)
 - Use mangroves to generate funding through PES (Payment for Ecosystem Services) or carbon offsetting

July 22, 2011

16

Bach EFR and Clim EFR Flows

Average Streamflow CMS Monthly Variation



July 22, 2011

17

Summary

- It is impossible to fully meet all demands given current assumptions. While our recommendations are successful in ensuring urban and industrial demand are met, and reducing unmet demand for agriculture, the agriculture sector will still have some unmet needs.
- Ultimately the Government may wish to give more priority in economic development plans to industry/service sectors, than to agriculture.

July 22, 2011

21

EFR Bach and Clim Rivers

- Due to seasonal variability, minimum EFR ranges from 2.2 CMS to 598.2 CMS for Bach River and 9.6 CMS to 1,044.2 CMS for Clim River (A1b scenario).
- While this may be sufficient to preserve minimum ecosystem demands, it may not be sufficient to allow navigability during dry season (August-October).

July 22, 2011

18

Summary

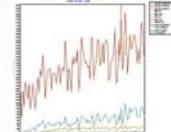
- Climate change will cause water stress, particularly for agriculture
- To address this, we propose a package of interventions including (1) reservoir construction, (2) hydropower plant, (3) wastewater treatment and reuse, (4) agricultural policy reform, and (5) a priority on maintaining minimum stream flow for ecosystem health and navigation.

July 22, 2011

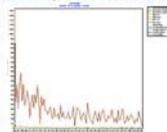
19

Comparison of Unmet Water Demand before and after Interventions

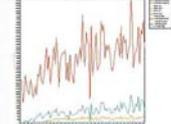
A1b Scenario (Base line)



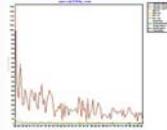
A1b Scenario (With Interventions)



A2 Scenario (Base line)



A2 Scenario (With Interventions)



July 22, 2011

20

附錄 4、WEAP 情境模擬成果報告

IWRM as a tool for Climate Change adaptation Report on the Republic of Climateland

1. Introduction

Climate land is a small republic situated in the near tropics on the northern hemisphere. The coastline of the country contains the mouths of two transboundary rivers which are: Clim River and the Rhimeu River. The total country population is approximately 5 million inhabitants. A relatively large number of inhabitants are concentrated in the harbor city, but a significant amount of people live in the rural areas more upstream in the Clim River and its smaller tributary the river Bach. The rural population is mostly concentrated in smaller villages. Climateland is bordered in the north by the Ecosea, in the east by the Republic of Ecoland, and by the mountainous Sultanate of Ostro in the south.

2. Problem statement

Temperature fluctuations and more water stress due to climate change is the observed problem identified in both A1b and A2 scenarios. Under A1b scenario, the temperature is rising by 5.04°C which is from 15.28°C to 20.32°C . The increase in temperatures is leading to the decrease in precipitation by 0.11mm (from 129.30mm to 129.19mm) and an increase in evapotranspiration by 16.44mm (from 65.45mm to 81.89mm). Whereas in the A2 scenario, the temperature is rising by 4.56°C (from 15.48°C to 20.03°C), precipitation is decreasing by 7.2mm (from 123.62mm to 116.42mm) and evapotranspiration is increasing by 11.04mm (from 67.7mm to 78.74mm).

3. Organization

We worked on both A1b and A2 scenarios. The groups combined to produce a single set of comprehensive policy recommendations for both scenarios. In the absence of data on current GNP, we assume that the economy is rapidly developing and will allow investment in a moderate number of infrastructural projects. Thus, our plan focuses only on high development scenarios. Demands from various sectors including agriculture, urban water supply, energy, transportation and ecosystem were considered.

4. Approach, method and data

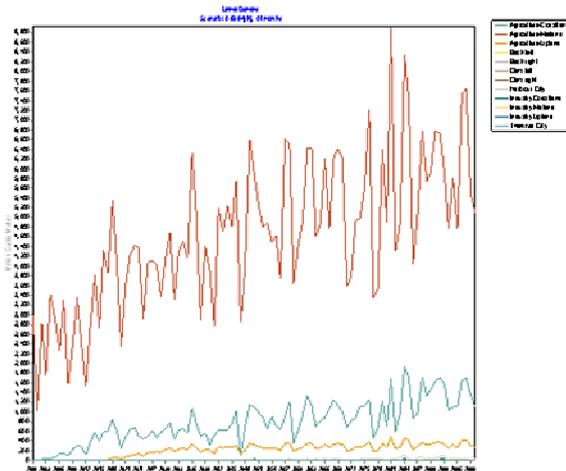
The group approached the task looking at Climateland water demands for the years 2001-2100 under the two climate change scenarios: A1b and A2. As mentioned above, due to a lack of economic data, we assumed that Climateland is in a high development growth scenario and thus ran our models using only a High Development filter. The group decided to maintain the navigability of river Bach as negotiation point with sultanate as well as preserving the healthy ecosystem by making the EFR 30% (Babu & Kumara, 2009).

4.1 Agriculture Demand

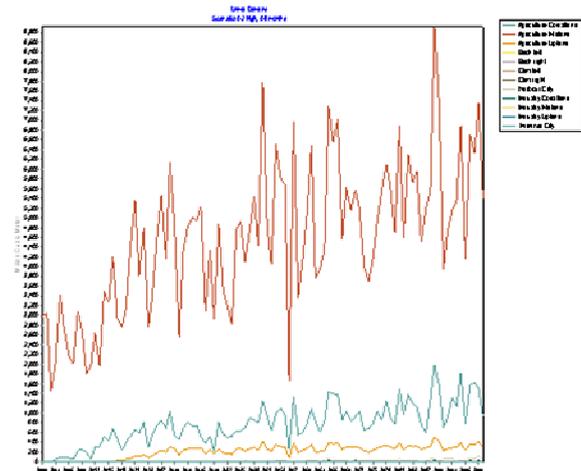
Agriculture is considered to be the single largest factor in unmet water demand in 2001-2100 period, as illustrated below:

Figure 1. Unmet Water Demand under A1b and A2 Scenarios

A1b Scenario



A2 Scenario



Climateland's major crop is rice, which is highly sensitive to drought.

To meet the water demand for the agriculture sector, the group has decided to:

- Build one reservoir with the capacity of 1,200MCM to increase water supply for Midland Agriculture
- Assume water reusage of 50%

We propose two agricultural scenarios for consideration by the Government of Climateland.

Scenario 1 is a modified business-as-usual approach, which foresees continued reliance on rice as the principal crop of the country. However, under this model, we assume the introduction of new rice varietals that require less water (3,200 c3/ha instead of 5,400 c3/ha) and that produce higher yields, thus allowing a reduction in total area dedicated to rice cultivation.

Scenario 2 envisions a new policy of crop diversification. Under this approach, we modeled a scenario in which there are 10 different crops in 3 different growing areas, with varying water requirements ranging from 4,000 to 6,500 c3/ha, as follows:

- *Uplands:* Rice (traditional varietal), millet, sorghum, beans
- *Midlands:* Wheat, maize, tomatoes, onions
- *Coast:* Sugar beets and potatoes (both introduced due to their tolerance for potential salinity)

Our analysis shows that both scenarios, when implemented in conjunction with the other

measures taken in this report, are successful in reducing unmet water demand to a negligible amount in both coastal and upland areas. There is still unmet demand in the Midlands, but to a much lesser degree. Scenario 1 (rice only) is slightly more effective at reducing unmet water demand than Scenario 2. However, the Government needs to weigh both scenarios not only against water usage criteria, but also economic and food security criteria. Taking these into account, Scenario 2 (diversified crop production) has the advantage over Scenario 1 of spreading economic risk (by not depending on a single crop) and of ensuring greater national food security.

4.2 Urban and Industrial Demand

Under both A1b and A2 scenarios, we are able to meet basic water demand for urban and industrial use. That said, the government could consider the following options (not included in our current model due to lack of adequate data) for supplying urban and industrial use:

- Groundwater extraction
- Desalination (for Harbor City and coastal industries)
- Rainwater harvesting

The adoption of any or all of these technologies, at sufficient scale, might free up water currently being taken from rivers for other uses, such as helping supply the unmet needs for midlands agriculture.

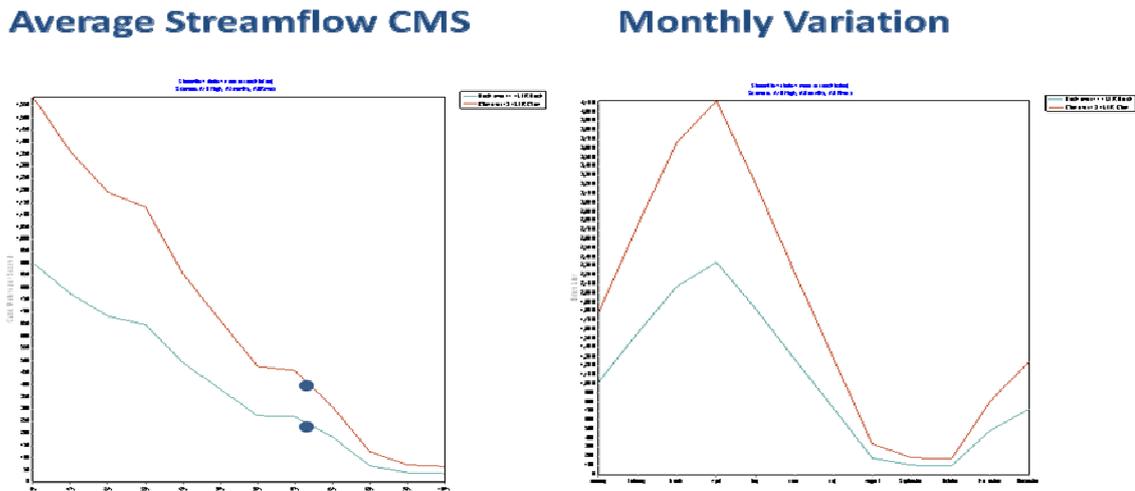
4.3 Ecosystem Demand

At present, mangroves are under stress from habitat loss and aquaculture. They are, furthermore, important for defending coastal area against sea level rise, salt water intrusion and coastal erosion. In order to preserve a healthy ecosystem, the group recommends that the Government:

- Preserve a minimum EFR of 30%
- Implement policies against further development in coastal/mangrove areas
- Become a signatory to the Ramsar Convention on Wetlands
- Eliminate fish farming in mangroves.
- Use mangroves to generate funding through PES (Payment for Ecosystem Services) or carbon offsetting

While eliminating fish farming in mangroves might have a short-term negative economic impact, over the short and medium term periods, however, doing so would provide both long term economic as well as environmental benefits, as healthier mangroves provide better spawning grounds for ocean fisheries, which remain an important contributor to the national economy.

Figure 2. Environmental flow rate for Clim and Bach rivers



Due to seasonal variability, minimum EFR ranges from 2.2 CMS to 598.2 CMS for Bach River and 9.6 CMS to 1,044.2 CMS for Clim River (A1b scenario, used for illustrative purposes).

While this may be sufficient to preserve minimum ecosystem demands, it may not be sufficient to allow navigability during dry season (August-October).

4.4 Energy Demand

Climateland's reliance on coal for its energy needs contributes to the generation of greenhouse gases that consequently exacerbate global warming, which in turn have an adverse effect on water resources. Consequently, we recommend the following:

- Install a hydroelectric plant to power midland industries (434 MCM storage capacity, 11.33 CMS minimum turbine flow, 47.58 CMS maximum turbine flow, 39.38 meter tailwater elevation)
- Consider medium-term switch to non-hydro renewables, including wind turbines, biogas, and tidal energy generation, for coastal areas including Harbor City

4.5 Transportation Demand

Since trade (domestic and international) and access to the ocean are the key elements for negotiation with the neighboring country (Sultanate), navigability was considered to be essential for the river Bach. In the absence of data on river depths, we assume that the EFR rate is sufficient to allow river navigation for about 70% of the time. However, due to seasonal variability in stream flow, it may not be possible to maintain navigability during August-October, even with the minimum EFR (Figure 2).

4.6 Wastewater Treatment

Our budget assumption is that we cannot ensure 100% wastewater treatment. Thus we recommend the following:

- Build 1 treatment plant in midland region for Twin River City (to avoid down-river contamination), with 95% reuse and 5% loss factors built into the model;
- Regulate industries to ensure that they have their own ETPs (effluent treatment plants);
- Build stabilization ponds for domestic wastewater treatment in places where cost constraints prevent construction of treatment plants, including Harbor City;
- Bring more urban wastewater treatment plants on line in future years as resources allow

Figure 3: Supply and Demand sites for climate land



5. Summary

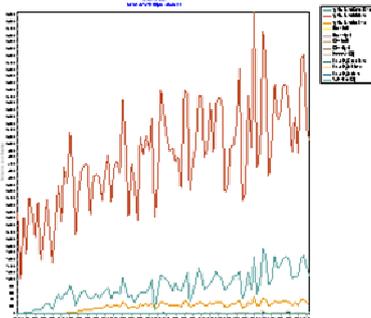
Climate change will cause water stress, particularly for agriculture. To address this, The group proposed a package of interventions including (1) reservoir construction, (2) hydropower plant, (3) wastewater treatment and reuse, (4) agricultural policy reform, and (5) a priority on maintaining minimum stream flow for ecosystem health and navigation.

If implemented, together these recommendations would allow the possibility of significantly reducing, if not completely eliminating, unmet water demand, as illustrated by the following "before" and "after" comparisons.

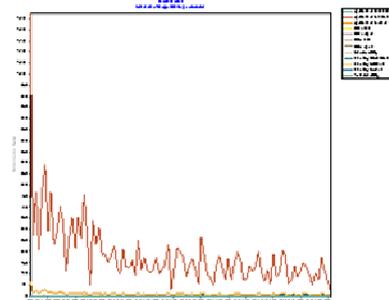
Figure 4.

Comparison of Unmet Water Demand before and after Interventions

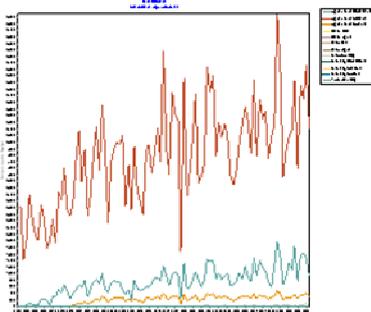
A1b Scenario (Base line)



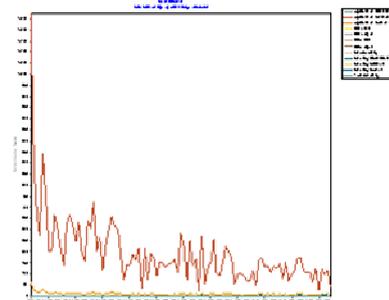
A1b Scenario (With Interventions)



A2 Scenario (Base line)



A2 Scenario (With Interventions)



It is impossible to fully meet all demands given current assumptions. While our recommendations are successful in ensuring urban and industrial demands are met, and reducing unmet demand for agriculture, the agriculture sector will still have some unmet needs. Ultimately, the Government may wish to give more priority in economic development plans to industry and service sectors, than to agriculture.

附錄 5、結訓證書

UNESCO-IHE
Institute for Water Education



CERTIFICATE

Short Course on Climate Change in Integrated Water Management

This is to certify that

Pei-yun Lee

born on 20 June 1970 in Tainan, Taiwan of China

has followed and successfully completed the short course on Climate Change in Integrated Water Management held at UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands from 04 July 2011 – 22 July 2011.



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



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

Delft, the Netherlands, 22 July 2011

CERTIFICATE

Short Course on Climate Change in Integrated Water Management

This is to certify that

Yu-Sheng Chen

born on 20 December 1974 in Kaohsiung, Taiwan of China

has followed and successfully completed the short course on Climate Change in Integrated Water Management held at UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands from 04 July 2011 – 22 July 2011.



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



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

Delft, the Netherlands, 22 July 2011