

出國報告(出國類別：實習)

「氣候變遷下綜合性水經營管理研習」  
出國報告書

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：科長蘇柄源

派赴國家：荷蘭

出國期間：九十八年九月五日至九月十九日

報告日期：九十八年十二月一日

系統識別號：C09803924

## 公務出國報告提要

出國報告名稱：「氣候變遷下綜合性水經營管理研習」

頁數 73 含附件：否

主辦機關：經濟部水利署

出國人員：經濟部水利署科長蘇柄源

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：民國九十八年九月五日至九月十九日

出國地區：荷蘭

報告日期：民國九十八年十二月一日

分類號/目：/CG0 水利與水資源/CGZ 其他 因應氣候變遷

關鍵詞：綜合性水經營管理、氣候變遷衝擊

## 摘要

本次出國赴荷蘭研習氣候變遷下之綜合性水經營管理課程，除了學習氣候變遷相關研究成果，從水資源、農業、文化、海岸地區、都市地區等方面，探討氣候變遷所帶來的的衝擊。現地參訪行程，對於河川下游城市，如何填築人工島增加土地利用，興築堤防當成道路並進行水位操作來避免淹水情形等，可作為低地水域土地利用規劃的參考。同時藉由案例模擬的方式，了解在氣候變遷情境下，二維 WEAP 程式如何進行水資源調配與管理；三維 DELFT 程式，如何分析海岸地區暴風雨侵襲期間，土壤鹽化、海水位高度等影響，可作為研謀解決對策之參考。

海平面上升已經是全球的問題，必須各國間通力合作才能有效率的解決。根據不同氣候變遷情境模擬的結果，未來 100 年溫室氣體效應將造成溫度上升 2.5~4.2°C。即使污染不再增加，反應仍持續 100 年，使溫度仍微幅上升約 0.4°C。溫度升高的結果，導致空氣中水的含量更高（7%/K），低強度的降雨頻率減少，極端降雨頻率增加。此外，乾旱發生頻率也將提高。

氣候變遷讓海岸地區面臨洪水威脅增加及地下水鹽化等問題，對農業的威脅主要為供水減少所導致農產量減少。氣候變遷對都市水循環系統衝擊，地下化結構遭受洪水的風險提

高，面對極端事件，我們必須有與風險共存的觀念，可採用洪災保險方式來分擔風險。

對於氣候變遷的預測，存在著相當程度的不確定性，可利用敏感性分析來處理。至於，水災風險管理政策可考慮洪災管理、稅制、補助金及保險政策及立法與政策制定等。對於易淹水地區，水災風險地圖相當重要，可作為土地利用計畫、洪災保險、水災防護及緊急應變計畫、市民及商業等用途使用。

我國在遭遇莫拉克颱風所造成之重損失後之後，必須更深刻體認極端氣候將持續發生，需藉由國土規劃法立法及各相關計畫執行等程序，增加非工程手段來減少災害程度。此外，減緩氣候變遷所帶來的衝擊，重新造林、碳權信用化、綜合土地利用及水的經營管理策略等是可以採行的措施。

# 目 錄

摘要 .....	ii
壹、緣起 .....	1
貳、行程 .....	2
參、課程內容摘錄 .....	4
一、「連結三角洲城市」影片介紹及心得.....	4
二、氣候變遷相關研究及氣候變遷對流域系統之衝擊.....	5
三、氣候變遷對海岸地區之衝擊.....	12
四、氣候變遷對農業之衝擊.....	20
五、氣候變遷對水生動植物環境之衝擊.....	24
六、氣候變遷對都市環境之衝擊.....	28
七、全球改變面臨水的壓力及未來的都市水循環.....	31
八、風險及不確定性.....	34
九、水災風險管理循環及政策.....	37
十、荷蘭三角洲委員會經驗.....	44
十一、氣候變遷對文化的影響 .....	46
十二、分組報告 .....	48
肆、參訪行程 .....	50
一、Dordrecht市參訪行前介紹 .....	50
二、Dordrecht市實地參訪 .....	55
伍、電腦程式模擬.....	62
一、WEAP二維模擬程式： .....	62
二、DELFT 3D三維模擬程式： .....	65

六、結論與建議.....	71
一、結論.....	71
二、建議.....	73

## 表 目 錄

表 1 研習課程行程.....	2
-----------------	---

## 圖 目 錄

圖3-1 全球氣溫變化圖.....	5
圖3-2 溫室氣體增加情形.....	6
圖3-3 全球及各洲地表溫度改變受人類活動的影響.....	7
圖3-4 全球地表溫度暖化情形.....	8
圖3-5 在A1B情境下每年逕流量變化百分比.....	9
圖3-6 氣候和土地、水及污染等議題的關係.....	9
圖3-7 溫度常態分布曲線.....	10
圖3-8 不同模式模擬乾旱重現期變化情形.....	11
圖3-9 冰帽範圍面積變化圖.....	12
圖3-10 氣候變遷對海岸系統的影響.....	13
圖 3-11 全球平均海平面上升情形.....	13
圖 3-12 平均海平面上升速率.....	14
圖 3-13 全球平均海平面上升 (AR4).....	14

圖 3-14 荷蘭各地受洪水氾濫的影響分布圖.....	15
圖 3-15 荷蘭內陸與海洋高度示意圖.....	16
圖 3-16 荷蘭海堤鳥瞰圖（一）.....	16
圖 3-17 荷蘭海堤鳥瞰圖（二）.....	17
圖 3-18 荷蘭土壩實景.....	17
圖 3-19 荷蘭閘門實景.....	18
圖 3-20 荷蘭海岸線退縮情形.....	19
圖 3-21 海砂補償工程（一）.....	19
圖 3-22 海砂補償工程（二）.....	20
圖 3-23 過去 300 年海平面上升情形.....	22
圖 3-24 大氣中二氧化碳濃度變化圖.....	23
圖 3-25 紅樹林區的生物.....	25
圖 3-26 海草區的生物.....	26
圖 3-27 世界上珊瑚礁分布圖.....	27
圖 3-28 珊瑚生長情形.....	27
圖 3-29 都市熱島效應圖.....	28
圖 3-30 都市化對降雨的影響.....	29
圖 3-31 都市化對降雨的影響.....	29
圖 3-32 模擬都市化前台北市降雨量.....	30

圖3-33 模擬都市化後台北市降雨量.....	30
圖3-34 模擬都市化前後台北市降雨量對照.....	31
圖3-35 幾個國家主要城市24小時水的可得到性比率.....	31
圖3-36 人口和洪水事件關係圖.....	32
圖3-37 都市地下鐵車站淹水情形.....	32
圖3-38 氣候變遷對都市水循環系統之衝擊.....	33
圖3-39 系統不確定性示意圖.....	35
圖3-40 敏感性分析流程圖.....	36
圖3-41 堤防設計因應氣候變遷加高.....	37
圖3-42 流量與都市開發比例關係.....	38
圖3-43 2002年易北河潰堤淹水情形.....	41
圖3-44 洪水範圍潛勢圖.....	41
圖3-45 暴風雨侵襲風險地區圖.....	42
圖3-46 最大淹水深度圖.....	42
圖3-47 水災風險地圖.....	43
圖3-48 洪災保險使用之洪水風險地圖.....	43
圖3-49 水災疏散計畫.....	44
圖3-50 荷蘭三角洲委員會預測海平面上升情形.....	45
圖3-51 三角洲出口環狀防洪閘門.....	45

圖3-52 問題的種類及等級.....	47
圖3-53 文化理論模式.....	48
圖3-54 分組報告.....	49
圖4-1 馬斯河流域分布圖.....	50
圖4-2 Dordrecht市空照圖.....	51
圖4-3 Dordrecht市人工島照片.....	51
圖4-4 Dordrecht市發展沿革.....	52
圖 4-5 擋水吊裝情形.....	53
圖 4-6 住戶門口擋水版插槽.....	54
圖 4-7 人工島上方房屋實景.....	54
圖 4-8 Dordrecht 市氣候變遷下水位高度變化圖.....	55
圖 4-9 出發前校門口合影留念.....	56
圖4-10 講師利用模型介紹Dordrecht市.....	56
圖4-11 Dordrecht市地圖.....	57
圖4-12 房屋門口擋水版插槽.....	58
圖4-13 巷弄水位操作擋水版插槽.....	58
圖4-14 新闢堤防（街道）高於舊有堤防（街道）.....	59
圖4-15 人工島實景.....	59
圖4-16 淹水高度標示.....	60

圖4-17 現地參訪分組報告.....	61
圖5-1 DELFT 3D程式架構.....	66
圖5-2 DELFT 3D於Window系統下首頁.....	66
圖5-3 DELFT 3D於Window系統下主目錄.....	67
圖5-4 DELFT 3D數值分析格網圖.....	67
圖 5-5 DELFT 3D 執行程式.....	68
圖 5-6 DELFT 3D 編輯輸入參數檔案.....	68
圖 5-7 DELFT 3D 編輯參數.....	69
圖 5-8 DELFT 3D 分析結果—水深分布圖.....	70
圖 5-9 DELFT 3D 分析結果—土壤鹽化程度分布圖.....	70

## 壹、緣起

氣候變遷將導致全球性水文週期激化，並且對區域水資源造成主要的影響。在世界的許多地區，氣候變化也影響社會經濟和環境發展。荷蘭國際水利環境工程學院（IHE）遂訂於 98 年 9 月 7 日至 18 日舉辦「氣候變遷下綜合性水經營管理」研習課程。藉由課程學習瞭解氣候變化融入聯合水資源管理的概念、氣候系統和水文學週期的變化、氣候變化對社會的衝擊等議題，對於低地水域綜合治水策略研擬有所助益，並與各國參訓代表及專家、學者們進行技術交流及經驗分享，加強推展國際事務聯繫及技術交流等相關事宜。

## 貳、行程

本次參加研習行程詳如表 1。

表 1 研習課程行程

日程	內容
9 月 5 日 星期六	啟程 桃園中正國際機場搭機前往荷蘭阿姆斯特丹
9 月 6 日 星期日	<ul style="list-style-type: none"><li>● 抵達荷蘭阿姆斯特丹國際機場</li><li>● 前往達夫特城 (Delft)</li></ul>
第一週課程	
9 月 7 日 星期一	<ul style="list-style-type: none"><li>● 國際水利環境工程學院 (IHE) 報到及課程介紹</li><li>● 連結三角洲城市影片觀賞</li><li>● 氣候變遷對流域系統、海岸地區之衝擊</li><li>● 問題研討</li></ul>
9 月 8 日 星期二	<ul style="list-style-type: none"><li>● 風險及不確定性</li><li>● 氣候變遷對農業之衝擊</li><li>● 氣候變遷對水生動植物環境之衝擊</li><li>● 氣候變遷對都市環境之衝擊</li><li>● 問題研討</li></ul>
9 月 9 日 星期三	<ul style="list-style-type: none"><li>● 水災風險管理及政策</li><li>● 荷蘭三角洲委員會經驗</li><li>● 日本及其他亞洲國家經驗</li><li>● 水災風險管理</li><li>● 氣候變遷對社會經濟制度方面影響</li><li>● 氣候變遷對文化方面影響</li></ul>
9 月 10 日 星期四	<ul style="list-style-type: none"><li>● 都市洪水管理理論</li><li>● 實地參訪 Dordrecht 市</li></ul>

日程	內容
9月11日 星期五	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 流域案例研究</li> <li>● 淹水潛勢圖理論及實際案例介紹</li> <li>● 肯亞砂壩案例影片欣賞</li> <li>● 分組報告</li> </ul>
第二週課程	
9月14日 星期一	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 氣候變遷及對水之衝擊介紹</li> <li>● 本週課程介紹及程式分析案例研究</li> <li>● 二維程式 WEAP 演練</li> <li>● 三維程式 DELFT 3D 演練</li> </ul>
9月15日 星期二	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 衝突處理</li> <li>● 案例模擬演練</li> <li>● 分組報告準備</li> </ul>
9月16日 星期三	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 分析假設數據及程式演練</li> <li>● 分組報告準備</li> </ul>
9月17日 星期四	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 分析結果討論</li> <li>● 各項子議題分組成果綜整</li> </ul>
9月18日 星期五	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 分組報告</li> <li>● 返程</li> </ul> <p style="text-align: center;">阿姆斯特丹國際機場搭機返回台灣</p>
9月19日 星期六	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 抵達桃園中正國際機場</li> </ul>

## 參、 課程內容摘錄

### 一、 「連結三角洲城市」影片介紹及心得

在第一天的課程中，教授播放了「連結三角洲城市」的影片，影片中訪問了研究南極和北極氣候的學者 Konrad Steffen，經過他 32 年對冰層改變的觀察，研究發現海平面上升將超過一公尺，而且即使 2100 年也不會結束，而且冰層將更加快速溶化，必須迫切的調整對策來適應這樣的情況。

然而，面對這樣的急速變化，有多少城市已做好適當的反應措施呢？影片中以世界上 4 個海岸城市為例，分別為埃及亞歷山大港、印尼雅加達、美國紐約及荷蘭鹿特丹，訪問了科學家、政策制定者及居民，反映他們所處城市的情況，雖然在面臨文化習性、政策措施和歷史上有一些左右為難之處，海平面上升的結果，讓這些城市都面臨了危險和極大的挑戰，必須立刻採取必要的行動。而且這已經是全球的問題，必須各國間通力合作才能有效率的解決。

台灣是四面環海的島嶼，而且主要的人口密集區都在濱海地區，更不能忽視海平面上升的所可能帶來的衝擊，必須及早因應。

## 二、氣候變遷相關研究及對流域系統之衝擊

根據統計，過去 140 年來氣溫明顯地上升，顯示地球暖化現象（如圖 3-1），非洲上升了 1~1.5°C、俄羅斯一月更是上升了 10°C；北極冰帽每年以 8% 速度溶化；海平面大約以每年  $2.9 \pm 0.4 \text{mm}$  速度上升，以上數據都可看出氣候變遷的現象。（Shein et al. 2006）

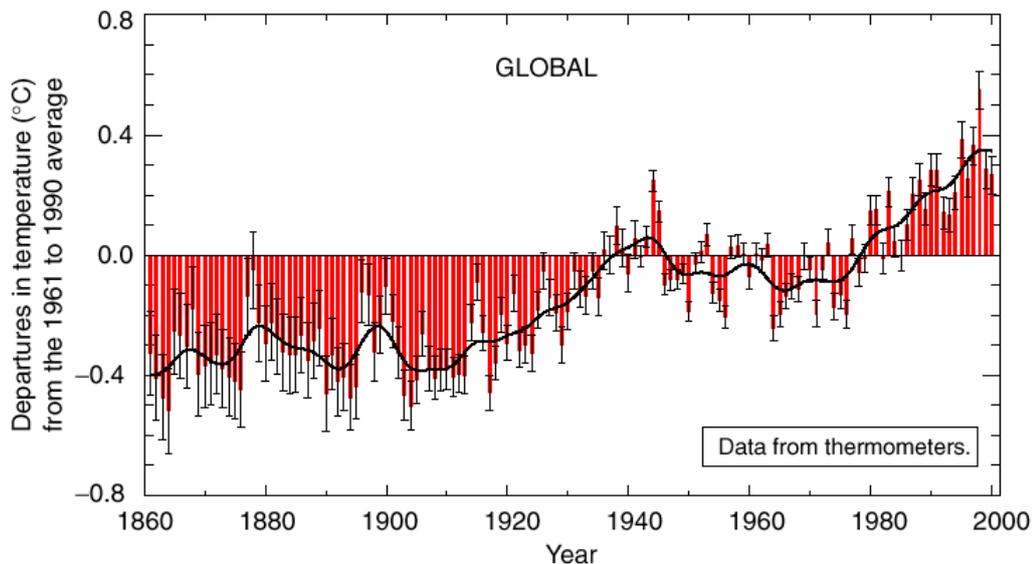


圖 3-1 全球氣溫變化圖

聯合國政府間氣候變遷委員會（IPCC）2007 年第 4 次評估報告指出，根據不同的研究顯示，由於人類活動的因素，和一萬年前相比，1750 年以後溫室氣體  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  都呈現顯著的增加（如圖 3-2）。根據不同氣候變遷情境模擬的結果，未來 100 年溫室氣體將造成溫度上升 2.5~4.2°C。

## Changes in Greenhouse Gases from ice-Core and Modern Data

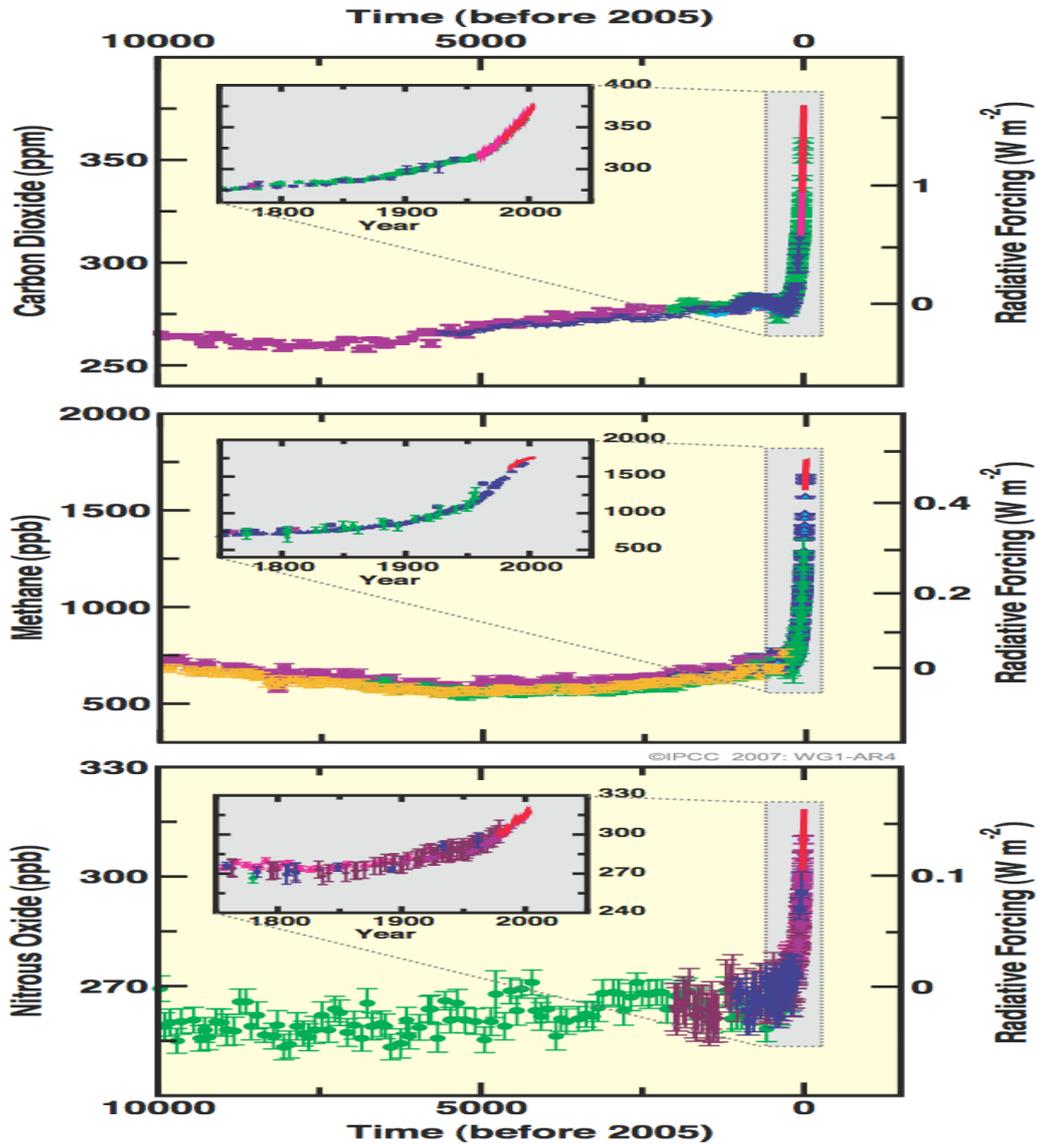


圖 3-2 溫室氣體增加情形

根據不同氣候模式演算，在 1906 至 2005 年間，在人類活動及自然兩種作用下全球及各洲的地表溫度（粉紅色區域），明顯高於僅自然作用下的地表溫度（淺藍色區域）（如圖 3-3），可明顯看出人類活動對地表溫度的影響。

## Global and Continental Temperature Change

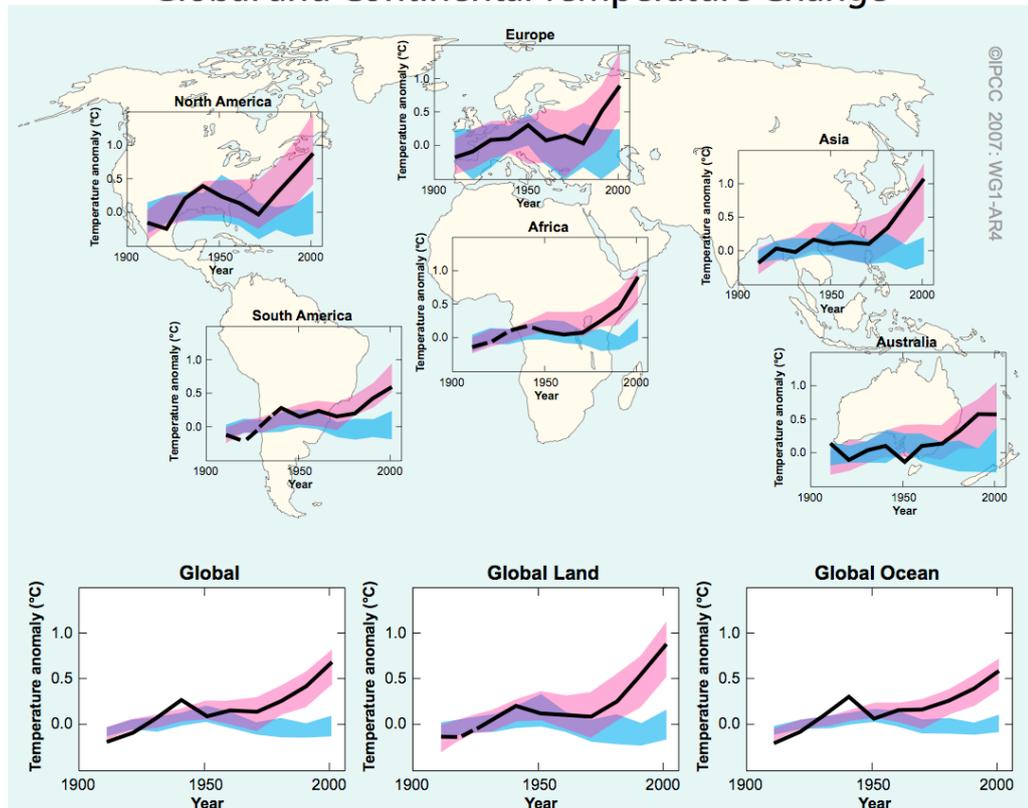


圖3-3 全球及各洲地表溫度改變受人類活動的影響

20 世紀不同模式平均地表溫度暖化約上升  $0.8^{\circ}\text{C}$  (黑色實線)，21 世紀 A2 情境上升約  $3.4^{\circ}\text{C}$  (紅線)，A1B 情境上升約  $2.6^{\circ}\text{C}$  (綠線) 及 B1 情境上升約  $1.6^{\circ}\text{C}$  (藍線)，即使污染不再增加 (橘線)，反應仍持續 100 年使溫度仍微幅上升約  $0.4^{\circ}\text{C}$  (如圖 3-4)。

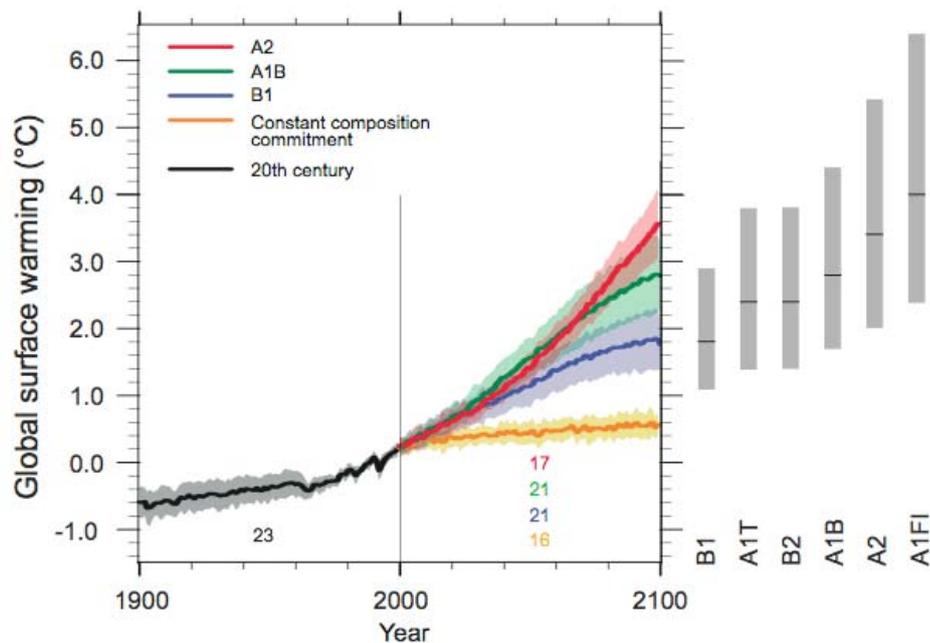


圖 3-4 全球地表溫度暖化情形

在A1B情境模擬2041至2060年和1900至1970年相較，每年逕流量變化百分比（如圖3-5），許多地方逕流量增加10%以上，甚至有些地方增加40%以上、但也有些地方減少20%以上；除氣候變遷外，土地利用、污染、水利利用的空間及時間關係、經濟發展、食物及物種變化等變化都有關聯（如圖3-6）。

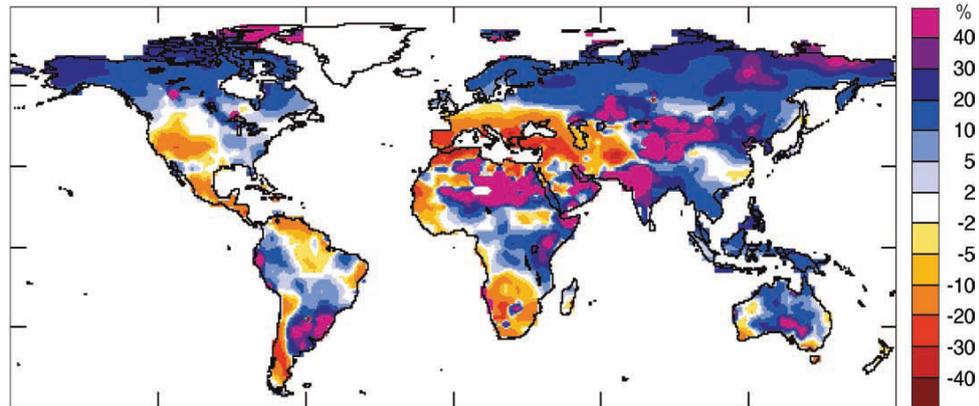


Figure 3.4. Change in annual runoff by 2041-60 relative to 1900-70, in percent, under the SRES A1B emissions scenario and based on an ensemble of 12 climate models. Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd. [Nature] (Milly et al., 2005), copyright 2005.

### 圖3-5 在A1B情境下每年逕流量變化百分比

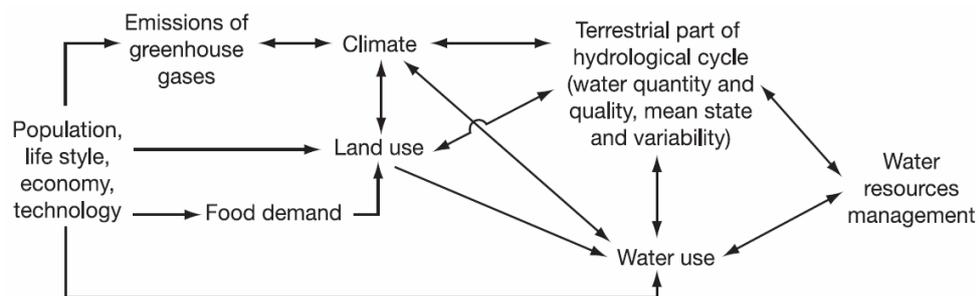
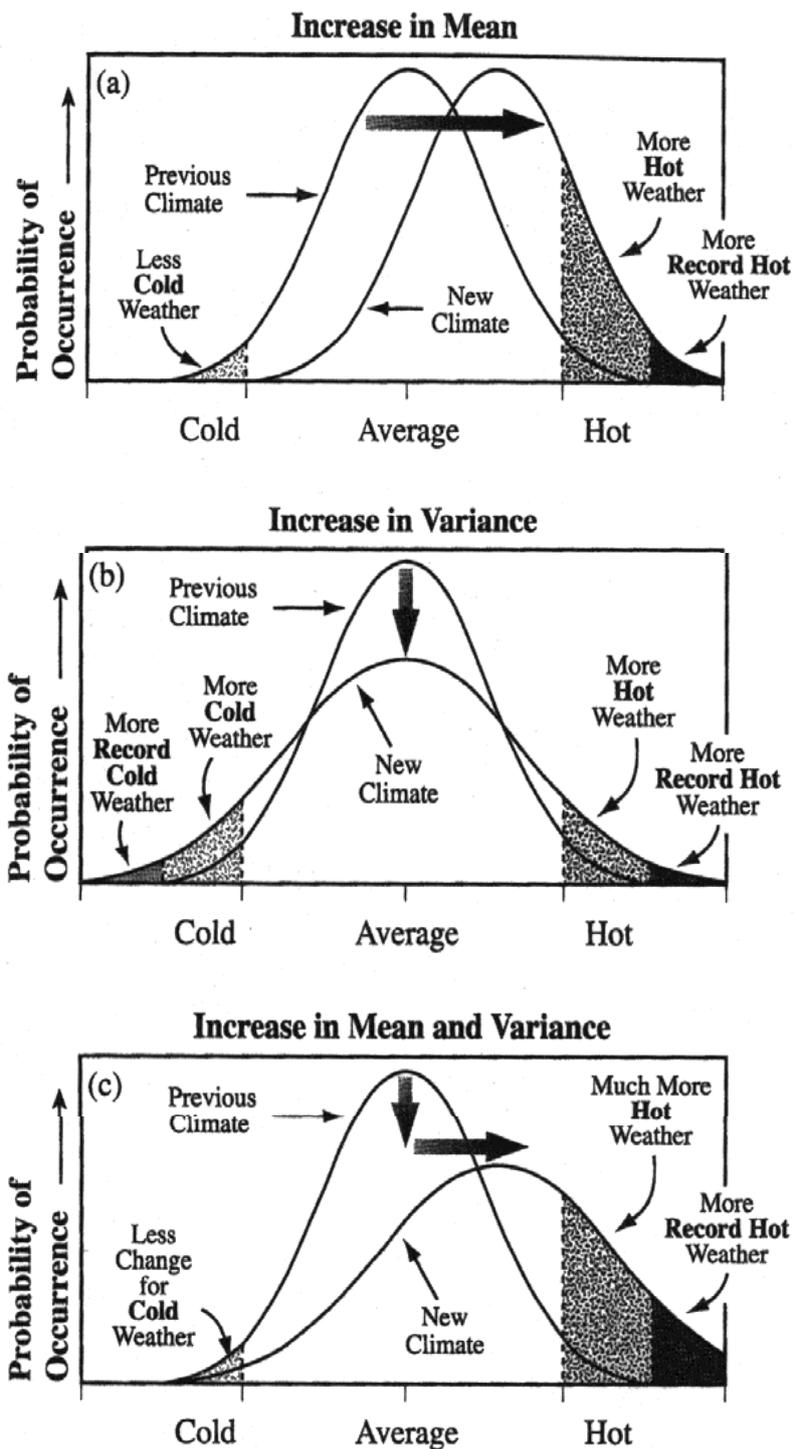


Figure 3.1. Impact of human activities on freshwater resources and their management, with climate change being only one of multiple pressures (modified after Oki, 2005).

### 圖3-6 氣候和土地、水及污染等議題的關係

一般研究關心的是平均氣候變化的情形，但是極端的變化常常更加重要。在溫度平均增加（圖3-7a）、變動增加（圖3-7b）及平均和變動同時增加的情形下（圖3-7c）之溫度常態分布曲線，可得知在聯合作用下，更熱的天候發生機率高出許多。溫度升高的結果，導致空氣中水的含量更高（7%/K），低強度的降雨頻率減少，極端降雨頻率增加。



**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 3-7 溫度常態分布曲線

根據 ECHAM4 及 HadCM3 兩種不同模式分析結果，對應 1961~1990 年情形，模擬 2020 年及 2070 年時，未來在歐洲許多地方，乾旱發生頻率將提高(如圖 3-8)。

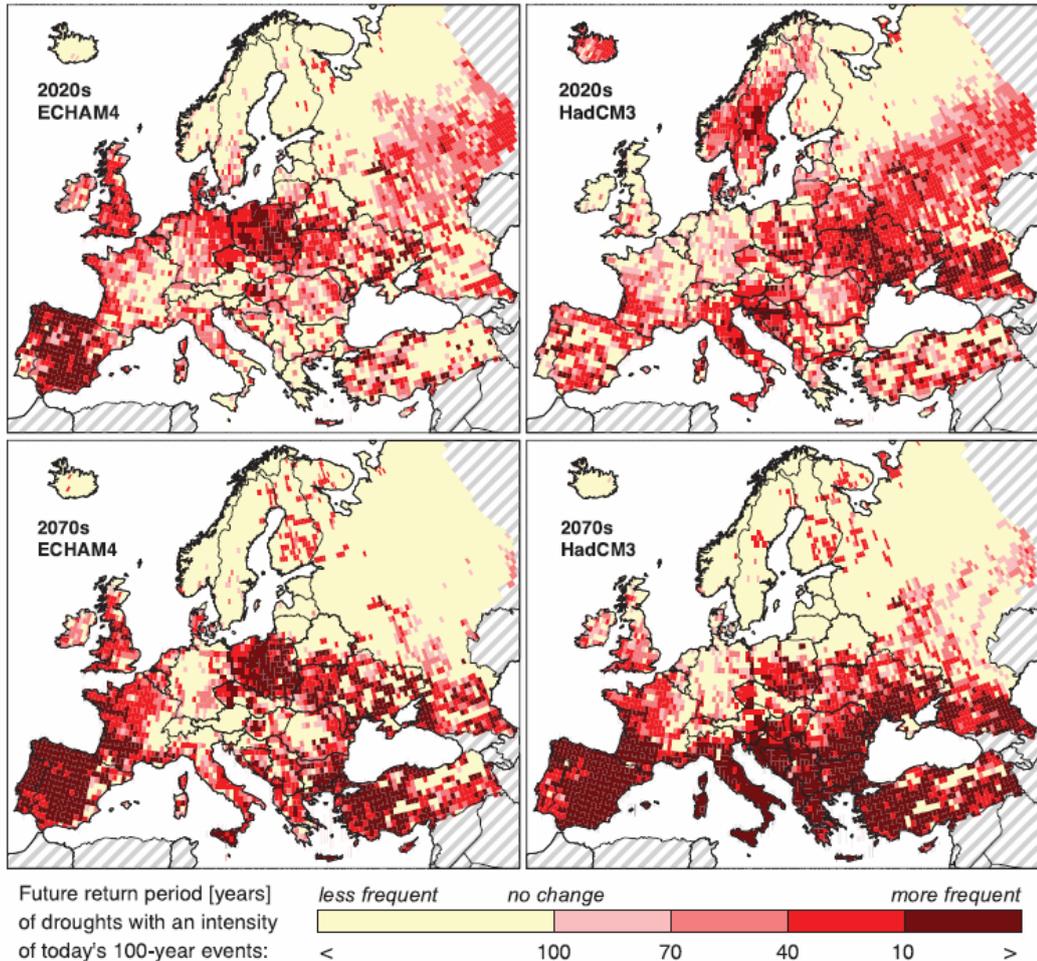


Figure 3.6. Change in the recurrence of 100-year droughts, based on comparisons between climate and water use in 1961 to 1990 and simulations for the 2020s and 2070s (based on the ECHAM4 and HadCM3 GCMs, the IS92a emissions scenario and a business-as-usual water-use scenario). Values calculated with the model WaterGAP 2.1 (Lehner et al., 2005b).

### 圖 3-8 不同模式模擬乾旱重現期變化情形

對整個流域排放流量而言，通常受到人類活動（土地利用、水經營管理等）的影響。在氣候變遷情形下，受到地形特性及儲存量改變（如雪、冰、地下水、湖泊、水庫及植物生長）的影響，也和大氣循環

方式、水及氣候交互作用有關。但是，趨勢受到土地利用、水經營管理等其他因素等影響較大，所以很難歸因於氣候暖化的影響。

根據觀察及模擬，北極海的冰河及冰帽面積逐漸減少，而且未來將加速減少（如圖 3-9）。

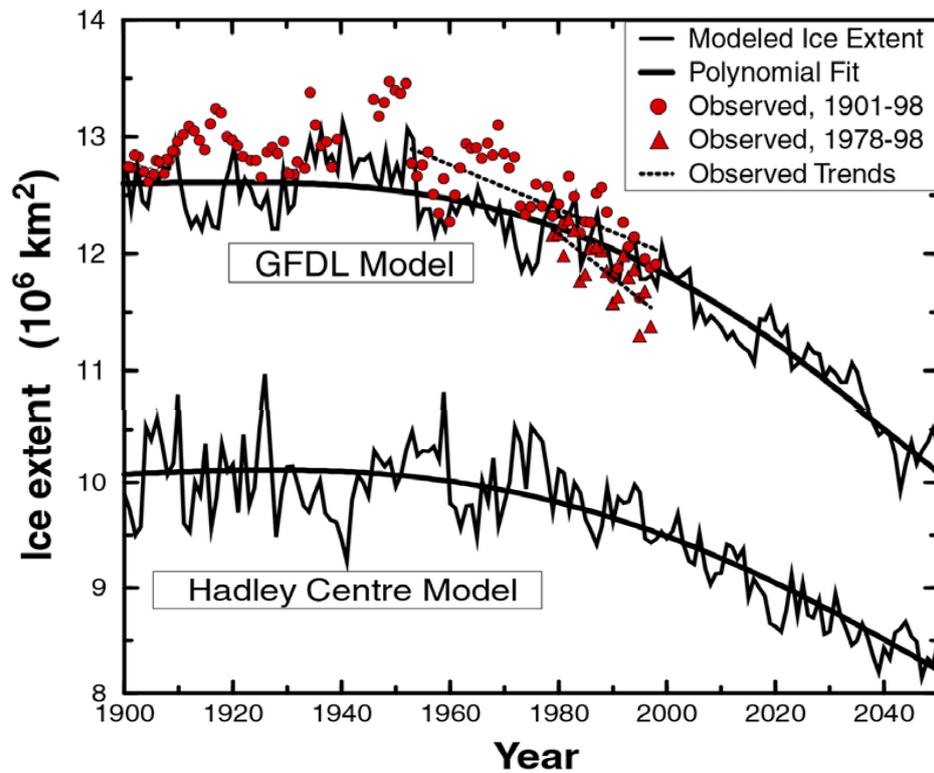


圖 3-9 冰帽範圍面積變化圖

### 三、氣候變遷對海岸地區之衝擊

對海岸系統而言，氣候變遷反映在暴風雨、波浪、海平面、溫度、二氧化碳集中及廢水排放量等變化，影響陸地及海邊，也造成生態系統及社會系統的影響（如圖 3-10）。全球平均海平面從 1870 年到 2000 年，大約上升了 2 公尺（如圖 3-11）。從 1993

年到 2008 年平均海平面，以每年 3.33mm 的速率上升（如圖 3-12）。根據 IPCC2007 年第 4 次評估報告預測，未來 100 年全球平均海平面還要再上升 2~5 公尺（如圖 3-13）。

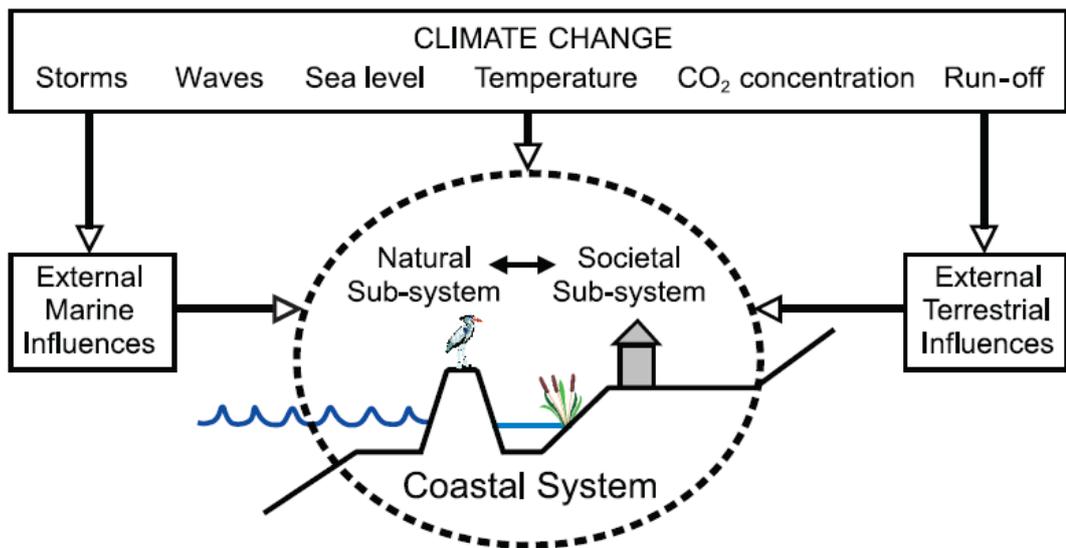


圖 3-10 氣候變遷對海岸系統的影響

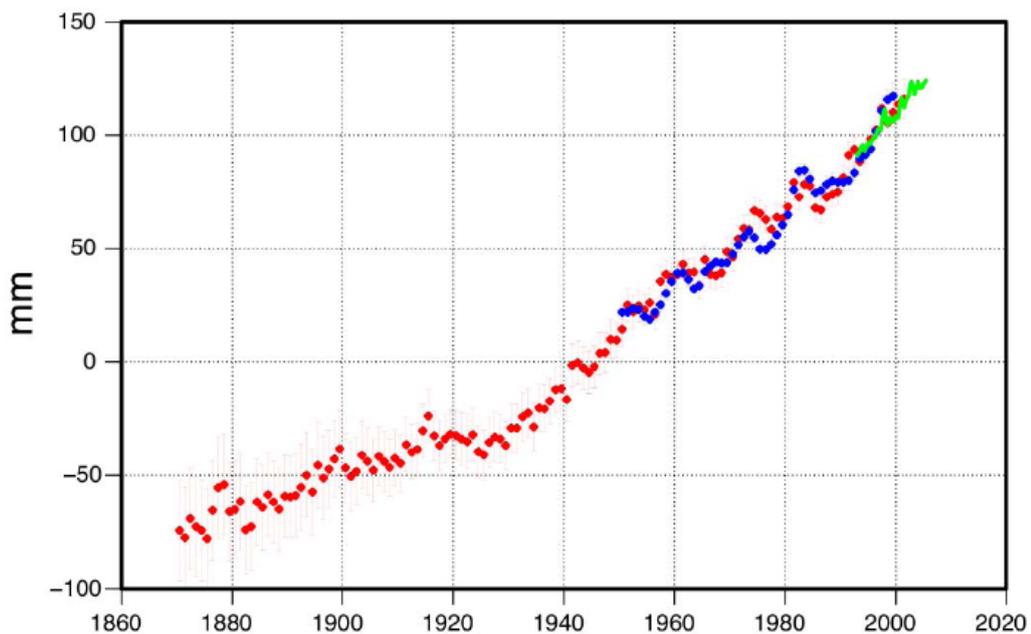


圖 3-11 全球平均海平面上升情形

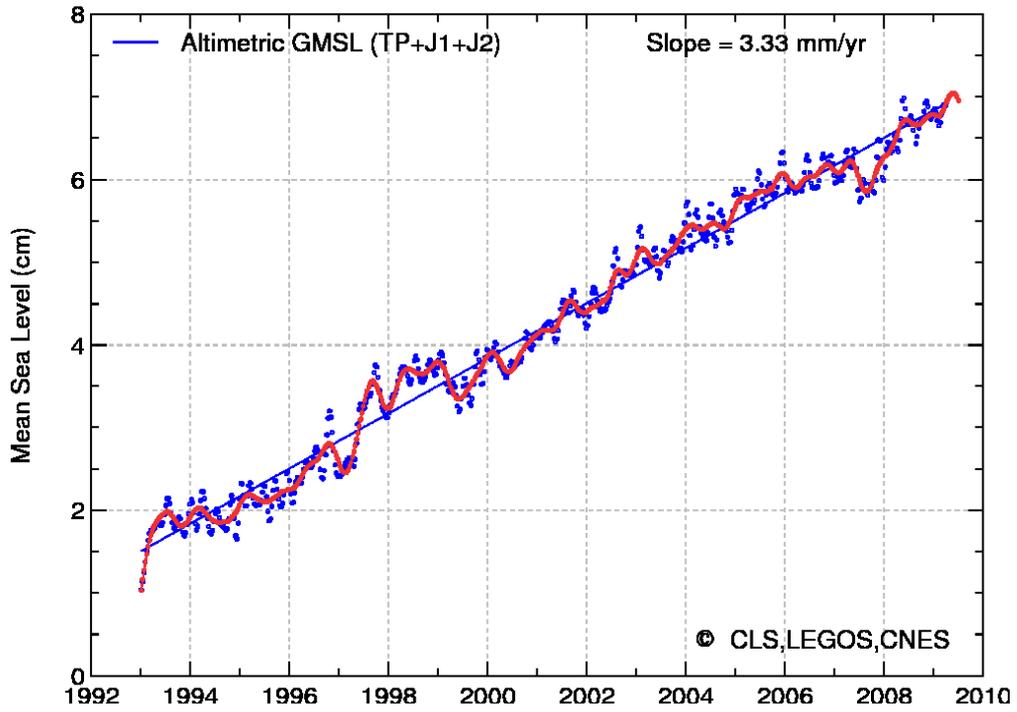


圖 3-12 平均海平面上升速率

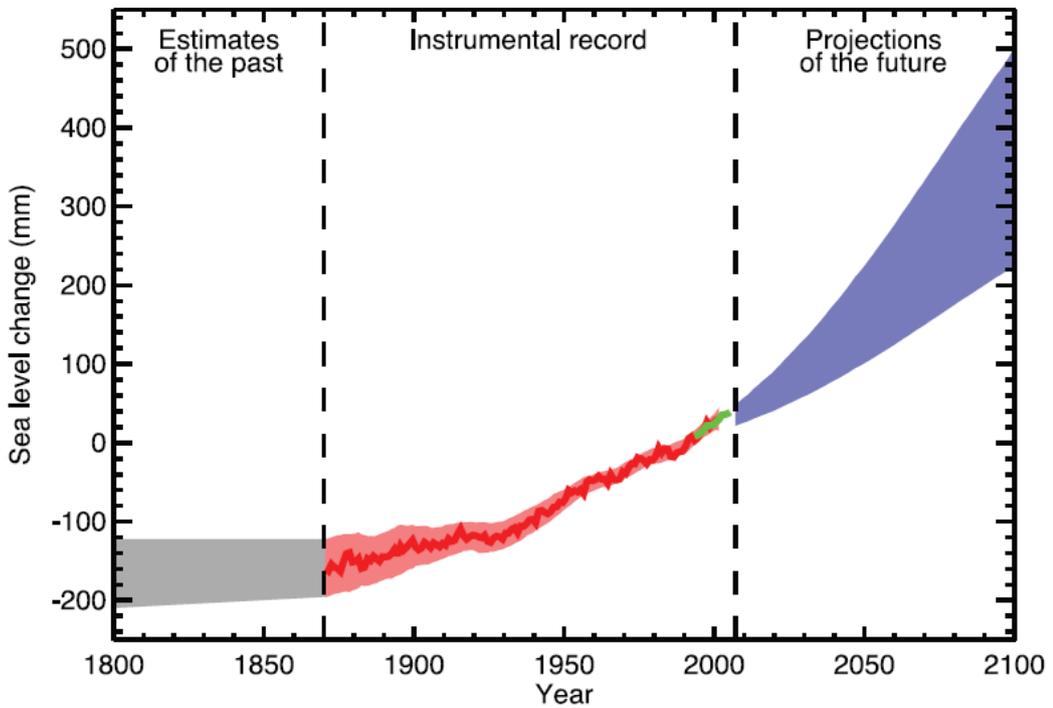


圖 3-13 全球平均海平面上升 (AR4)

荷蘭各地受洪水氾濫的影響分布情形，如沙丘、海洋、河川及不受影響的區域（如圖 3-14），接近一半的區域受到海洋的影響而洪水氾濫。

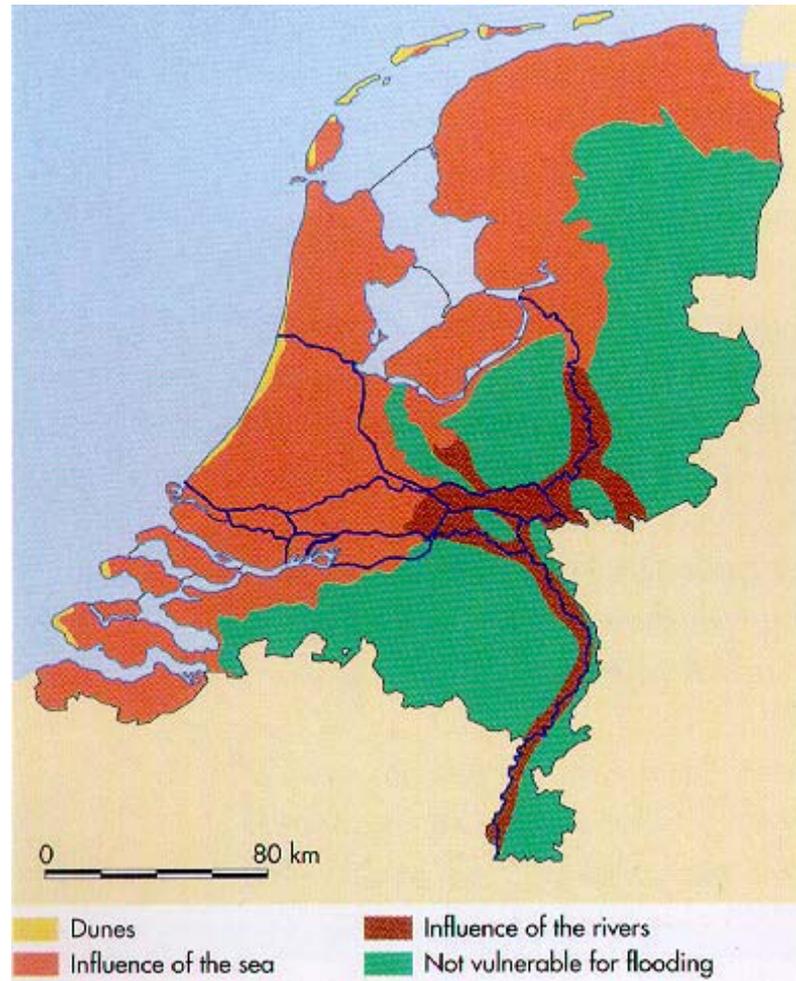


圖 3-14 荷蘭各地受洪水氾濫的影響分布圖

荷蘭是低地國（如圖 3-15），有三分之一的陸地低於海平面，為了確保內陸不受洪水侵襲，興築了 3600 公里的堤防及土壩（如圖 3-16~3-18），還有 800 處閘門、抽水站等設施（如圖 3-19），來提高對洪水的保護的安全性。

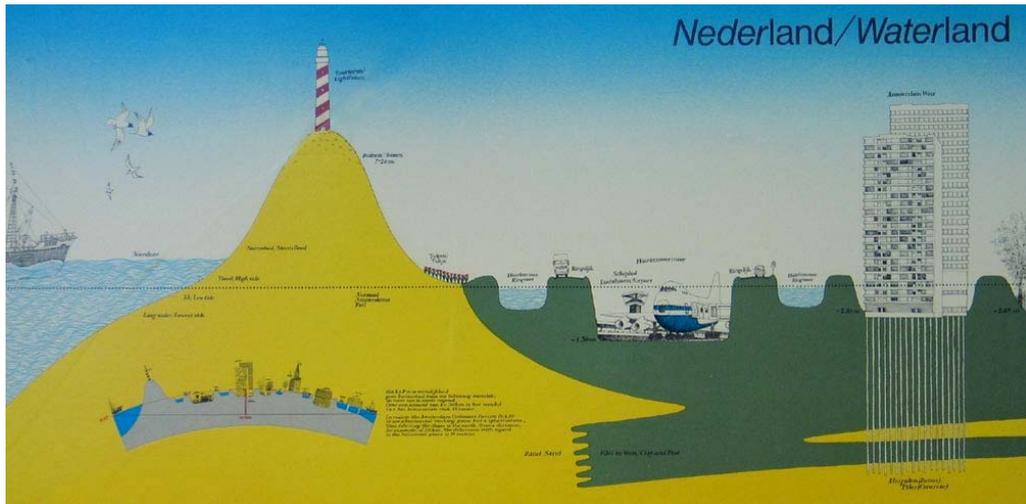


圖 3-15 荷蘭內陸與海洋高度示意圖



圖 3-16 荷蘭海堤鳥瞰圖（一）



圖 3-17 荷蘭海堤鳥瞰圖（二）



圖 3-18 荷蘭土壩實景



圖 3-19 荷蘭閘門實景

海岸地區所面臨的問題包含土地利用增加、人口增加等，而且世界上 80% 的人口居住在海邊 60 公里距離內。由於過去 300 年海岸線退縮了約 250 公尺（如圖 3-20），目前的政策為，避免海岸線再退縮並且進行海砂補償工程（圖 3-21~3-22），每年平均補注海砂 1200 萬立方公尺，每年預算約為 4400 萬歐元，而且每五年將進行評估一次。就水資源供應方面，海岸地區面臨地下水鹽化問題，河川流量較低的幾個月內，也面臨著鹽分入侵的問題。

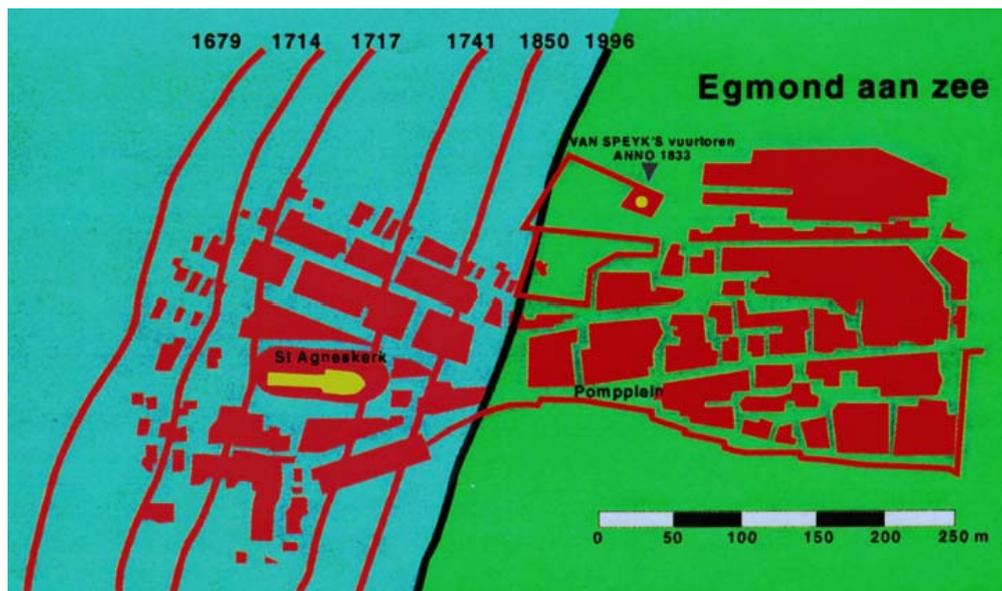


圖 3-20 荷蘭海岸線退縮情形



圖 3-21 海砂補償工程（一）



圖 3-22 海砂補償工程（二）

#### 四、氣候變遷對農業之衝擊

農業通常和食物生產、飼養、纖維、橡膠、生質燃料等動植物繁殖過程有關，對經濟、社會及環境等方面，都扮演重要的角色。根據世界銀行 2008 年資料，以農業為主的國家中，有 4.7 億人口居住在鄉下，其中 1.7 億人口每天生活費不到 1 美元，這些國家大部分位於非洲撒哈拉沙漠，農業雇用了 65% 勞動力貢獻 32% GDP 成長。其他像中國大陸、印度和摩洛哥，農業貢獻只有 7% GDP 成長，但是包含了 6 億的貧窮人口，大部分居住在鄉下地方。即使都市化的國家，像美國拉丁美洲及加勒比海、東歐及中亞等，農業貢獻只有 5% GDP 成長。鄉下地方仍然是

45%窮人居住的地方。

至於氣候變遷可能會對農業的產生影響呢？被探討的部分大致如下：(k. Prasad,2009)

- (一)溫度上升：地球暖化的結果，降雪和降雨集中，河流中水量將減少，含水層地下水補充將減緩。更進一步暖化的結果，將使永凍層釋放沼氣，此外，瘟疫及疾病的風險也將提高。
- (二)降雨不平均：降雨增加或減少，使變數增加，對水的供需平衡造成影響。
- (三)高頻率及更大的洪水：強大的暴風雨帶來更大的洪水，尤其是海岸地區將降下更強烈的降雨。
- (四)乾早期變長：氣候變遷已導致更極端的乾旱現象。包含地中海、中東、中亞、南非等，都被預期降雨減少。長期的乾旱使得草原及動物可利用的水降低。
- (五)海平面上升：海平面上升可能會造成幾個島嶼國家消失、三角洲低地的農業土地遭淹沒、更多的潮水流入導致土壤鹽化。過去 300 年海平面上升情形已千分之一公尺表示（如圖 3-23）。

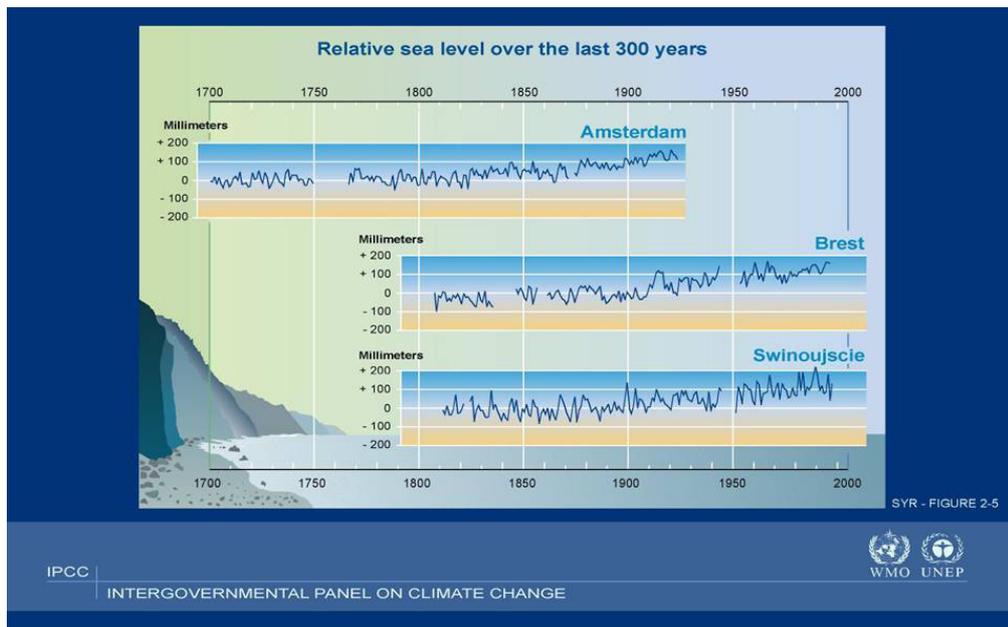


圖 3-23 過去 300 年海平面上升情形

綜合上述，農業產生的威脅如下：

- (一) 增加貧窮、飢餓、疾病及環境惡化的挑戰。
- (二) 農業使碳的角色更加重要。
- (三) 農業是主要自然資源的使用者，可能發生地下水竭盡、土壤化學污染等問題。
- (四) 自然資源減少，農產品風險提高，造成更大的經濟損失。
- (五) 大約有一億人口面臨食物不安全情形（如果沙漠擴展、亞洲季節風雨系統改變、冰河逐漸地溶化）。
- (六) 粗估 2100 年，氣候變化可能減少 40% 食物生產量。

- (七) 如果趨勢不變，因為氣候暖化導致供水的壓力，直到 2050 年南亞農作物減產情形將非常明顯，如玉米減產 17%、小麥減產 12%、稻米減產 10%。
- (八) 依賴降雨來維持農業的南亞及非洲將更加貧窮。

至於農業是否會影響氣候呢？大約 20% 的溫室氣體散發是農業所造成的，主要是因為沼氣散發和農業機械的使用。氮的製造是最主要能量的消費者和溫室氣體的產生者。森林的濫伐及森林火災，將增加二氧化碳的散發，每年大約有 1300 公頃熱帶森林消失，主要是因為農業的侵害。如今，濫伐造成了約十五分之一的溫室氣體效應。(WWF, 2009)，大氣中二氧化碳濃度變化在西元 1900 年至 2000 年間，呈現明顯上升趨勢（如圖 3-24）。

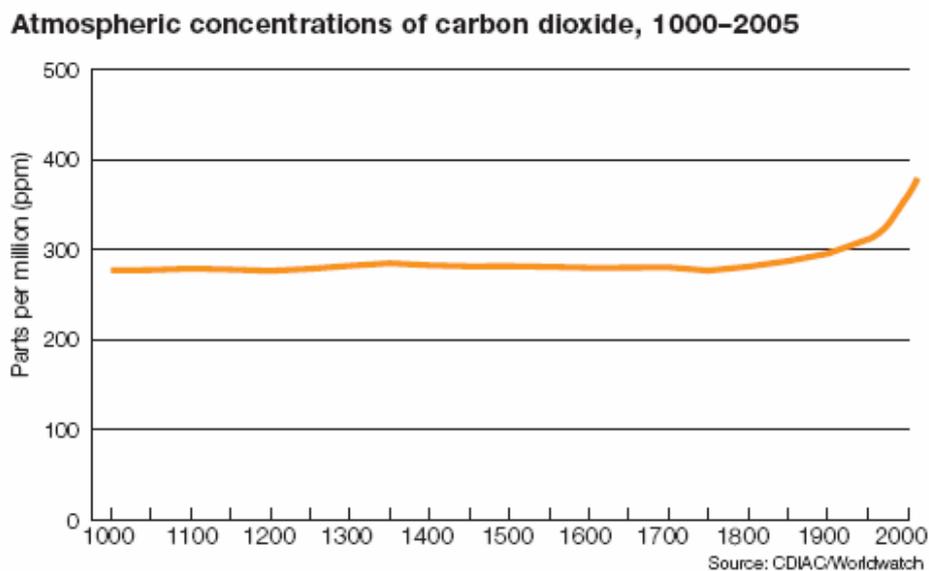


圖 3-24 大氣中二氧化碳濃度變化圖

減輕上述氣候變遷對農業衝擊的措施如下：

- (一) 對於開發中國家應減少破壞森林。
- (二) 重新造林。
- (三) 碳權信用化及交易化。
- (四) 減少沼氣排放量。
- (五) 擴大注水灌溉。
- (六) 綜合土地及水的經營管理策略。
- (七) 農作物多樣性。
- (八) 及早預警並進行災害預防。
- (九) 乾旱及洪災保險。
- (十) 種植紅樹林來保護海岸地區減少暴風雨及潮水侵襲。
- (十一) 保護雨林。
- (十二) 提升儲水技術。
- (十三) 增加食物儲藏庫。

## 五、氣候變遷對水生動植物環境之衝擊

以完整的熱帶海岸系統為例，包含了紅樹林、海草及珊瑚礁等，紅樹林是耐鹽植物，大約有 68 種紅樹林生長在潮間帶，紅樹林區的生物如圖 21。另外大約有 58 種海草淹沒在水中或生長在潮間帶，曾經在陸地生長又移居回海中，海草有水平的根莖和直

的嫩葉，海草區的生物如圖 3-26。



圖 3-25 紅樹林區的生物



圖 3-26 海草區的生物

珊瑚礁是碳酸鈣 ( $\text{CaCO}_3$ ) 結構，附著許多有機體，分布在熱帶地區 (如圖 3-27)，珊瑚生長的情形如圖 3-28。

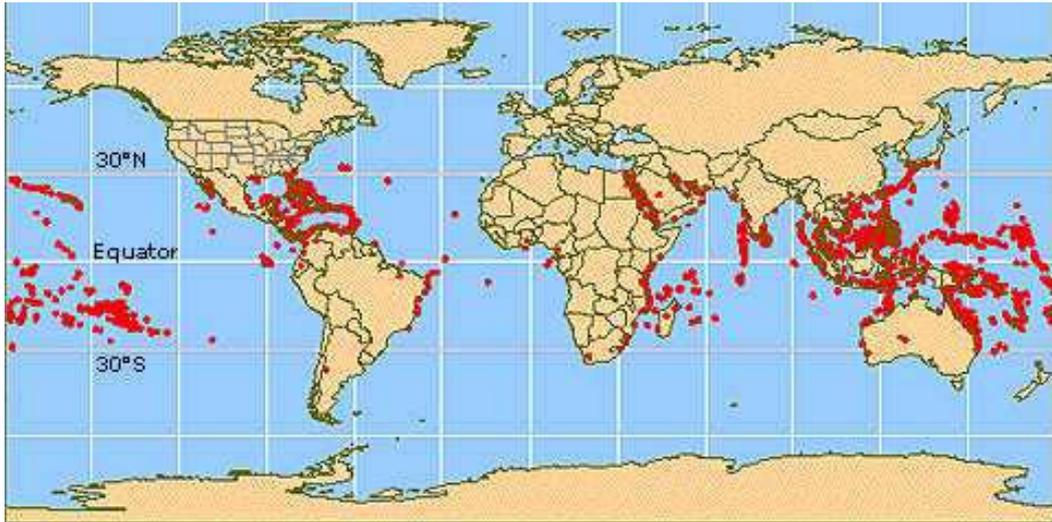


圖 3-27 世界上珊瑚礁分布圖



圖 3-28 珊瑚生長情形

自然現象對珊瑚礁的威脅如下：颶風、潮水變化、水溫上升、海星捕食等。而珊瑚生存的壓力如下：污染（沉積物、營養物、有毒物、殘骸、石油等）、過度捕魚、破壞性的捕魚、佈雷、蒐

集、潛水活動、地球暖化（海平面和溫度上升）等。

## 六、氣候變遷對都市環境之衝擊

根據研究，都市將形成熱島效應（如圖 3-29），對於台北市及其他幾個研究案例而言，未來的白天溫度將比現在來的高。一般而言，都市化也會造成都市周圍降雨量增加（如圖 3-30），以達卡市為例，都市化的結果造成降雨量明顯增加（圖 3-31）。都市化提高約接近 30% 降雨強度。但可能是因為受到地形及風的影響，都市化對台北市降雨量並未改變（如圖 3-32~3-34），台北市周圍環山，造成了山的地形特色對降雨的影響較熱島效應來的高。

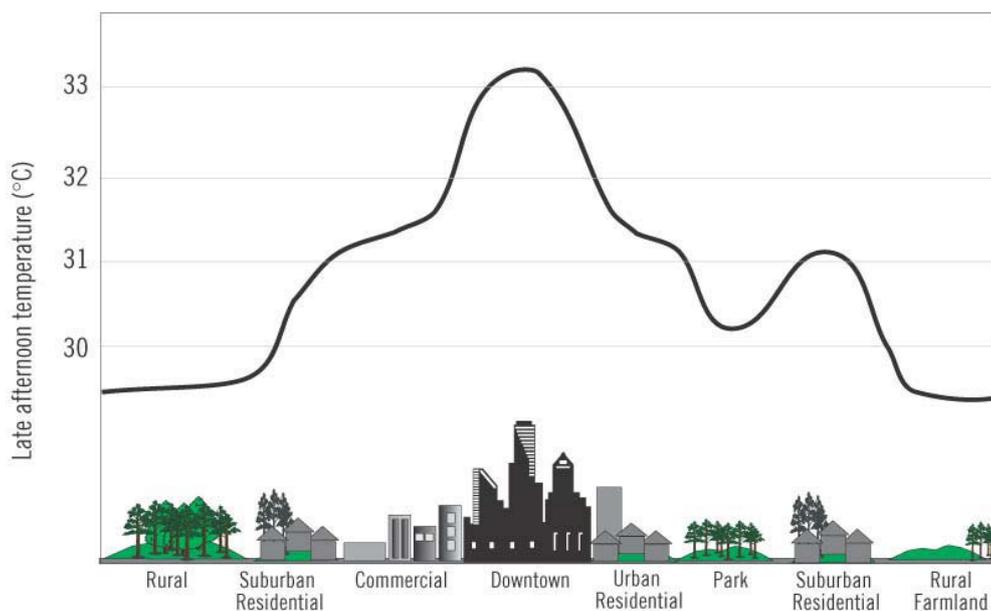


圖3-29 都市熱島效應圖

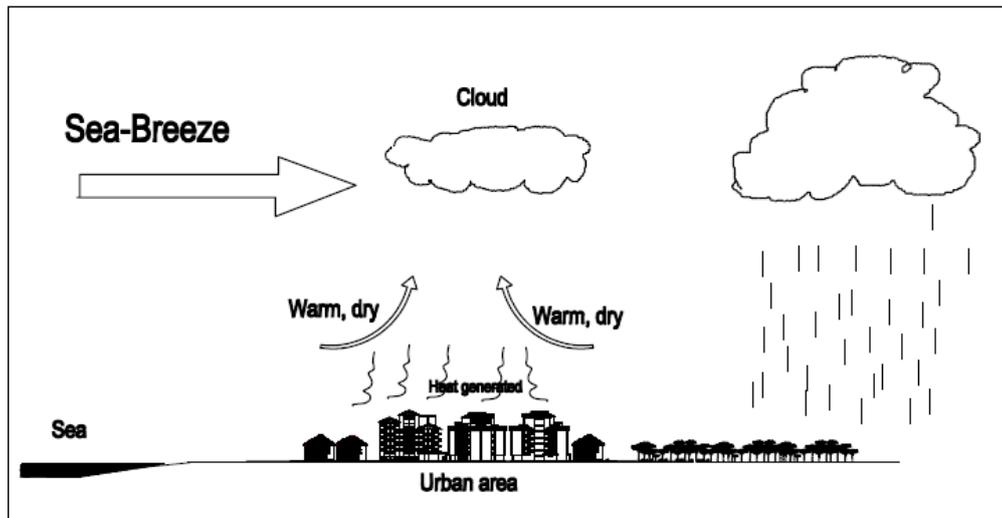


圖3-30 都市化對降雨的影響

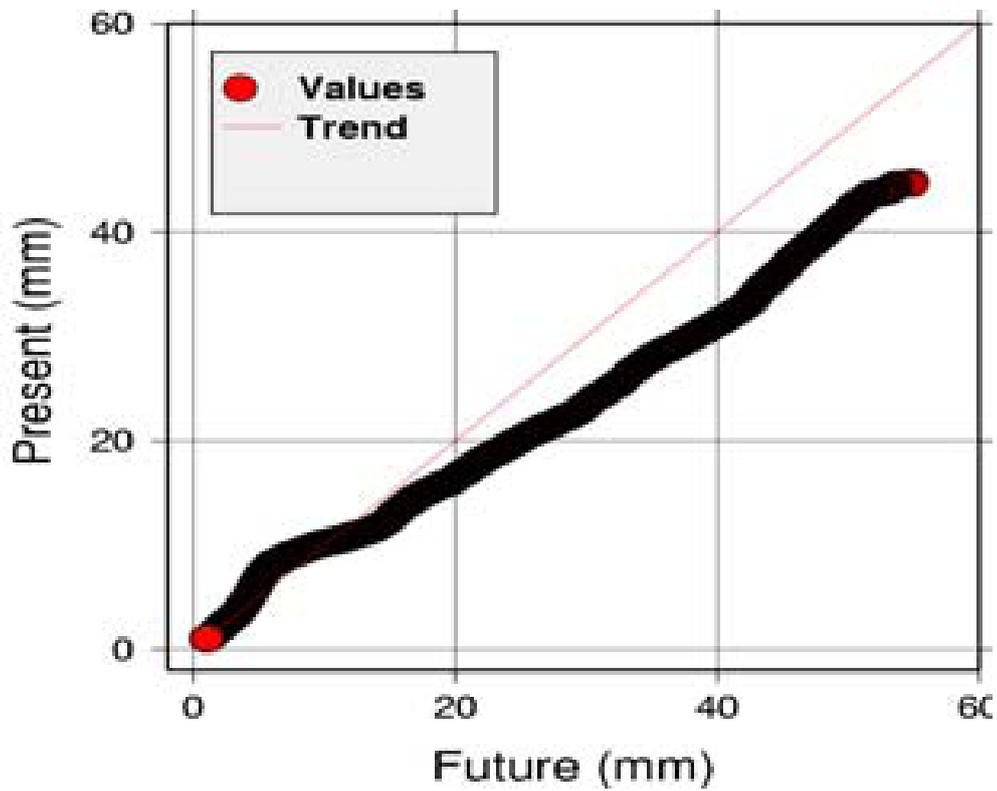


圖3-31 都市化對降雨的影響

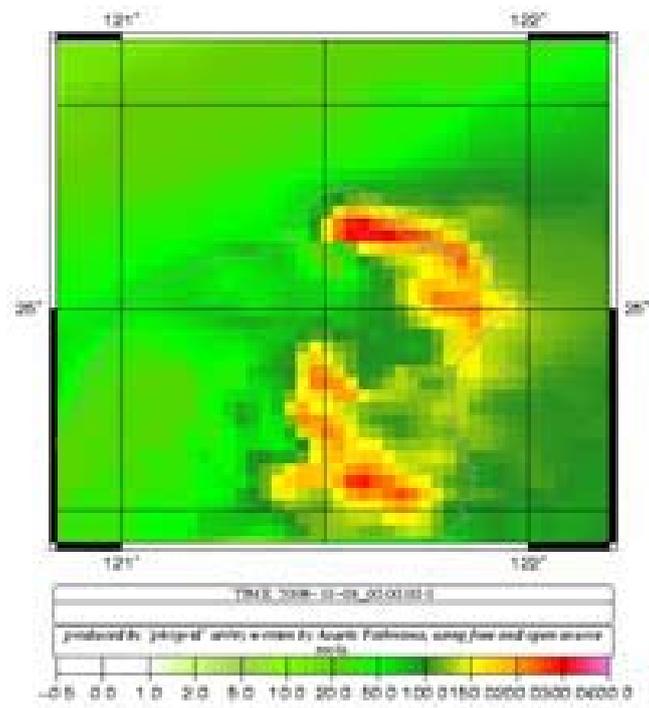


圖3-32 模擬都市化前台北市降雨量

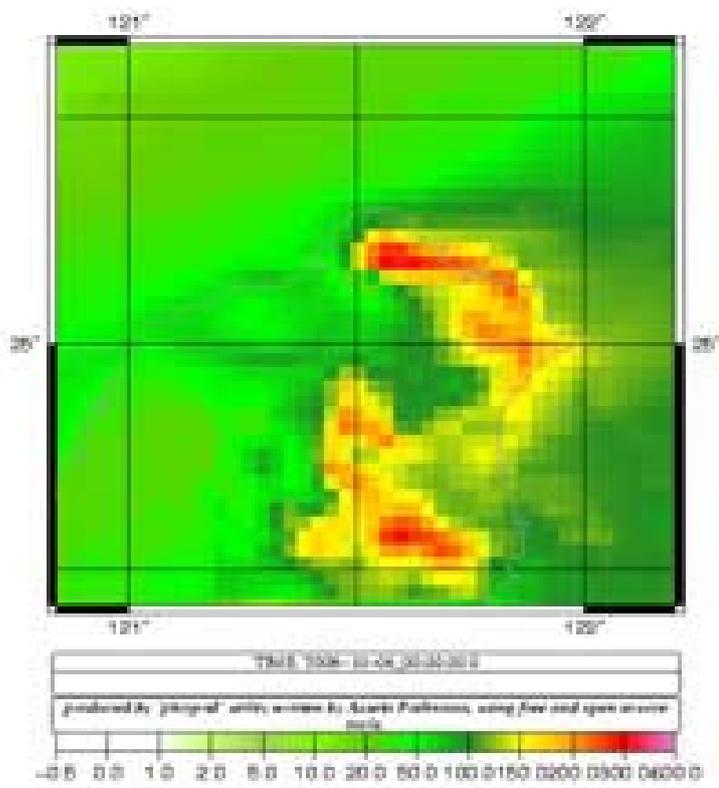


圖3-33 模擬都市化後台北市降雨量

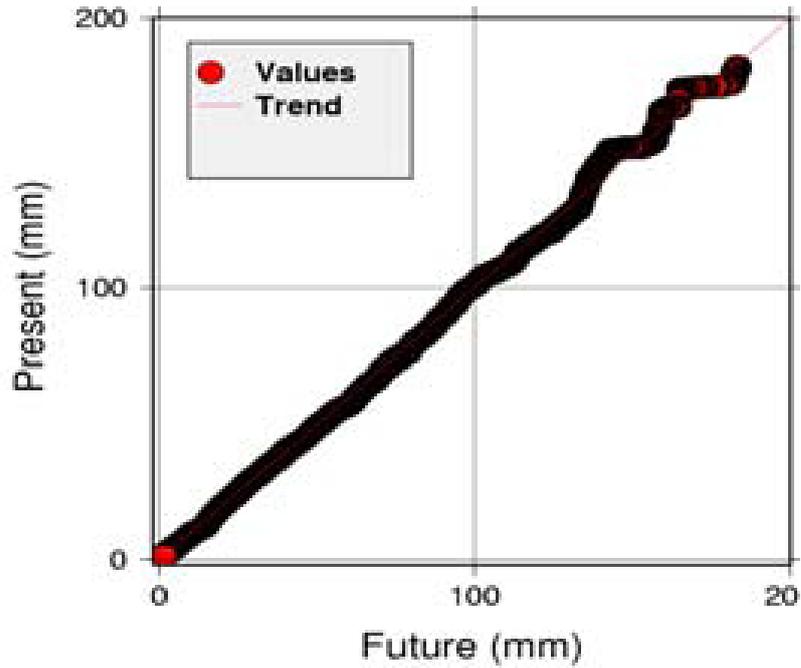


圖3-34 模擬都市化前後台北市降雨量對照圖

### 七、全球改變面臨水的壓力及未來的都市水循環

全球有11億人口並沒有得到足夠的水源，在人口集中於都市的結果，由幾個國家主要城市24小時水的可得到性比率可得知，如德里、達卡、卡拉奇、加德滿都及萬象等城市均嚴重偏低（如圖3-35）。

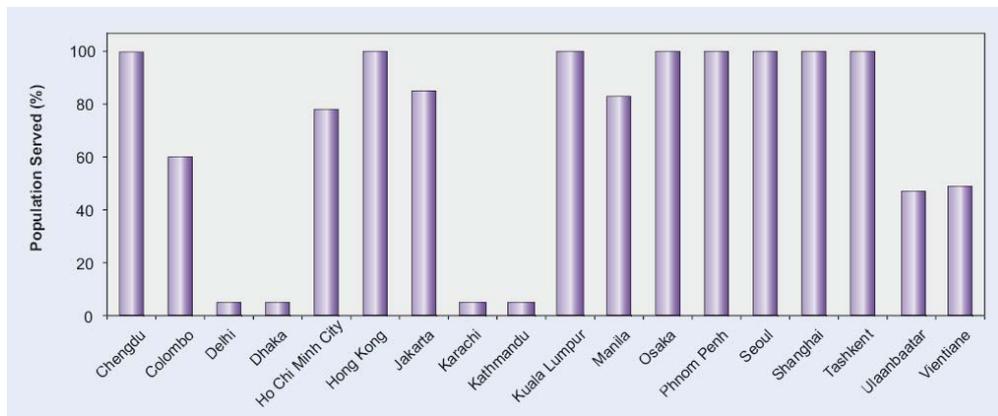


圖3-35 幾個國家主要城市24小時水的可得到性比率

由人口和洪水事件關係圖（如圖3-36），可看出兩者均逐年成長中。而都市地下化結構物，也面臨新的洪水風險（如圖3-37）。

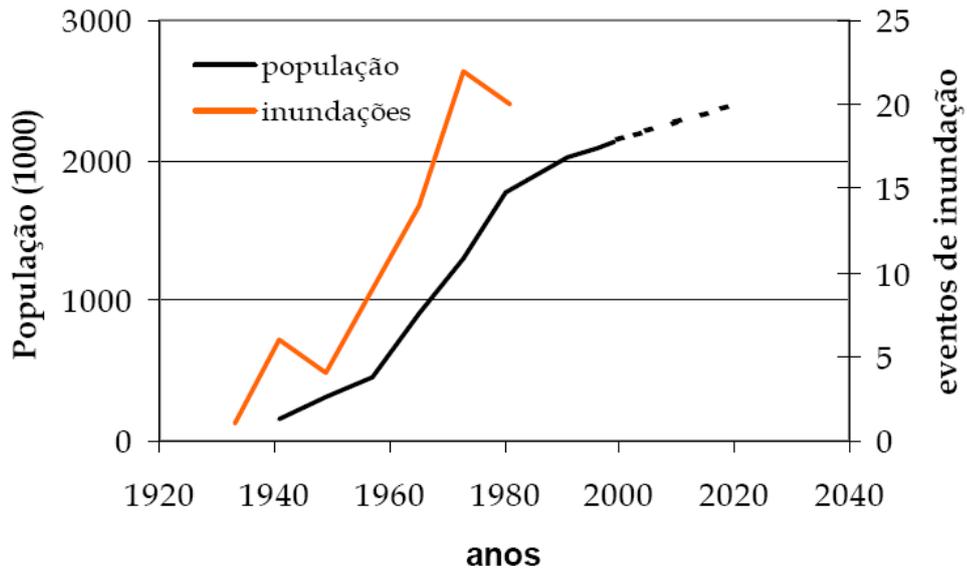


圖3-36 人口和洪水事件關係圖



圖3-37 都市地下鐵車站淹水情形

到 2080 年南亞增加百分之六十的人口、東亞增加百分之八十的人口承受洪水的風險；北非中東及印度增加三億的人口將承受缺水的壓力；中國大陸及中亞增加接近三億的人口暴露於瘧疾感染的風險。氣候變遷對都市水循環系統產生衝擊，必須採取相關因應措施，如住家、農業、工業、水壩、儲水槽、廢水蒐集及處理設備、污水處理廠、管線、河川、海洋等（如圖 3-38），就水資源質與量、水處理系統、輸送系統等來進行改善。除此之外，面對極端事件，我們必須有與風險共存的觀念，用洪災保險方式來分擔風險。

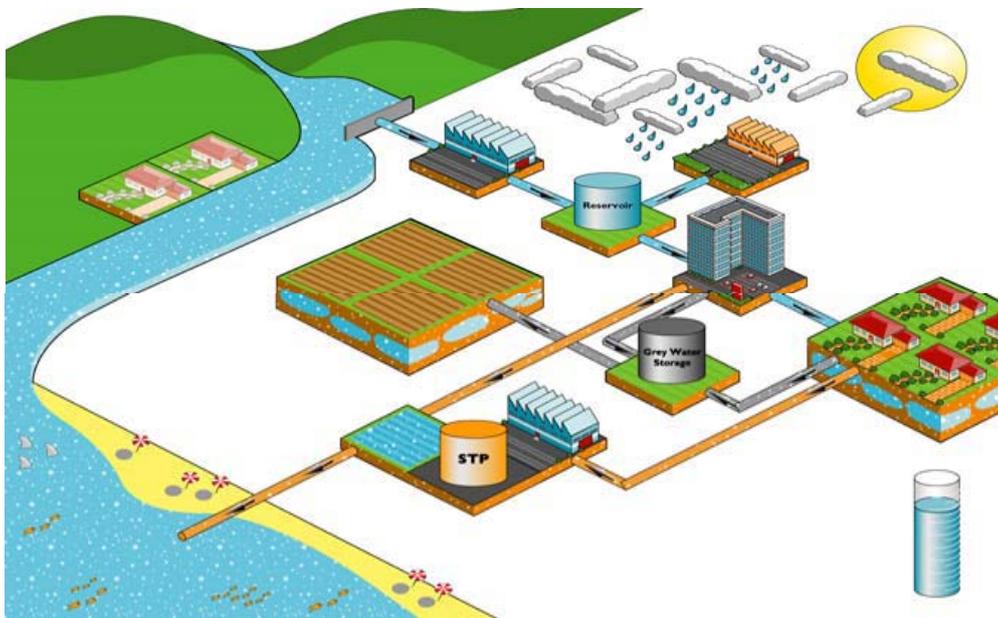


圖3-38 氣候變遷對都市水循環系統之衝擊

## 八、風險及不確定性

不確定性的例子之一，就是全球氣候變遷架構在污染增加量、燃料混合二氧化碳排放量、溫室氣體排放量、模擬全球溫度上升的衝擊、地域性的氣候改變及衝擊等問題的不確定

複雜及不確定的風險特性如下：

- (一) 必須在缺乏科學證據的情形下作出決定。
- (二) 錯誤決定所產生的衝擊可能影響深遠。
- (三) 價值常發生爭論。
- (四) 知識基本特性是存在很大的不確定、複雜的緣由、知識的鴻溝及不完全的了解。
- (五) 更多的研究不必然會減少不確定性。
- (六) 依據分析模式、情境設定、假設及推論來進行評估。
- (七) 許多隱藏的價值存在於有問題的架構。

所以，知識品質的評估是有需要的。應用科學的不確定性較低、專家諮詢的風險為中等，郵寄傳送的科學知識，則存在相當高的不確定（如圖3-39）。對於這類型的知識，因為存在不確定的缺點，所以必須慎重處理，如組成專家的技術小組，針對重要的議題交換意見，藉由民主的程序及知識品質評價工具來幫

助擬定政策者遵循此嚴謹的過程。

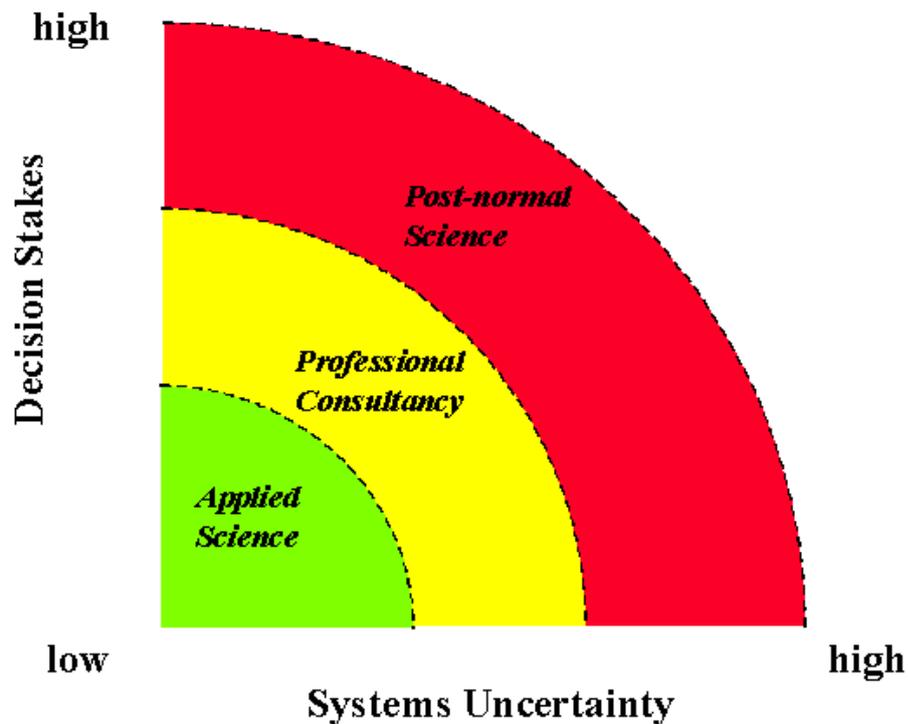


圖3-39 系統不確定性示意圖

之前的IPCC主席Bolin曾說：「在降低氣候不確定的目標下，我們無法確定這是容易達成的，而且耗費時間。無秩序的氣候系統只能某種程度的預測，我的的研究成果總是保持不確定性。探索不確定性的意義及特性，對科學團體而言，是一種基本的挑戰。」

Weiss曾提出證據的規模分為0至10級：

0. 不充足的、推測的
1. 沒有合理的懷疑根據
2. 有合理的、可分明的懷疑根據
3. 很可能的原因：有合理的信賴根據

4. 有清晰的跡象
5. 有多數的證據
6. 有豐富及可靠的證據
7. 有清晰的顯示
8. 有清晰的及有說服力的證據
9. 超過合理的懷疑
10. 事實上確定

處理不確定性問題的工具可利用敏感性分析(如圖3-40)、錯誤傳播方程式、專家導引、情境分析、查對表模式協助、假定分析等。

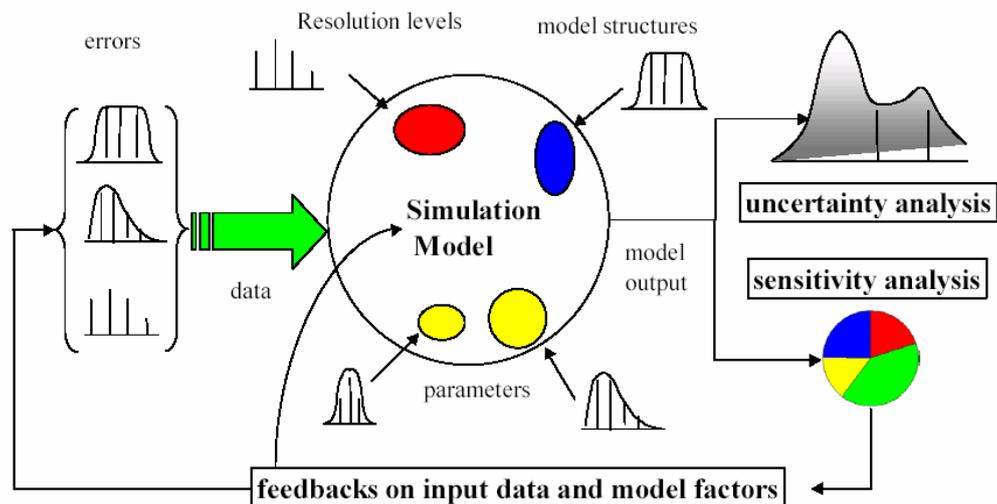


圖3-40 敏感性分析流程圖

IPCC的7個處理步驟如下：

1. 定義問題（研究地區、分區）
2. 選擇評估大部分處理問題的方法。
3. 試驗的方法、建構敏感性分析。
4. 選擇及應用氣候變遷情境。
5. 評估生物及社會經濟的衝擊。
6. 評估自發性的適應調整。
7. 評估適應調整的策略。

為了因應極端的氣候變遷情境（如格林蘭冰層溶化），堤防設計必須加高好幾倍來因應。（如圖3-41）

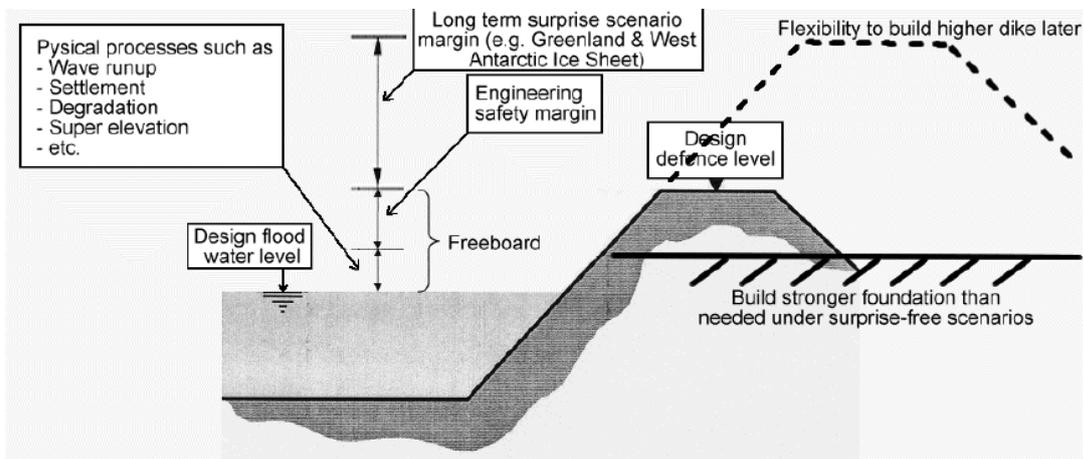


圖 3-41 堤防設計因應氣候變遷加高

## 九、水災風險管理循環及政策

以日本橫濱市為例，河川洪水流量隨著都市開發比例上升（如圖3-42）都市面臨防禦基礎結構不足的問題

題，主要因為缺乏防洪經費、所投資的經費對於中小型的暴風雨也很難保證一定安全、暴風雨管理系統改善不充分及暴風雨情況惡化等。

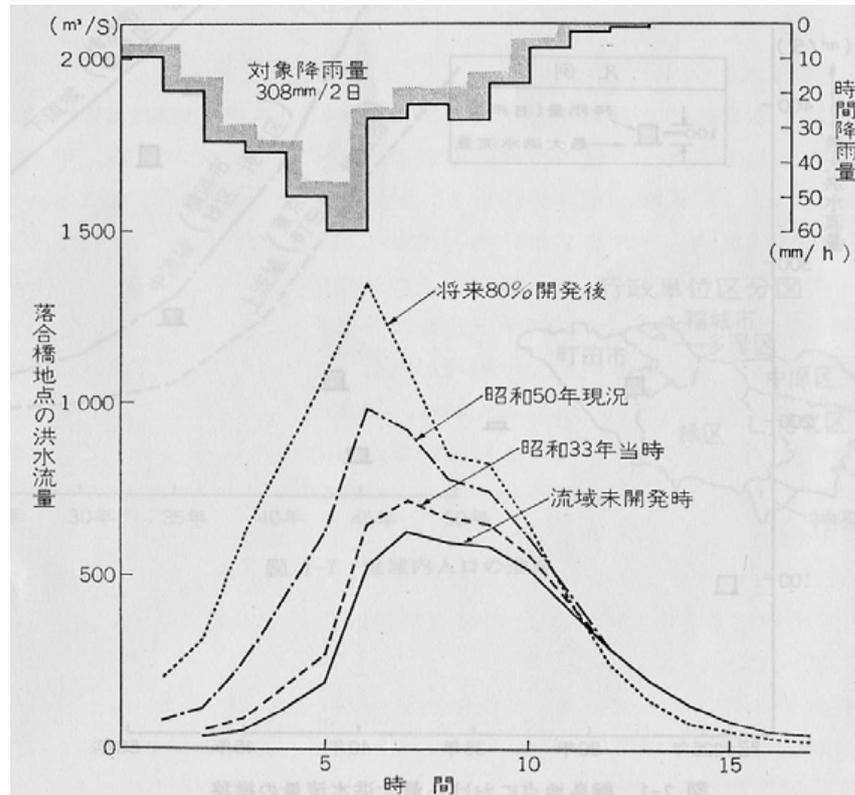


圖3-42 流量與都市開發比例關係

水災風險管理必須考慮的課題如下：

- (一) 過去的情況：水災歷史。
- (二) 水災保護設施：種類、設計標準、法規和管理、設施狀況。
- (三) 水災預測：洪水來源、預測可信度、預警時間。
- (四) 洪水特性：淹水深度、洪水流速、上升速率、波浪反應。
- (五) 經濟損失：風險的基礎結構、商業影響、公共

- (六) 社會面：無預警洪水、人口數、大自然避難所、社會瓦解。
- (七) 環境面：氣候變遷、環境敏感地區、長期及短期的衝擊。

水災風險管理政策：

- (一) 洪災管理：保險、洪水銀行、供水、灌溉等。
- (二) 稅制：日本不同城市有不同的城市稅、德國洪災實施減稅、英國赫爾市洪災減稅25%。
- (三) 補助金及保險政策：FEMA官員聲明洪災保險應由聯邦計畫給予補助金。
- (四) 季節性的、臨時的或長期的遷移。
- (五) 性別問題：大部分洪災受害者是小孩和女性。
- (六) 洪災控制。
- (七) 發展及洪災管理關聯。
- (八) 公眾教育。
- (九) 人類行為散發。
- (十) 防洪準備狀態緊急政策。
- (十一) 氣候變遷及政策調整（頻率、新方向、新策略）。
- (十二) 政策、立法、制度的改革。

(十三) 土地利用政策。

(十四) 跨越邊界的問題。

(十五) 其他部門的政策配合。

在1998至2004年間，歐洲遭遇超過100個主要的洪水侵襲，造成了超過25億歐元的損失，50萬人口遷移，700個人死亡，如2002年易北河潰堤造成許多地方淹水（如圖3-43）。2004年起，歐盟開始進行相關水災風險管理計畫，對於易淹水地區，水災風險地圖相當重要。依據主要的目的，可包含不同種類的資訊（如範圍、深度等），不同形式的地圖需要不同種類的背景資訊（洪水位、地表狀況、土地利用、人口密度及社區、重要的公共設施、高速公路等）。水災風險地圖可作為土地利用計畫、洪災保險、水災防護及緊急應變計畫、市民及商業等用途使用（如圖3-44~3-49）。



圖3-43 2002年易北河潰堤淹水情形



圖3-44 洪水範圍潛勢圖

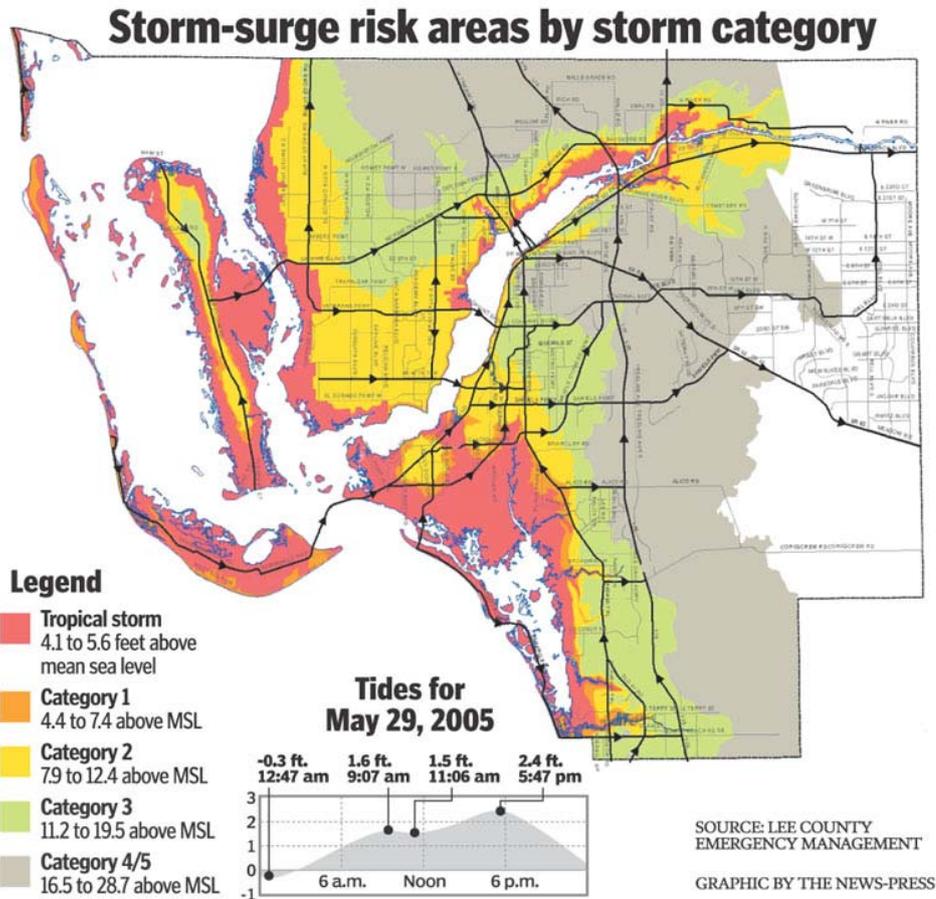


圖3-45 暴風雨侵襲風險地區圖

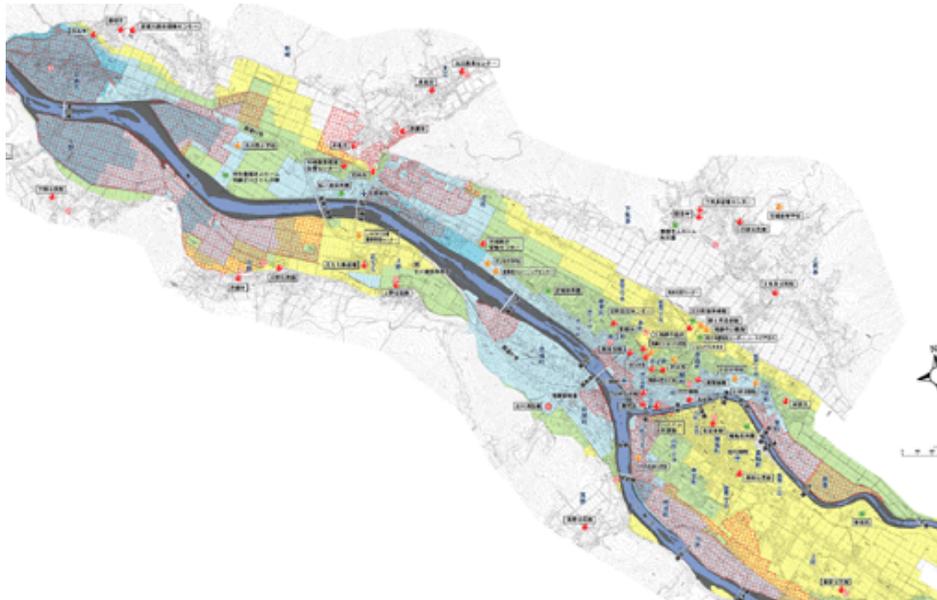


圖3-46 最大淹水深度圖

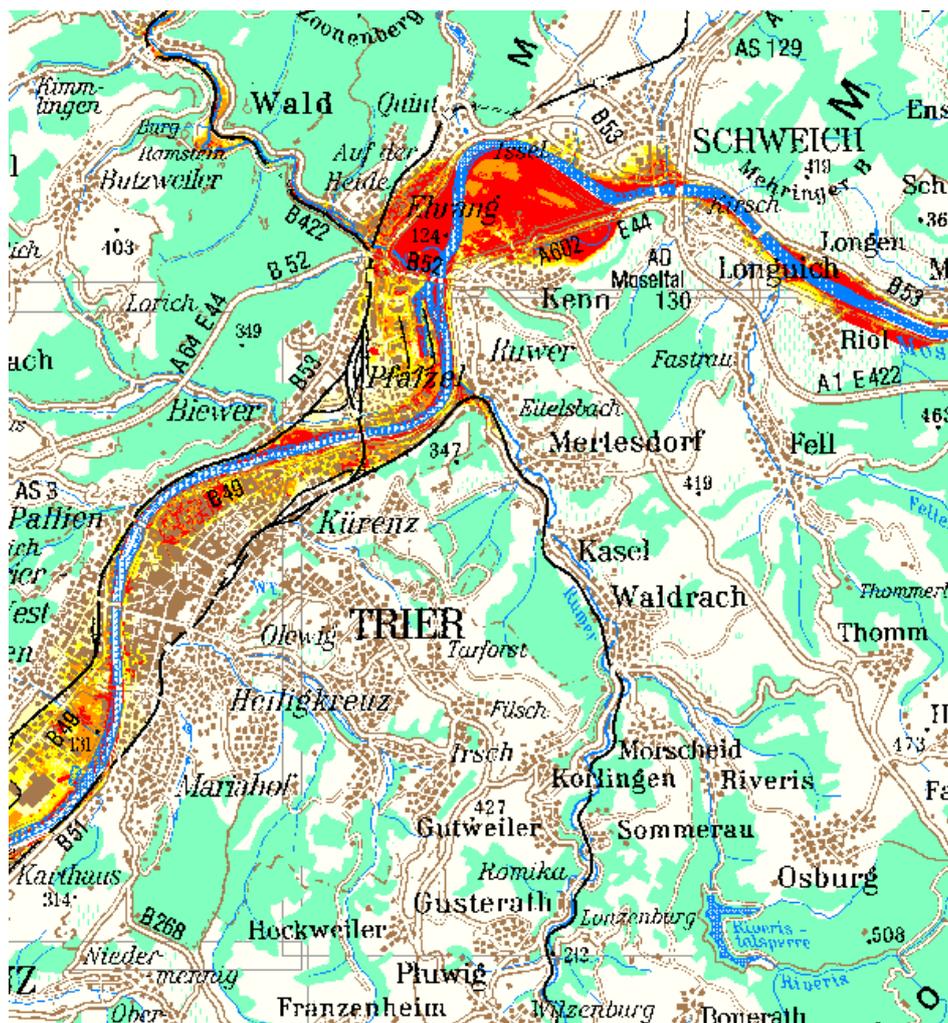


圖3-47 水災風險地圖



圖3-48 洪災保險使用之洪水風險地圖

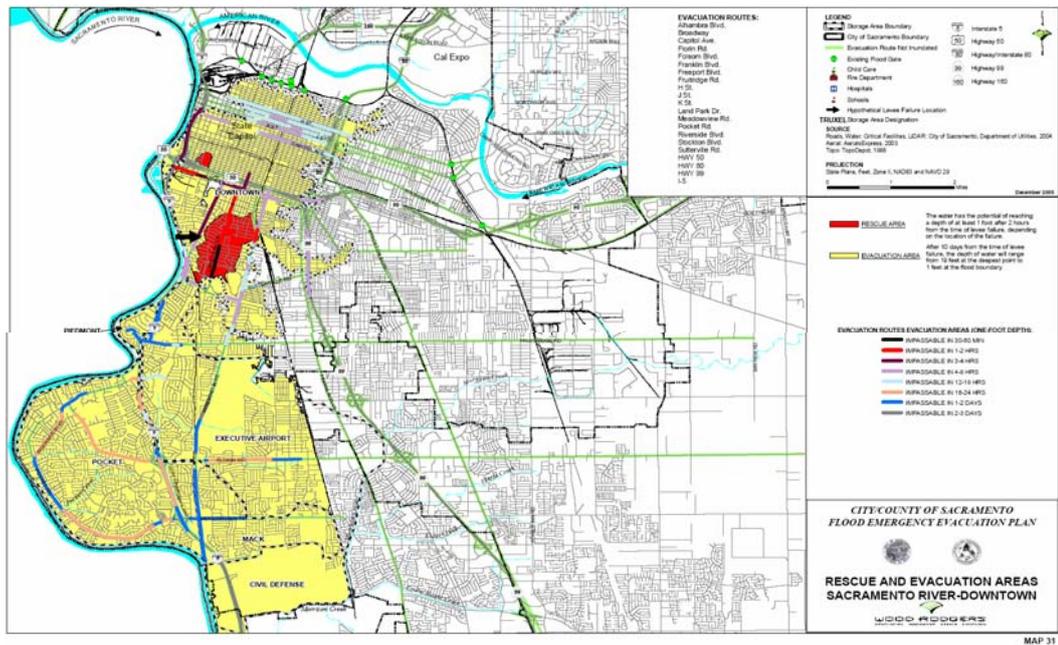


圖3-49 水災疏散計畫

## 十、 荷蘭三角洲委員會經驗

荷蘭是一個河流所形成的三角洲，主要的河川長度約600公里，流域跨越其他國家，海岸線長度大約350公里，約有9百萬人口居住在洪水位以下。防洪設施約3500公里、數以百計的水閘、排水道及抽水站。都市化仍持續發展，直到2030年，在易淹水地區，約有40萬新的房屋興建。依據三角洲委員會2008年的預測，直到2050年，海平面將上升0.4公尺；2100年上升0.65~1.3公尺；2200年上升2~4公尺（如圖3-50）。IPCC2007年預測在A1F1情境下到2100年時溫度將上升6°C、海平面將上升3公尺，水災發生的機會也同時增加，所以在出海口施作環狀防洪閘門來避免水患發生（如圖3-51）。

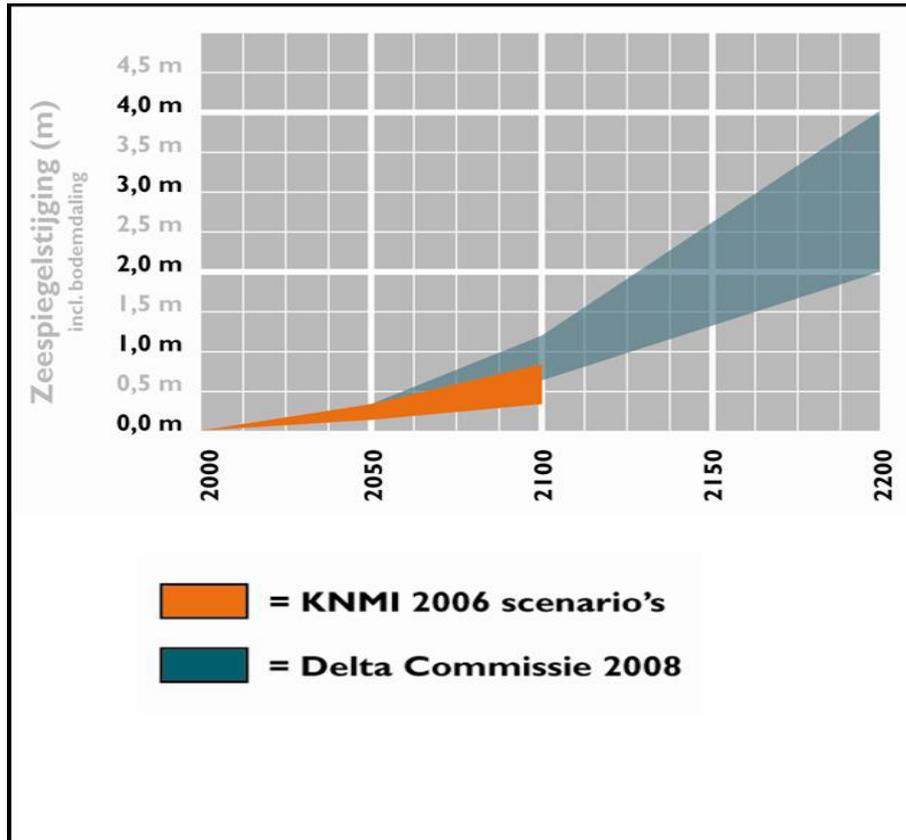


圖3-50 荷蘭三角洲委員會預測海平面上升情形



圖3-51 三角洲出口環狀防洪閘門

對於不確定的未來，在水的政策上關鍵點為經費無法負擔、社會不能接受以及技術上不可行，另外，發展的措施及評估，找出較佳的解決對策是必須努力的。在三角洲的人們，必須居住在易淹水地區，對於洪水保護必須降低人員傷亡、災害數量及損壞的潛勢，同時需避免堤防破壞並加強洪水風險管理。三角洲委員會是由部長級主管所領導，監督局長及所屬區域的行政長官適當的執行還地於河等計畫，三角洲基金財源是財源收入及長期貸款，在2050年以前，每年經費約12~16億歐元，2050~2100年，每年經費約9~15億歐元。

## 十一、氣候變遷對文化的影響

就文化的觀點而言，有一些方向可以來觀察，如世界各國對抗洪水方式有什麼差別？為何世界各國人民都不同的氣候發展有所回應？針對氣候變遷當我們說已準備好了所代表的意涵為何？

問題的種類及等級，可將知識基礎確定性當橫軸、標準及價值贊同度當縱軸來加以分類（如圖3-52）。文化理論只有格子和群體兩個座標軸（如圖3-53），藉由分析有助於了解社會差異性、預測社會特性及進行風險管理，其他可以當座標軸的有權力、

性別、處理不確定性、個別或共同的、非神聖的相對於神聖的等議題。

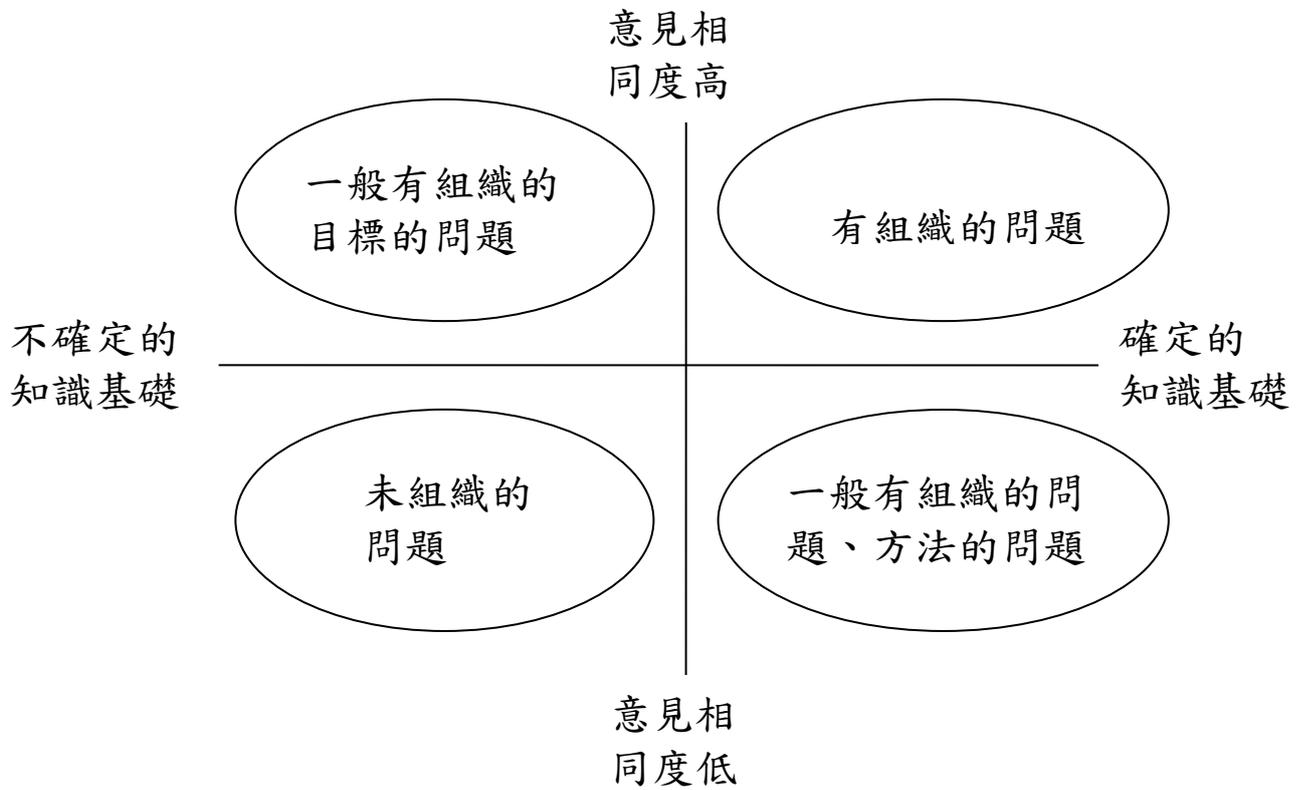


圖3-52 問題的種類及等級

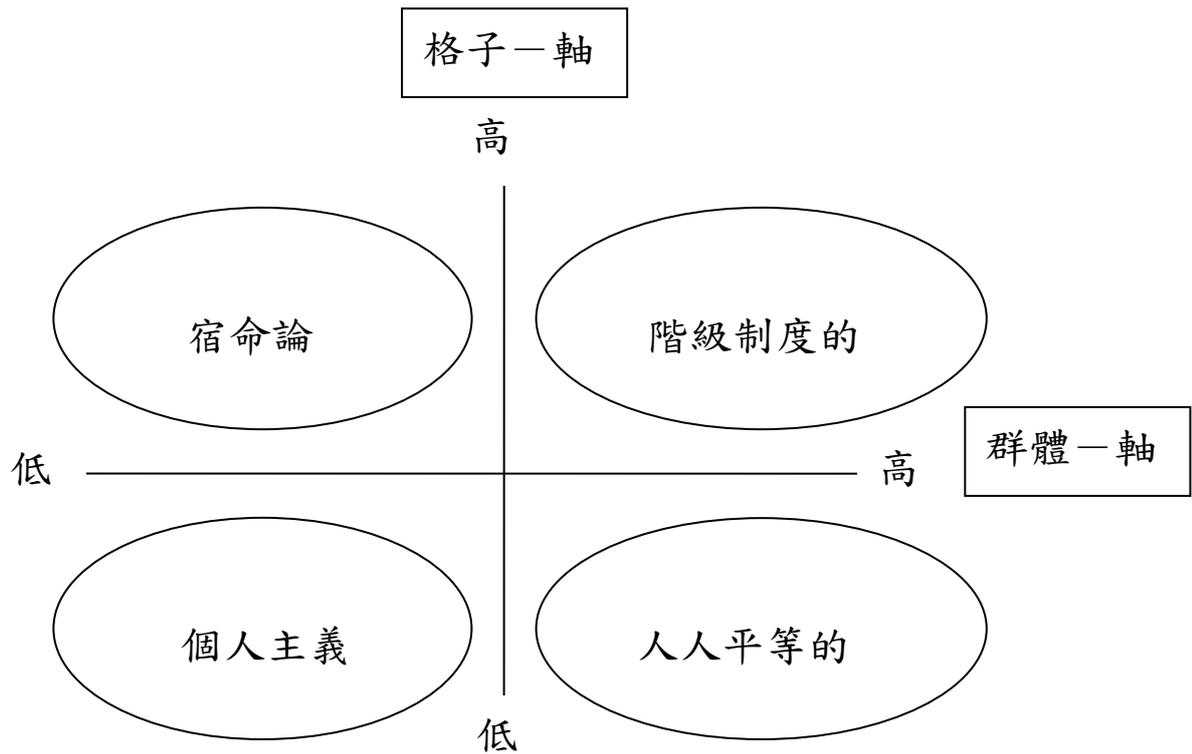


圖3-53 文化理論模式

## 十二、 分組報告

第一週課程結束前由各分組進行報告，分成亞洲國家非洲國家等幾個組別，針對不同地區所面臨氣候變遷下，對都市及、洪水、食物及環境的衝擊等議題，完成短篇分組報告。藉由分組討論的過程及報告，了解不同國家所面臨的問題及解決對策，對於經驗交流及分享有所助益（如圖 3-54）。



圖 3-54 分組報告

## 肆、 參訪行程

### 一、 Dordrecht市參訪行前介紹

**Dordrecht** 市位於鹿特丹市上游的一個河濱城市，位於馬斯河畔，整個流域分布圖詳圖 4-1。



圖 4-1 馬斯河流域分布圖

**Dordrecht** 市有一部分是以填土的方式成為一個人工島，房屋就建築在堤防上方，城市空照圖如圖 4-2、人工島照片如圖 4-3。



圖 4-2 Dordrecht 市空照圖



圖 4-3 Dordrecht 市人工島照片

Dordrecht 市從西元 1603 年至 1927 年，各區發展的情形詳圖 4-4。



圖 4-4 Dordrecht 市發展沿革

為了操作水位，街道必須以木板擋水，吊裝情形如圖 4-5。



圖 4-5 擋水吊裝情形

為了避免淹水，住戶門口設有插槽作為固定擋水版之用，如圖 4-6。人工島上方房屋實景詳圖 4-7。



圖 4-6 住戶門口擋水版插槽



圖 4-7 人工島上方房屋實景

Dordrecht 市目前 500 年頻率的水位高度，相當於模擬 100 年後在氣候變遷條件下 50 年頻率的水位高度；目前 10000 年頻率的水位高度，相當於模擬 100 年後在氣候變遷條件下 500 年頻率的水位高度，詳圖 4-8。

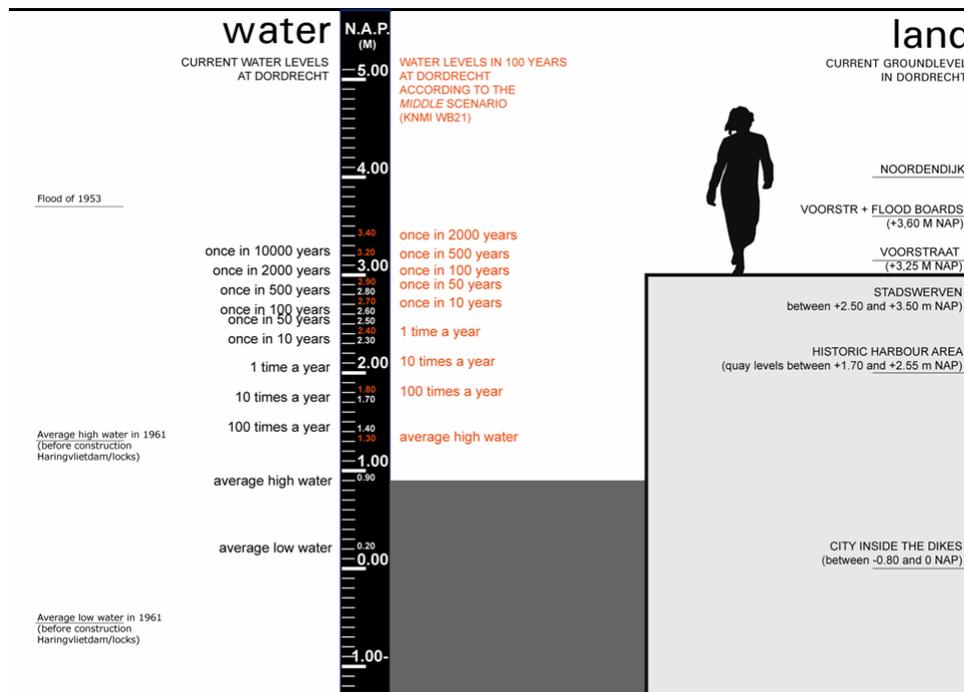


圖 4-8 Dordrecht 市氣候變遷下水位高度變化圖

## 二、 Dordrecht 市實地參訪

實地參訪出發前在校門口集合合影留念，詳圖 4-8。抵達 Dordrecht 市後，講師利用模型介紹港區分布情形及參觀重點，詳圖 4-9。



圖 4-9 出發前校門口合影留念



圖 4-10 講師利用模型介紹 Dordrecht 市

Dordrecht 市位於新馬斯河畔，上游為德國、下游是鹿特丹，市區地圖詳圖 4-11。



圖 4-11 Dordrecht 市地圖

為了避免淹水，家戶房屋門口普遍設有擋水板插槽，如圖 4-12。巷弄也設有操作水位的擋水板插槽，如圖 4-13。為了因應氣候變遷下水位可能提高情形，新闢堤防（街道）明顯高於舊有堤防（街道），如圖 4-14。人工島實景（照片右方），如圖 4-15。



圖 4-12 房屋門口擋水版插槽



圖 4-13 巷弄水位操作擋水版插槽



圖 4-14 新關堤防（街道）高於舊有堤防（街道）



圖 4-15 人工島實景

萊因河三角洲於 1953 年經歷大洪水，Dordrecht 市淹水高度標示於牆上作為紀念，約略為 1.55 公尺，詳圖 4-16。



**圖 4-16 淹水高度標示**

參觀結束後，於當地水利機構進行分組報告，並結束參訪行程，如圖 4-17。對於海岸地區城市，可於河川中上游開挖分洪隧道減少下游洪水量，在下游則需用閘門操作方式來進行水位調節控制。本次現地參訪的報告中，同學利用 SWOT 分析方式，來探討優勢與劣勢，是一個值得參考學習的解決問題模式。



圖 4-17 現地參訪分組報告

## 伍、電腦程式模擬

### 一、WEAP 二維模擬程式：

WEAP (Water Evaluation And Planning) 二維模擬程式，由位於斯德哥爾摩環境工業的美國中心所發展，是一個綜合模擬水資源運用計畫的系統，適用於 Windows 98、2000、NT、XP 等作業系統，記憶體容量需求為 256MB，已發展出多種語言版本，是一套簡單易學的作業系統。系統功能包含水資源的分配(農業用水、都市用水及環境需求)，綜合了供給量、需求量、水質及生態等面向，是一個實用的水資源計畫系統。WEAP 基本運算是依據水平衡原理，可應用於都市及農業系統、單一的流域或複雜的河川流域系統，模擬流域內的自然現象及工程設施組成的系統。

WEAP 主要的特色如下：

- (一) 綜合的模擬：綜合水資源計畫的估算。
- (二) 程序透明化：透明的結構進行分析。
- (三) 水量平衡：運用結點結構質量平衡模式來維持

- (四) 模擬基礎：計算水的需求量、供給量、排出量、入滲量、流量、儲存量、污染量、水處理量、在不同情境下流出水的品質等。
- (五) 政策的情境：WEAP 可以評估整個區域水的發展和管理功能，進行複合的用水系統計算。
- (六) 友善的操作介面：利用 GIS 圖層介面，可依使用者需要輸出圖形和表格。

WEAP 應用分析的步驟如下：

- (一) 研究的界定：現在的及空間的系統組成條件，如流域系統、相關工程設施。
- (二) 目前的條件敘述：實際的情況簡要背景條件設定。
- (三) 情境模擬：如氣候變遷的衝擊、水文學方面的政策、用水需求量、供給量及污染量等。
- (四) 運算評估：經費及效益、對主要變數不確定性的敏感程度。

案例演練：

- (一) 建立分析的區域：開啟系統程式後，首先

- (二) 在區域內加入 GIS 圖層：加入 GIS 地圖可以更容易建立區域的邊界範圍。
- (三) 儲存區域名稱。
- (四) 設定基本參數：設定分析期間（如 2000 年到 2005 年），每年分析的步驟（如 12 個月）。
- (五) 儲存分析區域的版本名稱：在區域目錄下選擇儲存版本名稱，可輸入名稱為「一般參數設定」。
- (六) 畫出河川形狀：繪製河川形狀並予命名存檔。
- (七) 輸入河川資料：輸入每月流量數據。
- (八) 建立都市位址及相關數據，並設定用水優先次序，輸入城市人口數及每年用水量及所產生廢水量百分比（如 15%）。
- (九) 建立農業區域，並設定用水優先次序，輸入農業區域面積（公頃）及每公頃用水量、

- (十) 連接需求量及供給量：系統將依據用水優先順序及高度及低度滿足用水需求區間內來進行分配。
- (十一) 建立回流水連結：將都市及農業區域剩餘水回流至河川，設定回流量百分比。
- (十二) 執行程式運算得到初步結果。
- (十三) 檢視分析結果繪出圖表。

## 二、DELFT 3D三維模擬程式：

DELFT 3D 分析模式是由 IHE 所發展，包含了水文學、生態學、沖積物、水質、波浪及型態學等模式(如圖 5-1)，運用於海岸地區研究，可分析在氣候變遷情況下海岸地區產生的影響，如洪水位、土壤鹽化程度等。Window 系統下首頁(如圖 5-2)、主目錄(如圖 5-3)。

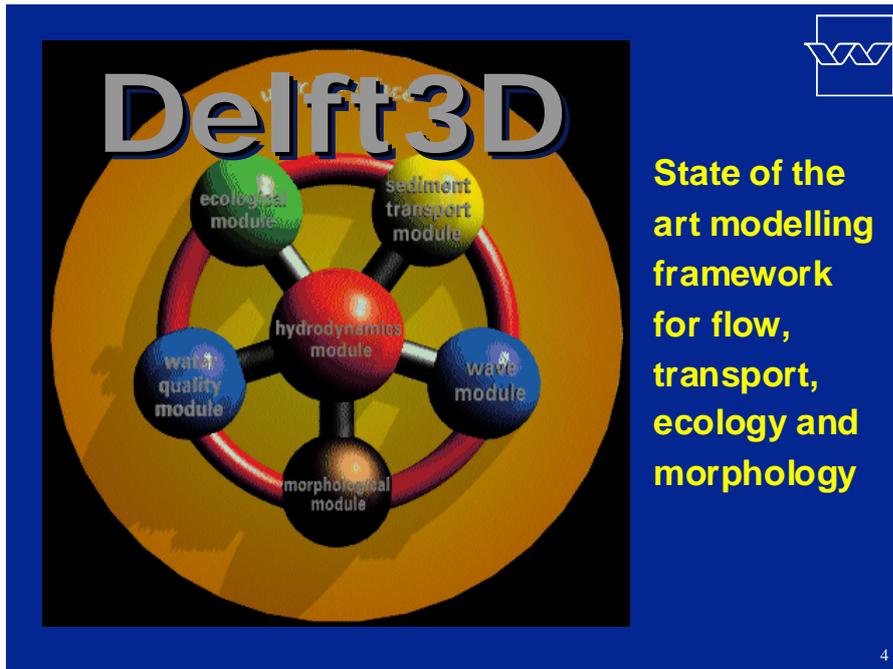


圖 5-1 DELFT 3D 程式架構



圖 5-2 DELFT 3D 於 Window 系統下首頁

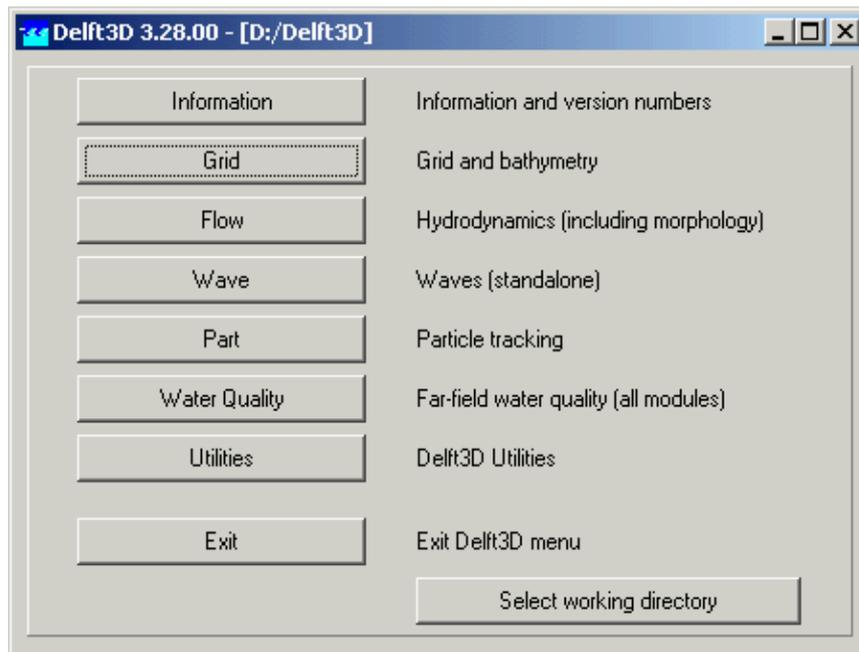


圖 5-3 DELFT 3D 於 Window 系統下主目錄

DELFT 3D 分析的步驟如下：

- (一) 模式建立：建立分析區域數值分析格網圖(如圖 5-4)。

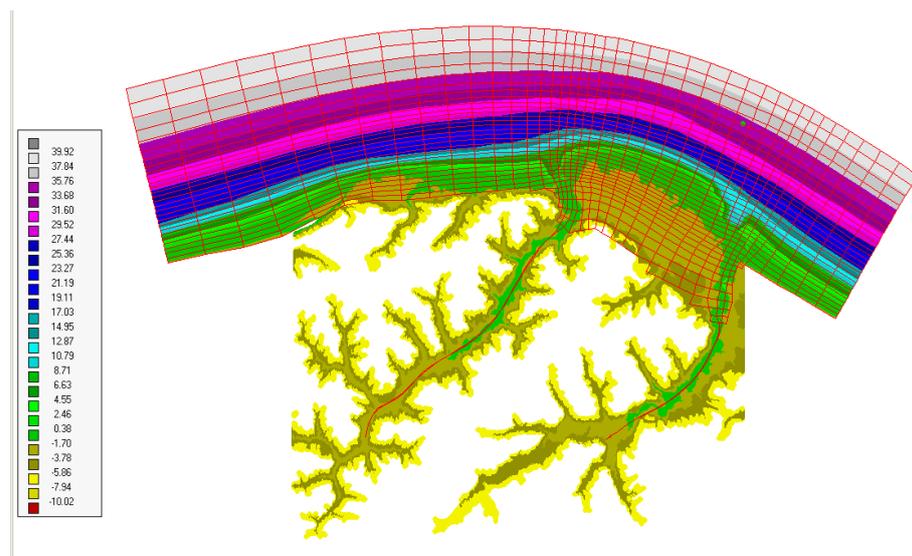


圖 5-4 DELFT 3D 數值分析格網圖

(二) 執行程式：於檔案目錄中找出 run.bat 檔案

(如圖 5-5)。

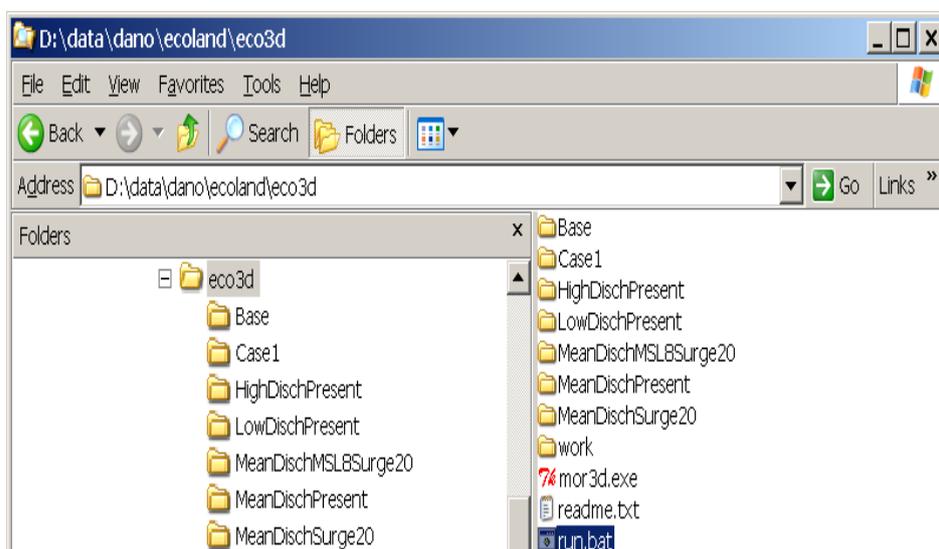


圖 5-5 DELFT 3D 執行程式

(三) 編輯輸入參數檔案：編輯 run.bat 檔案 (如圖

5-6)。

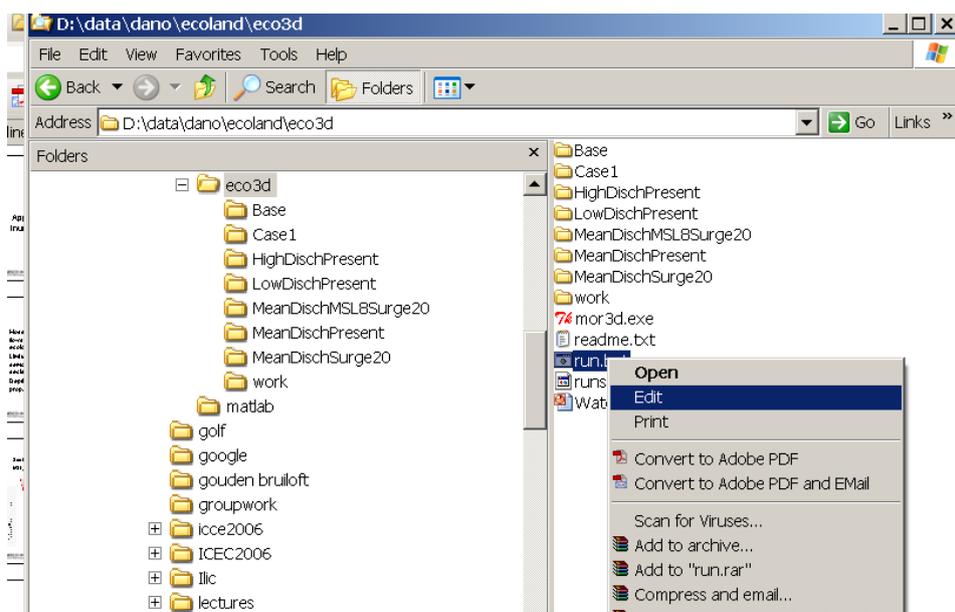
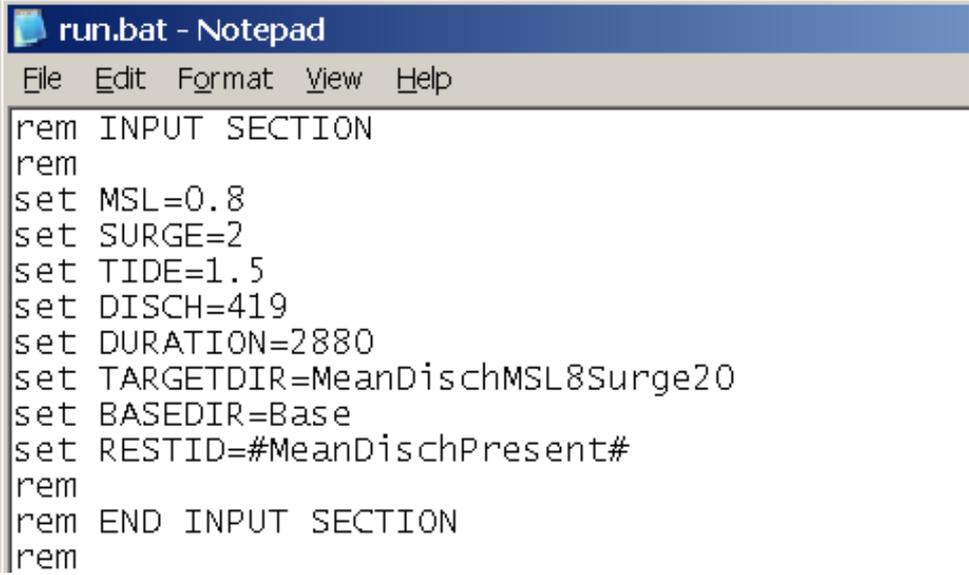


圖 5-6 DELFT 3D 編輯輸入參數檔案

- (四) 輸入參數：需輸出的參數為平均海平面、暴風雨期間最大浪高（公尺）、河川流量（立方公尺/秒）、分析時間（分鐘）、輸出檔名、河川流量初始情況（高、中、低）（如圖 5-7）。



```
run.bat - Notepad
File Edit Format View Help
rem INPUT SECTION
rem
set MSL=0.8
set SURGE=2
set TIDE=1.5
set DISCH=419
set DURATION=2880
set TARGETDIR=MeanDischMSL8Surge20
set BASEDIR=Base
set RESTID=#MeanDischPresent#
rem
rem END INPUT SECTION
rem
```

圖 5-7 DELFT 3D 編輯參數

- (五) 執行程式：按鍵按兩下執行 run.bat。
- (六) 檢視分析結果繪出圖表（如圖 5-8~5-9）。

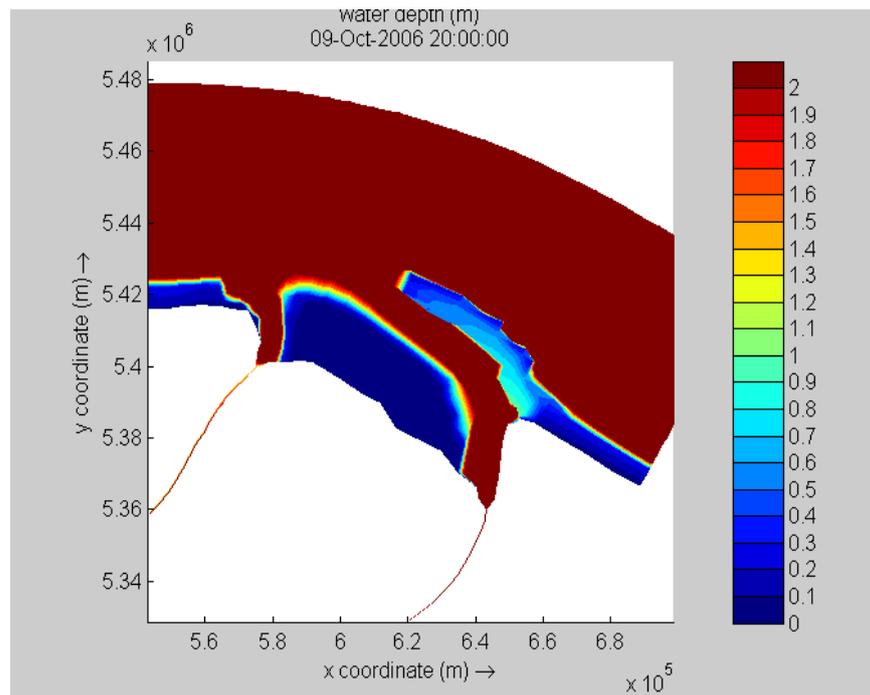


圖 5-8 DELFT 3D 分析結果—水深分布圖

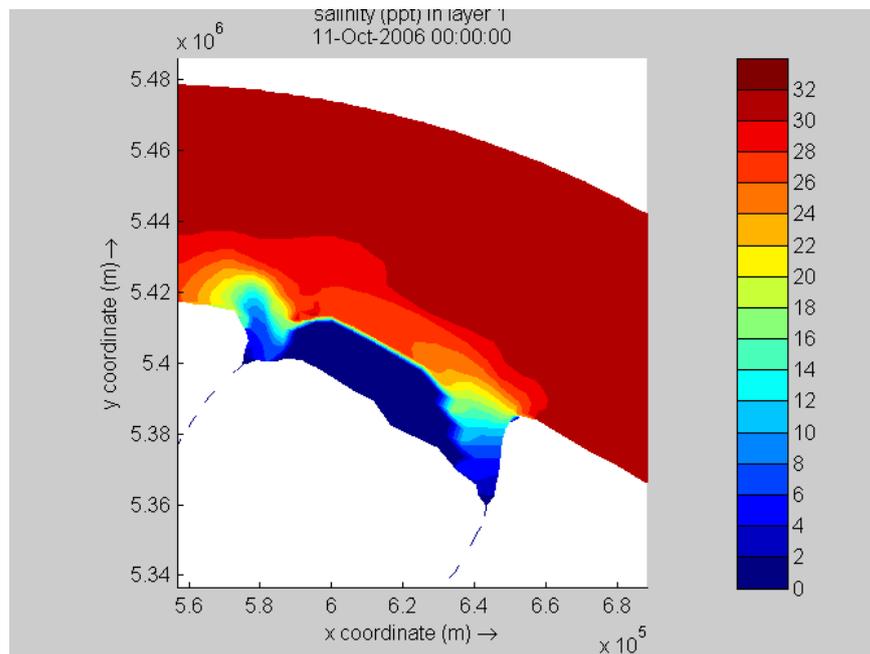


圖 5-9 DELFT 3D 分析結果—土壤鹽化程度分布圖

## 六、結論與建議

### 一、結論

近年來國際間天災頻仍，氣候變遷所帶來的極端氣候條件發生頻率增加。重現期距超過保護標準的降雨，造成許多國家飽受淹水之苦。另外，由於降雨不平均，旱災情形也更加嚴重。所以，國土規劃問題必須儘早研謀妥適對策。在莫拉克風災造成台灣承受極大的災害損失，或許也是一個契機，讓國人深體認大自然的力量，非人為的工程措施可以抵擋，不適合居住的地區，應藉由「國土規劃法」立法程序來限制開發，但是應有完善的配套。

在氣候變遷情況下，既有的規劃及設計保護標準多已失真，必須進行檢討現有防洪構造物安全標準，並提出改善方案或研提相關配套措施。預算不可能無限制的增加，例如堤防設計必須加高多少才足夠？必須在經濟面、社會接受度方面找到一個平衡點。更重要的是加強對民眾宣導相關資訊，以避免民怨並提高對政府信賴程度。

根據研究，即使污染不再增加，反應仍需持續 100 年，更何況污染不增加幾乎是不可能的事。如何降低溫室氣體的效應，已經成為全球性的課題，碳權信用化及交易化的觀念是一個可以採納的方法，國內林務局已有平地造林的計畫，在台灣西南部沿海的低窪地區，應考量以改變土地利用的方法，避免因養殖業抽取地下水造成地層下陷問題持續惡化。對於海岸線退縮的問題，海砂補注工程及填海造地的工程，也可考慮因地制宜來實施。

都市將形成熱島效應，未來的白天溫度將比現在來的高。一般而言，都市化也會造成都市周圍降雨量增加，尤其是都市開發地下化的結果，使都市地區面臨新的洪災風險。氣候變遷也造成都市水循環系統之衝擊，必須就水資源供應的質與量、水處理系統及輸送系統來進行改善。洪水保險及非工程手段如避洪減災措施，都是必須加強宣導與實施的方針。

氣候變遷的相關研究，因假設條件不同，分析結果存在很大的差異。我們可以藉由國外開發數值分析

模擬程式的經驗，找出適合台灣自己的預測模式及參數，作為政策擬定及規劃設計的參考。

國內已開始正視氣候變遷這個課題，就水的領域而言，97年經建會召開「氣候變遷之淹水衝擊評估及調適策略研議」，共有2場次專家座談會議，建議政府成立「治水辦公室」、效法歐盟制定「洪水法」等寶貴意見，可作為後續政策研擬的準繩。

## 二、建議

- (一) 洪災風險圖對於告知百姓可能遭遇之洪水危害程度甚有幫助，在成果成熟的前提下，適度公開是值得考慮的方向。
- (二) 洪災保險推動上涉及風險較高，保險公司恐無法單獨承保，需推動聯合承保方式，惟再保困難的因素仍需克服。
- (三) 為了學習國外對於氣候變遷對水及環境相關議題研究成果，和各國學生進行經驗分享，建議爾後仍繼續派遣人員出國研習，有助於治水對策之研擬。