

經濟部水利署出國研習報告

荷蘭國際水利環境工程學院

洪災風險管理研習

**UNESCO-IHE**

**Flood Risk Management Short Course**

出國地點：荷蘭-台夫特 (The Netherlands, Delft)

出國日期：102 年 6 月 8 日~ 30 日

出國人員：經濟部水利署水利規劃試驗所 工程員 張逸凡

中華民國 102 年 9 月

## 出國報告審核表

出國報告名稱：荷蘭國際水利環境工程學院-洪災風險管理研習				
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位		
張逸凡	工程員	經濟部水利署水利規劃試驗所		
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 研習 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)			
出國期間：102年6月8日至102年6月30日		報告繳交日期：102年9月6日		
出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審 核 項 目		
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」) 3.無抄襲相關資料 4.內容充實完備 5.建議具參考價值 6.送本機關參考或研辦 7.送上級機關參考 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> (4) 抄襲相關資料之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> (5) 引用相關資料未註明資料來源 <input type="checkbox"/> (6) 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> (7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> (1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> (2) 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> (3) 其他 _____ 10.其他處理意見及方式：		
出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)		計畫主辦機關 審核人	一級單位主管簽章	機關首長或其授權人員簽章
				

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「[公務出國報告資訊網](#)」為原則。

# 目錄

目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
摘要.....	IX
第壹章 前言.....	1-1
一、緣起.....	1-1
二、研習內容及行程.....	1-1
三、研習目的.....	1-2
四、研習單位.....	1-2
第貳章 受訓課程內容.....	2-1
一、課程內容介紹.....	2-1
(一)目標.....	2-1
(二)課程大綱.....	2-1
(三)授課師資.....	2-3
(四)參與學員.....	2-3
二、課程內容說明.....	2-5
(一)洪災風險管理簡介.....	2-5
(二)洪災風險分析.....	2-12
(三)洪災風險管理的不確定性.....	2-17
(四)氣候變遷與洪災風險管理.....	2-22
(五)洪災風險管理措施.....	2-28
(六)洪災損失及脆弱度.....	2-33
(七)荷蘭還地於河政策.....	2-40
(八)英國的洪災風險管理長期規劃.....	2-48
(九)FLOODsite 計畫簡介.....	2-57

(十)洪災風險圖.....	2-62
(十一)洪災風險圖上機實作.....	2-71
(十二)現地參訪-馬仕朗防潮閘(Maeslant Barrier) .....	2-94
第參章 心得與建議.....	3-1
一、心得.....	3-1
二、建議.....	3-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 參訓證明.....	附 1-1
附錄二 重要文獻.....	附 2-1

## 表目錄

表 1 課程大綱.....	1-2
表 2 經濟或財物分析比較表.....	2-16
表 3 間接損失和無形損失內容一覽表.....	2-16
表 4 洪災風險分析系統說明一覽表.....	2-20
表 5 洪災損失類型分類表.....	2-33
表 6 不同洪水事件案例表.....	2-34
表 7 英國洪水危險指標定義表.....	2-83
表 8 分區人口及人口密度表.....	2-85
表 9 SFVI 值說明.....	2-85
表 10 不同土地利用最大可能災損表.....	2-92

## 圖目錄

圖 1 參訓學員照片 .....	1-4
圖 2 短期課程學員照片 .....	1-4
圖 3 歷年歐盟洪災事件示意圖 .....	2-6
圖 4 洪災風險及防洪支出循環圖 .....	2-6
圖 5 風險分析模式示意圖 .....	2-8
圖 6 洪水系統示意圖 .....	2-8
圖 7 洪災風險管理示意圖 .....	2-9
圖 8 英國洪災風險管理系統流程圖 .....	2-10
圖 9 荷蘭政策檢視循環圖 .....	2-11
圖 10 風險定義示意圖 .....	2-12
圖 11 洪災傳播路徑案例圖 .....	2-14
圖 12 接受者案例圖 .....	2-14
圖 13 風險分析示意圖 .....	2-20
圖 14 歐盟夏季溫度趨勢圖 .....	2-23
圖 15 歐盟歷年海平面變化趨勢分布圖 .....	2-23
圖 16 預測未來歐盟百年洪水量變化趨勢分布圖 .....	2-24
圖 17 英國未來降雨趨勢預測分布圖 .....	2-25
圖 18 氣候變遷模式不確定性示意圖 .....	2-27
圖 19 洪災風險管理工程措施示意圖 .....	2-32
圖 20 災害損失計算示意圖 .....	2-34
圖 21 水利-經濟預期年災損模式示意圖 .....	2-35
圖 22 考量防洪工程效益之水利-經濟預期年災損模式示意圖 .....	2-36
圖 23 災害風險因子示意圖 .....	2-37
圖 24 災害、脆弱度及洪災風險關係圖 .....	2-38
圖 25 各洲 PVI 指標圖(1985 年至 2000 年) .....	2-39

圖 26 各洲 LDI 指標圖(1996 年至 2000 年).....	2-39
圖 27 不同災害情境下總合風險圖 .....	2-39
圖 28 還地於河措施示意圖 .....	2-41
圖 29 還地於河措施示意圖 .....	2-41
圖 30 還地於河措施示範區分布圖 .....	2-42
圖 31 Waal 河相關位置圖 .....	2-43
圖 32 Waal 河還地於河措施示意圖 .....	2-43
圖 33 Waal 河還地於河願景圖 .....	2-44
圖 34 Overdiepse Polder 位置示意圖.....	2-45
圖 35 Overdiepse Polder 現況不同洪水位示意圖.....	2-45
圖 36 Overdiepse Polder 計畫案不同洪水位示意圖 .....	2-46
圖 37 不同人士對防洪措施想法示意圖 .....	2-47
圖 38 英國 1998 年洪水受災情況 .....	2-49
圖 39 英國國家資產風險研究-土地分區圖 .....	2-50
圖 40 英國國家資產風險研究-英國各分區財產可能承受風險示意圖	2-51
圖 41 英國國家資產風險研究-防洪投資效益示意圖 .....	2-51
圖 42 社會經濟發展情境 .....	2-53
圖 43 英國年平均災損四種情境預測圖 .....	2-54
圖 44 FLOODsite 計畫參與國家分佈圖 .....	2-57
圖 45 破堤過程示意圖 .....	2-58
圖 46 破堤試驗過程圖 .....	2-58
圖 47 破堤模式圖 .....	2-59
圖 48 可靠度分析示意圖 .....	2-60
圖 49 不同尺度生命損失模型空間分布示意圖 .....	2-61
圖 50 生命損失模型示意圖 .....	2-61
圖 51 洪災風險示意圖 .....	2-63

圖 52 洪災風險三角形示意圖 .....	2-63
圖 53 整合洪災管理模式 .....	2-65
圖 54 歐盟洪災潛勢圖 .....	2-70
圖 55 洪災暴露量指標圖(根據人口密度).....	2-70
圖 56 洪災脆弱度圖(根據 GDP).....	2-70
圖 57 歐盟洪災風險潛勢圖 .....	2-70
圖 58 數值地形圖 .....	2-73
圖 59 HEC-RAS 河系圖 .....	2-74
圖 60 利用 HEC-RAS 檢視斷面圖 .....	2-74
圖 61 洪水範圍圖 .....	2-75
圖 62 洪水深度圖 .....	2-76
圖 63 洪泛範圍及淹水深度圖 .....	2-77
圖 64 洪水流速案例圖 .....	2-78
圖 65 格網計算器圖 .....	2-79
圖 66 洪水流速圖 .....	2-80
圖 67 洪水剪應力分布案例圖 .....	2-81
圖 68 洪水剪應力圖 .....	2-81
圖 69 英國洪水危險圖 .....	2-82
圖 70 洪水危險指標計算圖 .....	2-83
圖 71 洪水危險圖 .....	2-83
圖 72 社會洪災脆弱度指標圖 .....	2-86
圖 73 洪水災害圖(以 Latvia 為例) .....	2-87
圖 74 脆弱設施分布圖(以台夫特為例).....	2-87
圖 75 脆弱設施分布圖 .....	2-88
圖 76 台夫特洪災風險圖 .....	2-89
圖 77 防洪措施圖資(以英國倫敦為例).....	2-90

圖 78 防洪措施失敗模擬圖資(以荷蘭倫敦為例).....	2-90
圖 79 經濟損失圖資(以德國為例).....	2-91
圖 80 洪水深度-災損曲線示意圖 .....	2-92
圖 81 洪災損失圖 .....	2-93
圖 82 防潮閘位置示意圖 .....	2-95
圖 83 防潮閘方案設計圖 .....	2-95
圖 84 防潮閘空照圖 .....	2-96
圖 85 防潮閘局部模型 .....	2-97
圖 86 防潮閘現地參訪 .....	2-97
圖 87 解說員解說防潮閘 .....	2-98
圖 88 歷史洪水災害體驗館 .....	2-98
圖 89 防潮閘教育宣導兒童繪本 .....	2-99
圖 90 防洪教育宣導漫畫 .....	2-99
圖 91 兒童親水教育區 .....	2-99



## 摘要

參加荷蘭國際水利環境工程學院(UNESCO-IHE)辦理之「洪災風險管理(Flood Risk Management)短期課程」，研習目的係了解洪水風險管理的主要原則；荷蘭及歐洲洪災風險管理的實務經驗；及熟悉現今應用於洪水風險管理的水利科技工具(如數值模式等)；並加以應用。

短期課程主要包含課堂講授、數值模式電腦上機教學實作以及現地參訪。講授課程內容包含了洪災風險管理介紹、風險分析、不確定性、措施、洪災損失及脆弱度、荷蘭與英國政策以及相關研究應用成果等。為學習如何製作洪災風險圖等圖資，安排實際電腦上機課程。最後，現地參訪鹿特丹附近的馬仕朗防潮閘，了解其設計及營運；以及過去荷蘭三角洲計畫背景。

藉由本次研習，了解歐洲洪災風險管理機制及政策、荷蘭新防洪政策「還地於河」的背景及案例、脆弱度與民眾防災意識相互關係。建議後續建置洪災風險圖，可增加脆弱度圖層，並建置 GIS 系統，將圖資整合管理。持續蒐集歐洲洪災風險管理資料，並加強和亞洲鄰近國家技術合作及交流。

關鍵字：洪災、洪災風險管理、荷蘭、歐盟



# 第壹章 前言

## 一、緣起

近來世界各地洪災頻仍，引起各國政府高度重視，例如歐盟公布洪水指令，呼籲各會員國對於洪水風險管理採取一致的行動，並擘劃了進程(2011年完成初步洪災風險評估、2013年完成洪災風險圖、2015年達成洪災風險管理)，並因此成立相關組織平台，進行技術及研究交流；以及增進溝通。而所謂的洪災風險，除了洪澇淹水程度(flood inundation)之外，更隨著接受者脆弱度大小而有所不同，是故，如何估計脆弱度，進而繪製洪災風險圖，以提供決策者進行洪災風險管理，是必須研究的課題。

荷蘭國際水利環境工程學院(UNESCO-IHE)於本年6月10日至28日於台夫特(Delft)舉辦「洪災風險管理(Flood Risk Management)短期課程」，課程涵蓋歐洲洪災管理實務經驗及最新洪災風險管理之分析工具(如洪災風險地圖及決策支援系統等)。

## 二、研習內容及行程

本次赴荷蘭參加 UNESCO-IHE 舉辦之「洪災風險管理(Flood Risk Management)短期課程」，學習荷蘭及歐洲洪災風險管理之原則及分析技術，並與各國參訓代表進行技術交流。

日期	內容及行程
102 年 6 月 8~9 日	啟程 (台北→阿姆斯特丹→Delft)
102 年 6 月 10~28 日	報到註冊 (6 月 10 日) 參與「洪災風險管理」短期研習課程
102 年 6 月 29~30 日	返程(Delft→阿姆斯特丹→台北)

### 三、研習目的

藉由參與本次短期研習課程，瞭解荷蘭及歐洲洪災風險管理最新觀念與技術，並蒐集相關資料，與各國參訓代表及專家學者們交換經驗與心得，俾利本署未來相關業務之推動。

### 四、研習單位

荷蘭國際水利環境工程學院(UNESCO-IHE)，其前身是創立於 1957 年的荷蘭國際水利研究機構(IHE)，於 2003 年聯合國教科文組織與荷蘭政府，共同成立國際水利環境工程學院(UNESCO-IHE)，因而轉型為一聯合國下水利教學機構。

1957 年至今，該學院培訓了 14,500 位畢業生，來自 160 個國家，有 87% 畢業後在水利領域持續貢獻。

該學院研究方向如下：

- 安全飲水和衛生
- 洪水災害和氣候變遷
- 水及生態系統
- 水資源管理及治理
- 水、糧食及能源安全
- 資訊及知識系統

## 第貳章 受訓課程內容

### 一、課程內容介紹

#### (一)目標

- 了解洪水風險管理的主要原則;
- 了解現今應用於洪水風險管理的水利科技工具(如數值模式等);
- 了解歐洲洪災風險管理的經驗;
- 理解洪水預報、預警和不確定性等關聯議題;
- 熟悉不同的洪水預報模型;
- 藉由實務經驗，逐步建立洪水淹沒模型、洪水風險圖及洪水災害圖等。

#### (二)課程大綱

課程為期三週(102年6月8日~6月30日)，分為課堂講授、數值模式電腦上機教學實作以及現地參訪。講授課程包括洪災風險管理介紹、風險分析、不確定性、措施、洪災損失及脆弱度、荷蘭及英國政策以及相關研究應用成果等。為學習如何製作洪災風險圖等圖資，幾乎佔課程一半時間，安排實際電腦上機課程。最後，安排參訪鹿特丹附近的馬仕朗防潮閘，了解其設計及營運；以及過去荷蘭三角洲計畫背景。本次課程內容大綱如表 1。

表 1 課程大綱

編號	課程	內容說明
1	洪災風險管理簡介	簡介歐洲洪災歷史、思惟、洪災風險管理概念
2	洪災風險分析	洪災風險分析模型架構及內容(來源、路徑、接受者及後果)
3	洪災風險管理的不確定性	不確定性組成、分析系統、如何評估；及建立較佳系統
4	氣候變遷與洪災風險管理	對歐盟影響、英國因應作為、其與洪災風險管理關係、
5	洪災風險管理措施	以虛擬城鎮說明洪災風險管理的工程措施
6	洪災損失及脆弱度	洪災損失(類型、如何估計)；脆弱度(定義及其指標)
7	荷蘭還地於河政策	緣由、措施及案例
8	英國的洪災風險管理長期規劃	介紹其發展進程及成果
9	FLOODsite 計畫簡介	介紹 FLOODsite 計畫成果
10	洪災風險圖	概念、歐盟洪水指令、洪災風險圖之建立與應用
11	洪災風險圖上機實作	藉由 HEC-RAS 及 ARCGIS 軟體操作，建立洪泛圖，並增加脆弱度資料，經幾算指標後，製作洪災風險圖
12	現地參訪-馬仕朗防潮閘 (Maeslant Barrier)	解說中心了解興建緣由及過程；操作現場了解運作實務

### (三)授課師資

課程由 UNESCO-IHE 洪災風險管理學程 Dr. B. Bhattacharya 教授規劃，並邀請相關專家予以教學，師資如下：

- Dr. B. Bhattacharya：課程召集人，UNESCO-IHE 博士，現於 UNESCO-IHE 洪災風險管理學程授課，主要講授洪災風險管理概論、洪災風險圖概念及建置實務。
- Dr. Samuels：英國眾多政策制定主要參與者，主要講授洪災風險分析模式及其不確定性、英國洪災風險管理長期規劃。
- Dr. Werner：參與許多歐盟研究計畫，主要講授洪災損失及脆弱度。
- Dr. Klijn：荷蘭眾多政策制定主要參與者，講授荷蘭洪災風險管理政策；及還地於河政策及案例。
- Dr. Corzo Perez and Dr. Kun Yan：UNESCO-IHE 博士生，主要協助數值模式電腦教學。

### (四)參與學員

學員計 40 人，除 7 位短期研習課程學員外，其餘均為 UNESCO-IHE 的碩士班學生，來自於不同學程，包含洪災風險管理、水利科技、水資源管理、水利工程及流域發展等學程(照片如圖 1、圖 2)。



圖 1 參訓學員照片



圖 2 短期課程學員照片

## 二、課程內容說明

### (一) 洪災風險管理簡介

#### 1. 洪災歷史

歐洲從西元 11 世紀開始，各國就經歷各種洪災(如圖 3)，並進行相關防災工程，例如：

- 11 世紀：法國興建羅亞爾河(Loire)河堤。
- 西元 1215 年：英國防洪立法。
- 13 世紀：匈牙利興建防洪工程。
- 14 世紀：荷蘭興建海堤(ring dikes)。
- 17 世紀：英國河道疏濬工程。
- 19 世紀：歐盟主要河川整治(如 Danube、Rhine 及 Loire 河川等)。

從上述經驗我們可以得到，大約 20 至 50 年，會經歷一次「洪災風險及防洪支出循環」(flood risk and expenditure cycle)(如圖 4)，主要概念即為，若防洪已達一定程度的保護標準；或是無發生嚴重洪災，則政府降低防洪支出，此舉可能增加風險，倘若再次面臨嚴重洪災，則導致災損，進而再次檢視治理計畫、增加防洪支出、降低風險...而形成一循環過程。

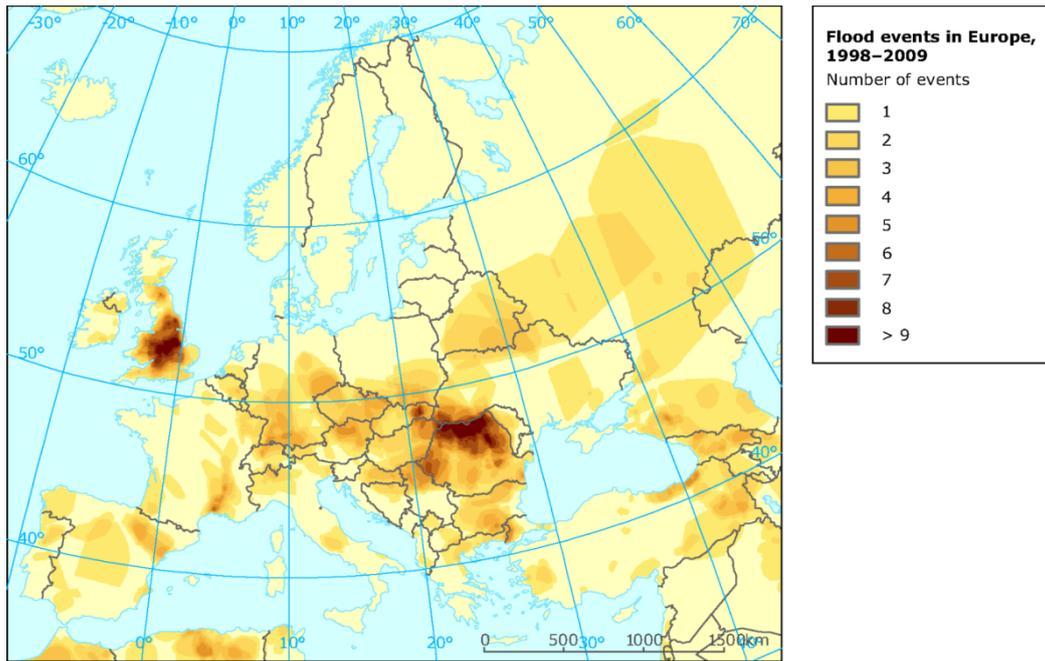


圖 3 歷年歐盟洪災事件示意圖  
 (摘自歐盟環境部網站 <http://www.eea.europa.eu>)



圖 4 洪災風險及防洪支出循環圖  
 (摘自 Dr. Samuels 上課講義)

## 2. 抵禦洪水

面對洪災，過去歐洲國家採取「人定勝天」防洪思維，即控制洪泛及保護土地，並採取一些工程整治措施，例如堤防(堤頂加高、堤身加寬、基礎加深)、海堤、分洪工程等。

工程措施雖具有一定功效，但仍無法完全解決洪災問題。

然而氣候具有時間及空間尺度，更難掌握其變化。例如歐洲境內河川流域範圍，可從 20 至 20 萬平方公里；在空間尺度則可區分為分鐘(如都市暴雨)、小時(暴洪、暴潮)、天(大流域洪水、暴潮)及星期(大規模洪水)。

### 3. 洪災風險及風險分析模式

首先，我們須了解何為風險(risk)。風險的增加，一般可歸因於許多因子，其中之一是災害(hazards)，須了解災害如何導致及發生機率為何；另一則是所衍伸的後果(consequence)，即為暴露量(exposure)及脆弱度(vulnerability)。而所謂的洪災風險(flood risk)，則是前述因子的集合，包含了災害(hazards)、暴露量(exposure)及脆弱度(vulnerability)。為能評估洪災風險，我們依來源(source)、路徑(pathway)、接受者(receptor)、及後果(consequence)，建立一風險分析模式(risk analysis model)(示意如圖 5、圖 6)。其中各項內容舉例如下：

- 來源：如暴雨、融雪、暴潮及湧浪等。
- 路徑：如堤防損壞、溢堤等。
- 受影響者：如財產、民眾、環境等。
- 後果：如損失、疾病及死亡等。

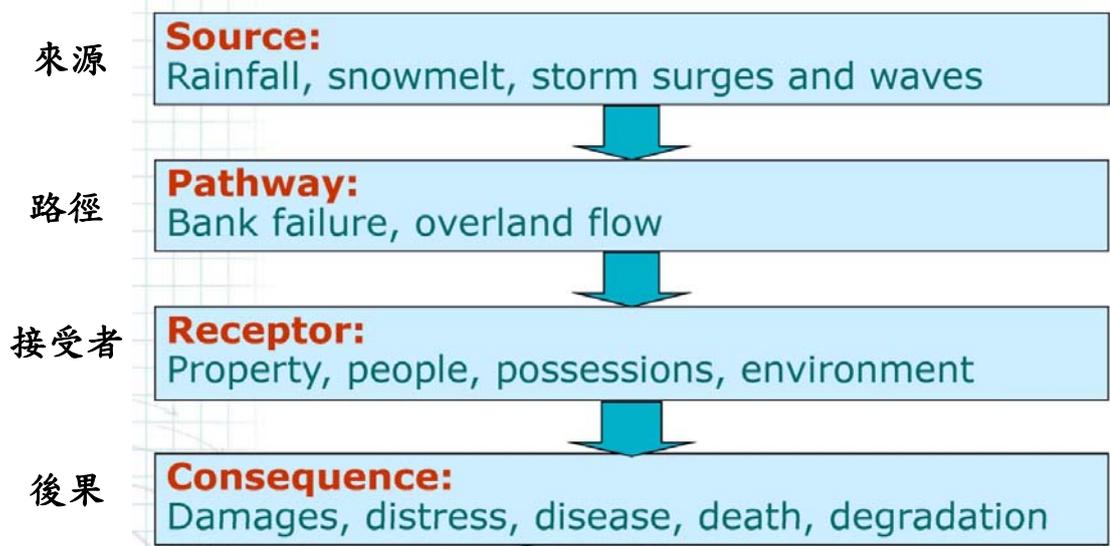


圖 5 風險分析模式示意圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

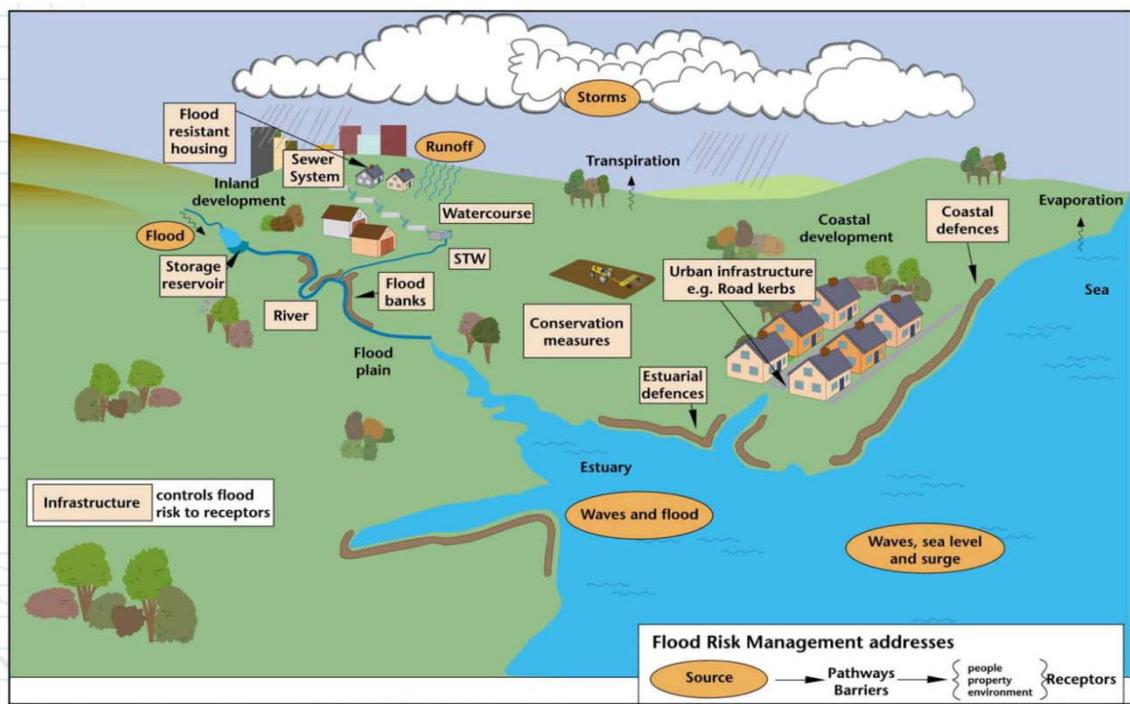


圖 6 洪水系統示意圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

#### 4. 洪災管理實務

洪災風險管理(flood risk management)，一般依照時間順序，可分為災前、災中及災後(示意如圖 7)。災前，為預防風險管理(preventive risk management)，可採取如空間規

劃、應急計畫、防洪措施、洪災保險及防災整備等。災中，則進行即時風險管理(real time risk management)，如洪水預測及預警系統、水庫控制、民眾疏散及救援等。災後(post-flood measures)則進行重建等。



圖 7 洪災風險管理示意圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

針對洪災風險管理，歐盟各國近年來制定相關政策及採取相關行動，舉例如下：

- 英國：對於洪水管理於 2004 年制定新政策；並於 2010 年立法。並對於洪災風險組成因子(即災害、暴露度及後果)，採取相關行動。英國採取了洪災風險管理系統流程圖(詳圖 8)，考量了風險來源、路徑及承受，一併納入系統分析，以作為評估洪災風險，加入效益評估後，提供決策參考，並回饋修正系統。
- 法國：制訂流域洪災風險規定；及加強空間規劃。

- 德國：在歷經大規模洪水後，發展新的風險政策。
- 匈牙利：訂定防禦風險保護標準；及加強管制洪水平原開發。
- 荷蘭：訂定保護標準為 250 年至 10000 年；及堤防採取風險管理。荷蘭採取政策檢視循環(Dutch review cycles) (詳圖 9)，對於堤防每 5 年進行安全評估(safety assessment)，包含堤防負載、檢查、管理及維修等；並每 15~50 年，進行政策評估(policy assessment)，包含考量社會經濟發展、策略評估及風險評估等。

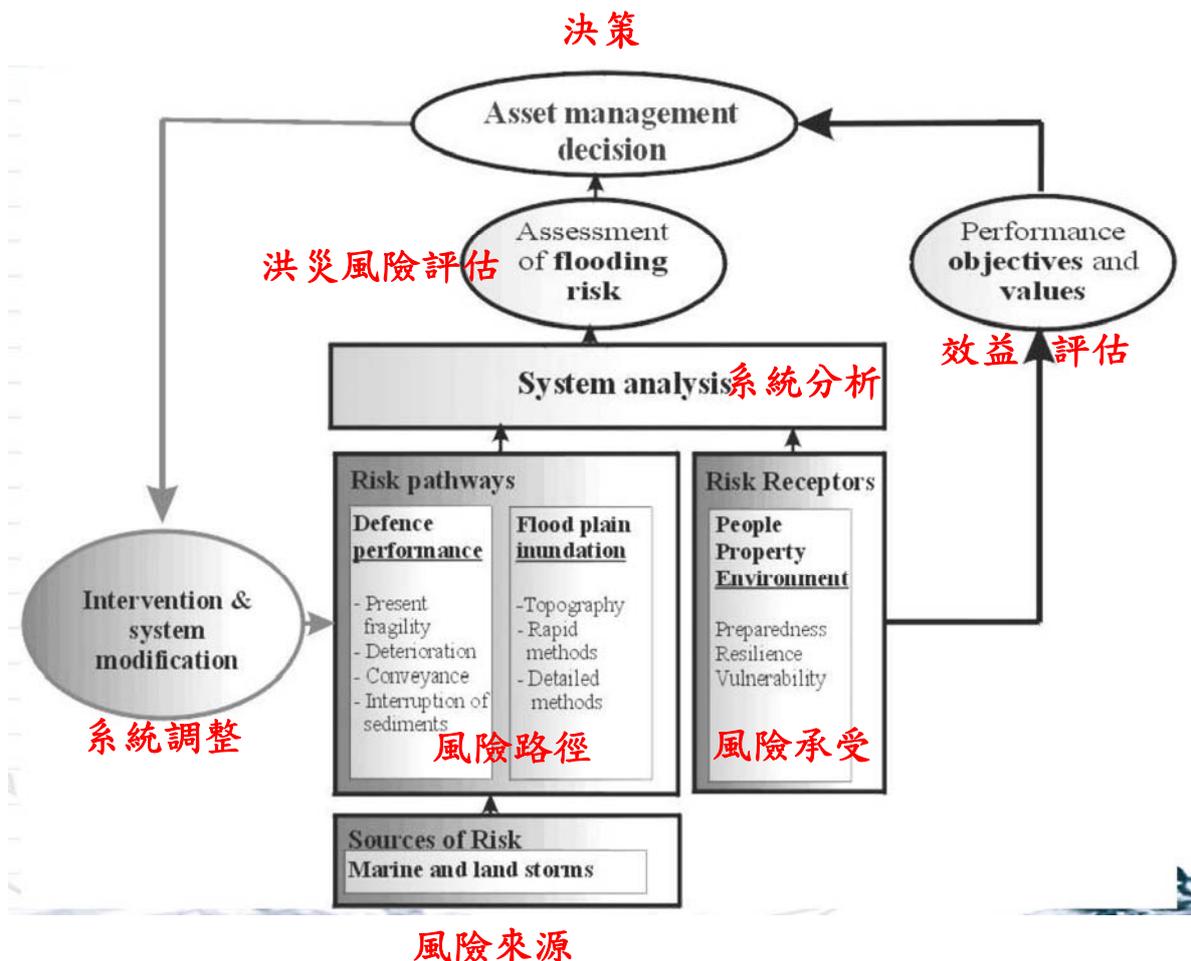


圖 8 英國洪災風險管理系統流程圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

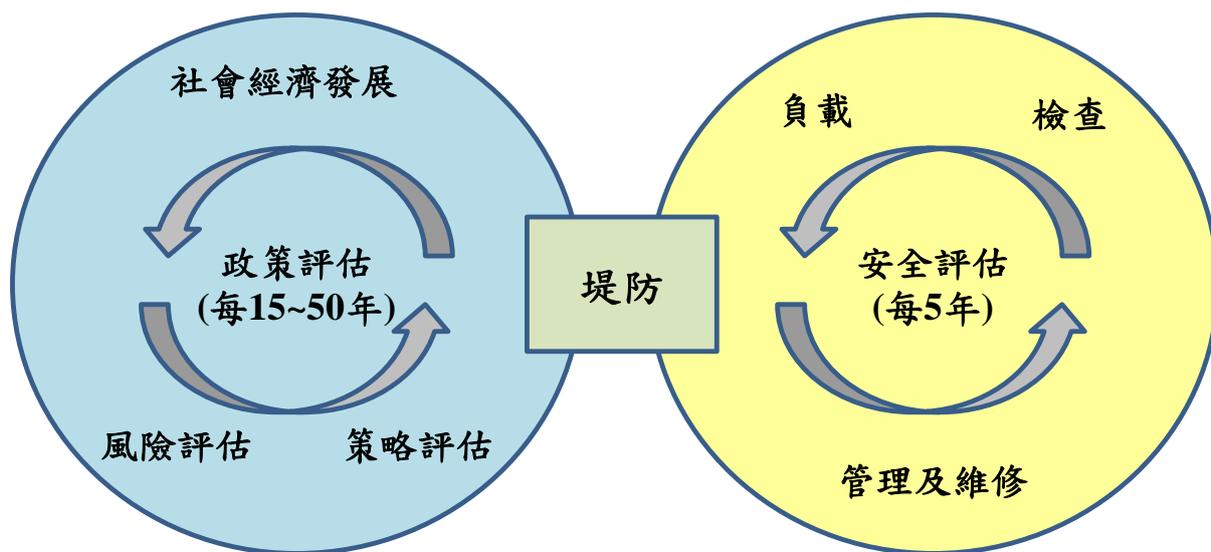


圖 9 荷蘭政策檢視循環圖

(改繪自 Dr. Samuels 上課講義)

## (二) 洪災風險分析

### 1. 定義(definition diagrams)

風險一般可定義如下：

風險=f(災害，暴露量，脆弱度)

(Risk=f(Hazards, Exposures, Vulnerability))

若將"災害"轉化為"發生災害的機率"；而將"暴露量及脆弱度"轉化為"後果"，則可將上式轉化為下式(如圖 10 所示)：

風險=機率\*後果

(Risk=Probability\*Consequence)

而所謂的"風險"，則是社會、經濟及生態發生災損的機率。



圖 10 風險定義示意圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

然而，我們所謂的風險分析(risk analysis)，係決定風險目標、分析並結合機率及後果的一種模式。它能提供一個對於現況或未來的統計觀點。風險分析模式(risk analysis model)(示意如圖)包含了(source)、路徑(pathway)、接受者

(receptor)、及後果(consequence)。

## 2.來源(sources)

一般洪水來源，舉例如下：

- 暴雨(全流域或局部地區)
- 融雪
- 地下湧泉
- 潮汐波浪
- 暴潮
- 潰壩

## 3.路徑(pathways)

所謂路徑，即是災害發生後，如何傳遞(影響)給接受者的途徑。而”路徑”說明如下：

- 路徑是災害來源(source)如何傳遞給接受者(receptor)
- 可能會有很多”路徑”
- 接受者可能會透過不只一種路徑受災
- 某些洪水傳遞(路徑)可能只存在於特定環境下

常見路徑如下：洪水及洪水平原、岸壁破壞、河口、都市街道等(如圖 11 案例)。



(1) 洪水及洪水平原



Hungary



Romania

(2) 岸壁破壞



(3) 河口



(4) 都市街道

圖 11 洪災傳播路徑案例圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

#### 4.接受者(receptors)

接受者，為災害經傳播後承受的主體，例如自來水供應系統、電力供應系統、住宅、道路及橋梁系統等(如圖 12)。



Water supply



Power distribution

(1) 自來水供應系統、電力供應系統



(2) 住宅



Road surface destroyed



Railway bridge destroyed

(3) 道路系統



Buildings collapse (dam break)



Your home contents

(4) 橋梁系統

圖 12 接受者案例圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

## 5.後果(consequences)

後果，則是洪災對於社會、經濟或環境所造成的衝擊。我們可以用金額損失(如貨幣計價)；或圖例(低、中、高)；或是文字等方式表達。它包含兩項內容，即暴露量(exposure)和脆弱度(vulnerability)。說明如下：

- 暴露量(exposure)，則是如前所述的接受者(receptors)，例如人口或財產等。
- 脆弱度(vulnerability)，則是描述致災程度，例如災損的敏感度或其價值。

為評估洪災所導致後果，我們須進行”後果分析(analysis of consequences)”，說明如下：

- 1.決定(定義)何者為”接受者”，即何者可能會受到洪水影響。
- 2.蒐集及界定可能洪泛地區的土地利用，例如住宅區、商業區或農業區等；
- 3.蒐集可能影響的相關資訊，例如可能受災人口、資產及基礎設施等資訊。(例如人口統計：特別是針對孩童及老人、建築類型：例如建物類型、材質及抵禦洪水措施等)。
- 4.災損估計：
  - (1)決定分析範圍(尺度)
  - (2)利用”淹水深度-災損表”
  - (3)考慮淹水延時：考慮農作物最低淹水忍受度；以及建物災損隨淹水延時增加而提高。
  - (4)是否有洪水預警系統：災難發生時，民眾能因有洪水預警系統而減少災損。

此外，關於災損評估的類型，一般可區分為經濟(economic)或財物(financial)方面，兩者差異如表 2 所述。

表 2 經濟或財物分析比較表

經濟(economic)	財物(financial)
著重：社會方面。 用於：投資決策或政策評估 相關分析：成本效益分析、年平均損失估計	著重：個人或業者方面 用於：估計賠償或保險

此外，不容易估計的價值，亦包含了間接損失(indirect damages)和無形損失(intangibles damages)。兩者包含的內容如表 3 所示。

表 3 間接損失和無形損失內容一覽表

間接損失(indirect damages)	無形損失(intangibles damages)
不與水災有直接關係，包含了： <ul style="list-style-type: none"> <li>● 緊急應變管理成本</li> <li>● 交通改道</li> <li>● 商務中斷損失</li> </ul>	不容易估計，包含了： <ul style="list-style-type: none"> <li>● 民眾死亡、創傷和壓力</li> <li>● 有記憶價值的損失</li> <li>● 長期健康(生理、心理)影響</li> <li>● 災後重建過程</li> </ul>

### (三) 洪災風險管理的不確定性

#### 1. 不確定性的組成

不確定性主要來自於缺乏相關知識及能力，量測或計算估計和實際值(真值)的差異。它包含了自然變數(natural variability)、知識不確定性(knowledge uncertainty)及決策不確定性(decision uncertainty)。

自然變數，舉例如下：如氣候或天氣、暴潮或湧浪、植物生長、空間變數、河道地形、構造物導致的無效通水範圍、二項式的影響(例如黏滯力等)。自然變數的特性如下：

- 是對於防洪系統的外部壓力
- 無法控制
- 新的知識仍無法增加我們管理自然變數的能力
- 相關歷史資訊(如歷年災損等)，可協助了解自然變數的可能範圍

知識不確定性，可分為”統計模型(statistical models)”及”過程模型(process models)”。統計模型，概略可以分成兩類，第一類是”統計模型的不確定性”，在於選擇不同的機率分布；另一類是”統計影響不確定性”，則是少量資料的外部延伸。

另外有關”過程模型”，則包含了模式架構、物理模型的選擇及逼近、模式計算方法、模式參數的估計(參數率定的影響)、資料精度等。

知識不確定性，它具有下列特性：

- 是屬於內部評估方法
- 可透過增進知識、改善資料品質及電腦運算能力等，來降低知識的不確定性

決策不確定性(decision uncertainty)：係指決策過程中

不同行為可能導致不同結果，透過相關分析，希望達成下列目標：

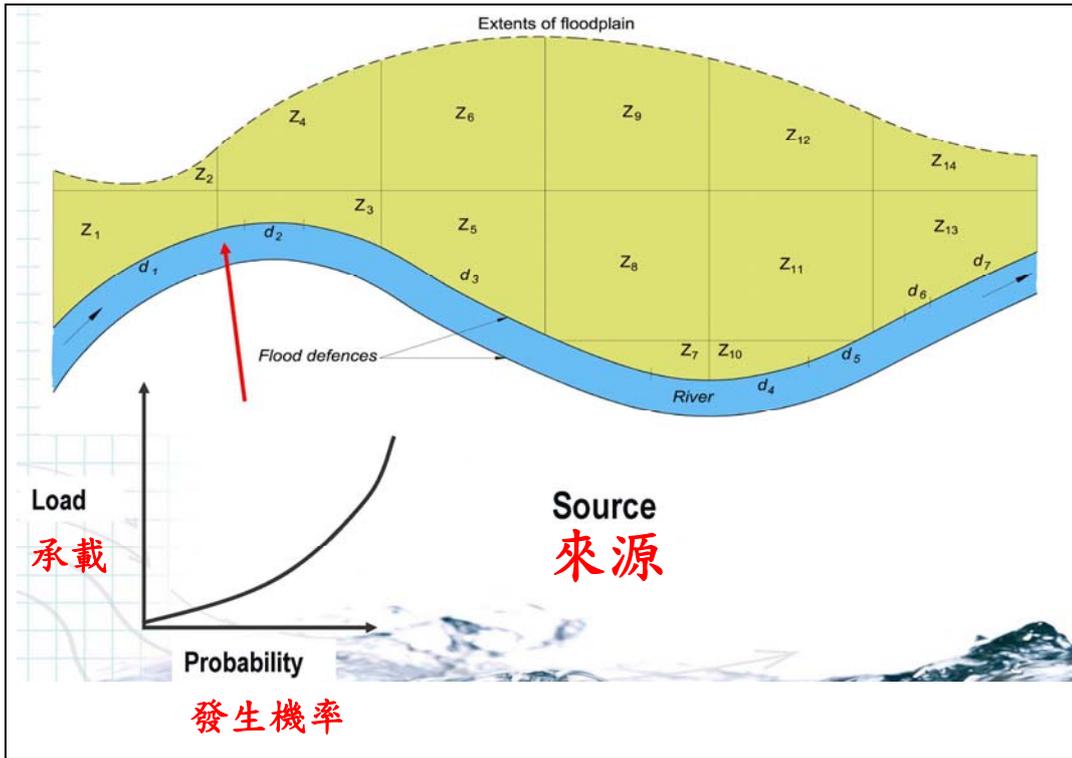
- 決策的穩定性(robustness)及韌性(resilience)
- 面對未來改變的調適策略
- 決策選項的可逆性

## 2.分析系統

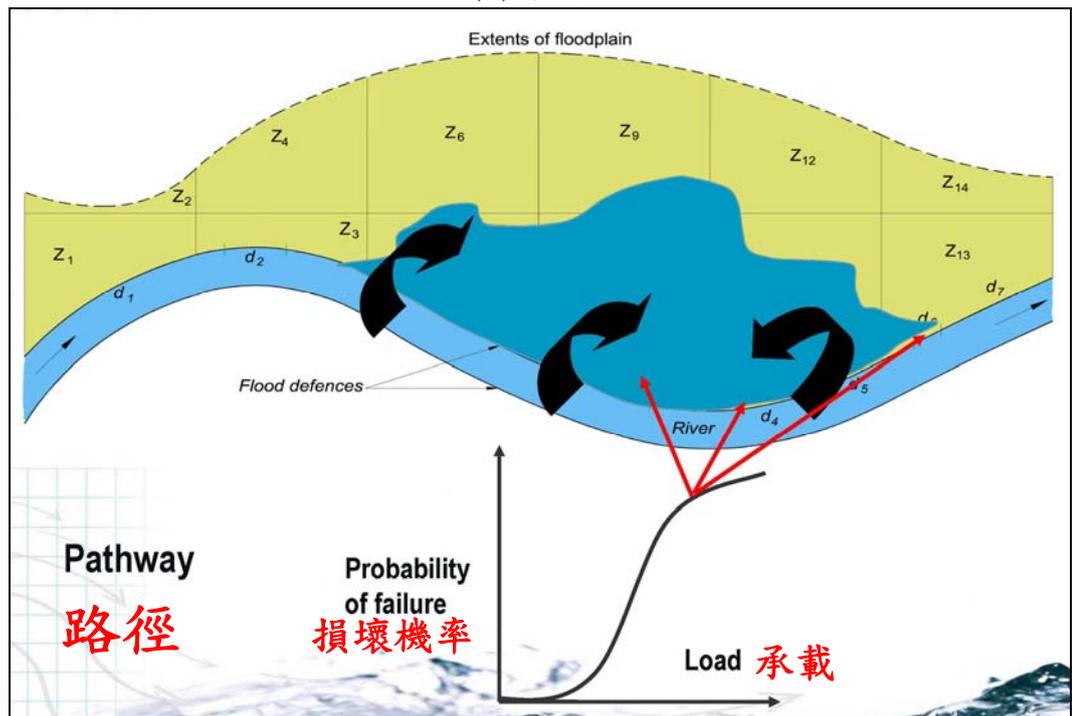
為分析不確定性，我們可以循下列步驟：

- 1.特定重現期距(發生機率)洪水發生；
- 2.其次，洪水可能從何處來？
- 3.對於每個可能原因，我們須了解：
  - (1)它是如何發生的？(可能導因於一連串事件)
  - (2)它可能是如何？
- 4.考量可能發生的共同原因
- 5.整合所有致災原因及其發生機率

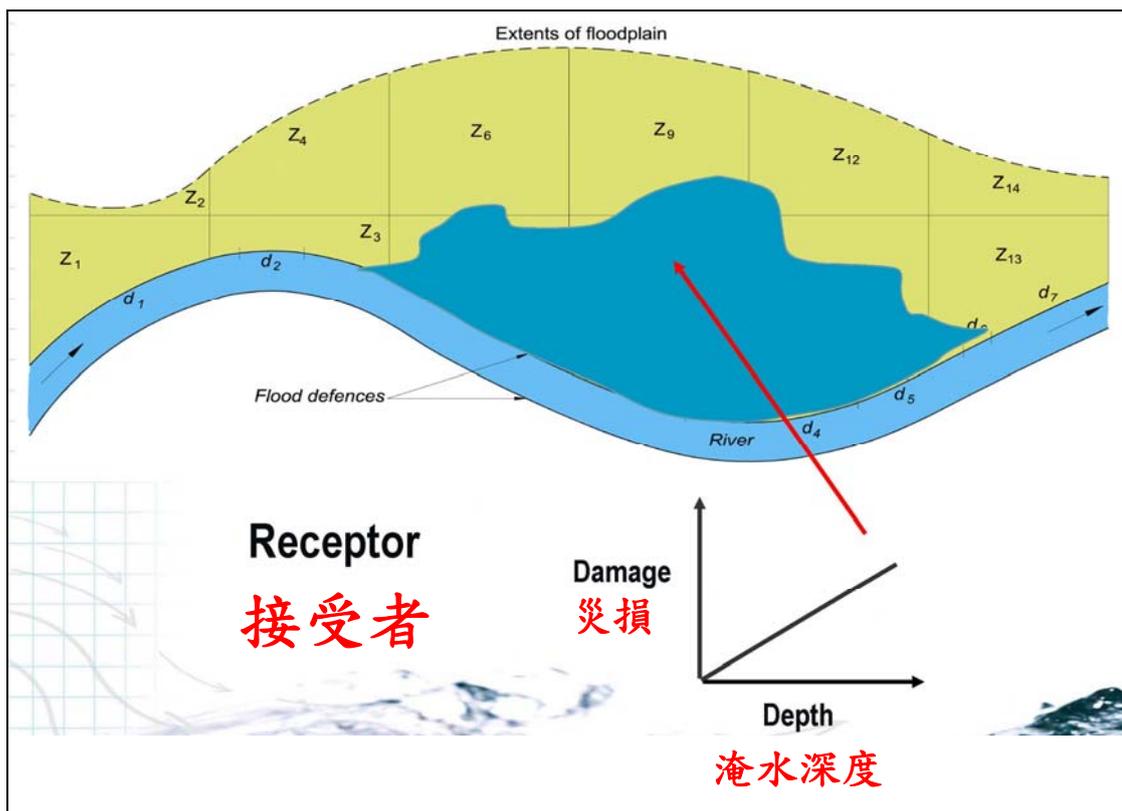
一般常見的風險分析系統，包含了來源、路徑及接受者，我們可分別示意如圖 13。首先，第一部份是”來源”，以河川而言，不同重現期距(發生機率)的洪水量，就是此系統的”來源”。其次，考量其破壞路徑，若以河川洪水平原而言，”發生溢堤”則是其中一種”路徑”。最後，考量洪水平原上，可能致災對象及其災損，則為所謂的”接受者”，說明如表 4。



(1) 來源



(2) 路徑



(3)接受者

圖 13 风险分析示意图

(摘自 Dr. Samuels 上课讲义)

表 4 洪灾风险分析系统说明一览表

洪灾风险分析系统	以河川洪水平原为例
来源	不同重现期距(发生机率)的洪水量
路径	破堤(或溢堤)发生位置及机率
接受者	洪水平原上民众、财产等损失

### 3.務實評估一維模式不確定性

我們常將實際水文循環過程，以數值模式方式模擬，然一維模式存在著”水文不確定性”(hydrological uncertainty)，而它是來自於”統計不確定性”(statistical uncertainty)。以英國實際經驗而言，對於單站水文資料，其外延重现期距不建議超過觀測年限(例如某觀測站僅有 50 年觀測資料，那麼就不建議以該站推求 100 年重现期距

的水文量)。倘若真有需要延伸資料，那麼則可參酌水文條件相近的流域，來進行資料延伸。

此外，對於河川模型，除前述水文不確定性外，”水位-流量”關係，亦存在不確定性，這一部份，我們可用現地觀測資料來進行改善。

綜合前述，我們若較務實評估一維模式不確定性，應該考慮：

- 測量或觀測的不確定性
- 糙度係數的不確定性
- 數值方法
- 模式率定品質
- 資料外延

此外，對於剛好漫灘(just-out-of-bank)的事件，模式較難模擬，因其具有下列特性：

- 水流趨於不穩定
- 位在岸灘岸壁轉折處，其水位流量關係變化劇烈
- 洪水在洪水平原的機制類似漫灘(washland)；而非洪水行經的河道(floodway)

#### **4.較佳模式建立流程**

某一部分的模式不確定因素，來自於模式計算或是測量的錯誤(errors)，其中也可能包含隨機的人為因素。此外，錯誤亦可能來自於測站故障、位置或基礎改變；資料蒐集方式改變；測量錯誤；建立模式時，人為輸入錯誤；較差的模擬程序等。這些錯誤，可透過相關資料品質(或精度)管制程序；以及對於模式操作更加明確說明，加以改善。

#### (四)氣候變遷與洪災風險管理

##### 1.氣候變遷對歐盟影響

氣候變遷是描述長期(約 30 年)平均的狀況，氣候變遷是採用 1961 年到 1990 年的氣候狀況來作為評估的基線。而我們所謂的天氣，則是著眼於”天”的時間尺度。

有關氣候變數非常龐大且複雜，我們可能觀察到某些變數據某些趨勢；但缺乏明顯證據支持假設的推論。例如，我們可能由氣候監測資料發現，氣候暖化和短延時暴雨事件增加，具有某種趨勢，但其證據仍有限，故相關專家(例如 Boscastle, Summer 2007, Cockermonth 等)提出，我們不能把特定極端事件歸因於氣候變遷。

致於氣候變遷對歐盟區所造成的影響，我們可就三個方面來探討，分別是溫度、海平面及洪水量。首先，若將歐盟區歷年夏季溫度及數值模式預測值，點繪於同張圖上，黑線代表觀測值；紅線代表模式預測值，溫度變化如圖所示。我們可觀察到，2003 年歐洲發生熱浪，其觀測溫度已達模式預測 2040 年溫度的水準(如圖 14)。

其次，若由衛星資料觀察歐盟區歷年海平面變化(如圖 15 所示)，我們可以觀察到，海平面變化呈現增加趨勢。

就洪水量變化而言，若以過去 30 年為基期(1961~1990 年)，預測未來 30 年(2071~2100 年)，歐盟百年洪水量變化如圖 16 所示，我們可發現除內陸地區外，大部分地區其百年洪水量有增加趨勢。

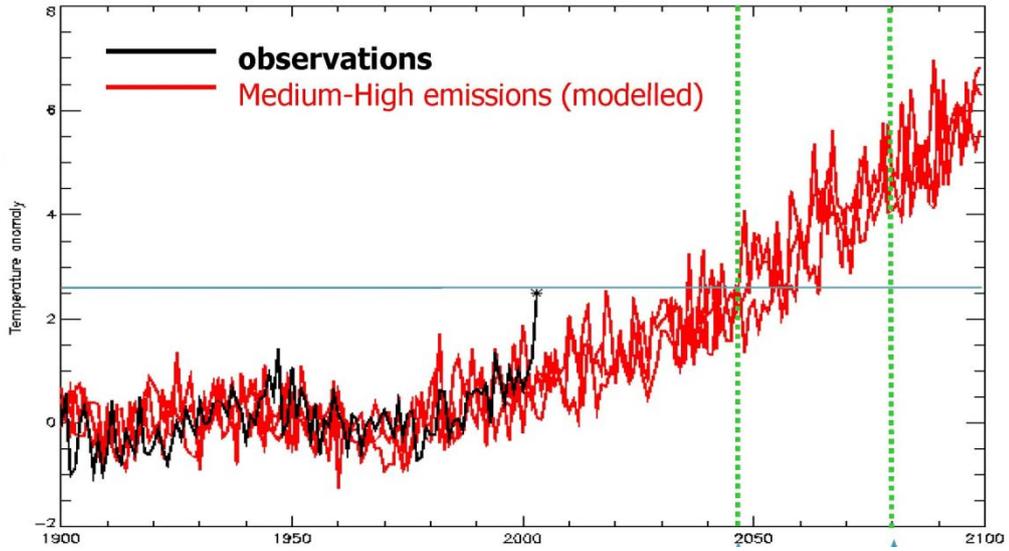


圖 14 歐盟夏季溫度趨勢圖  
 (摘自 European Environment Agency 網站)

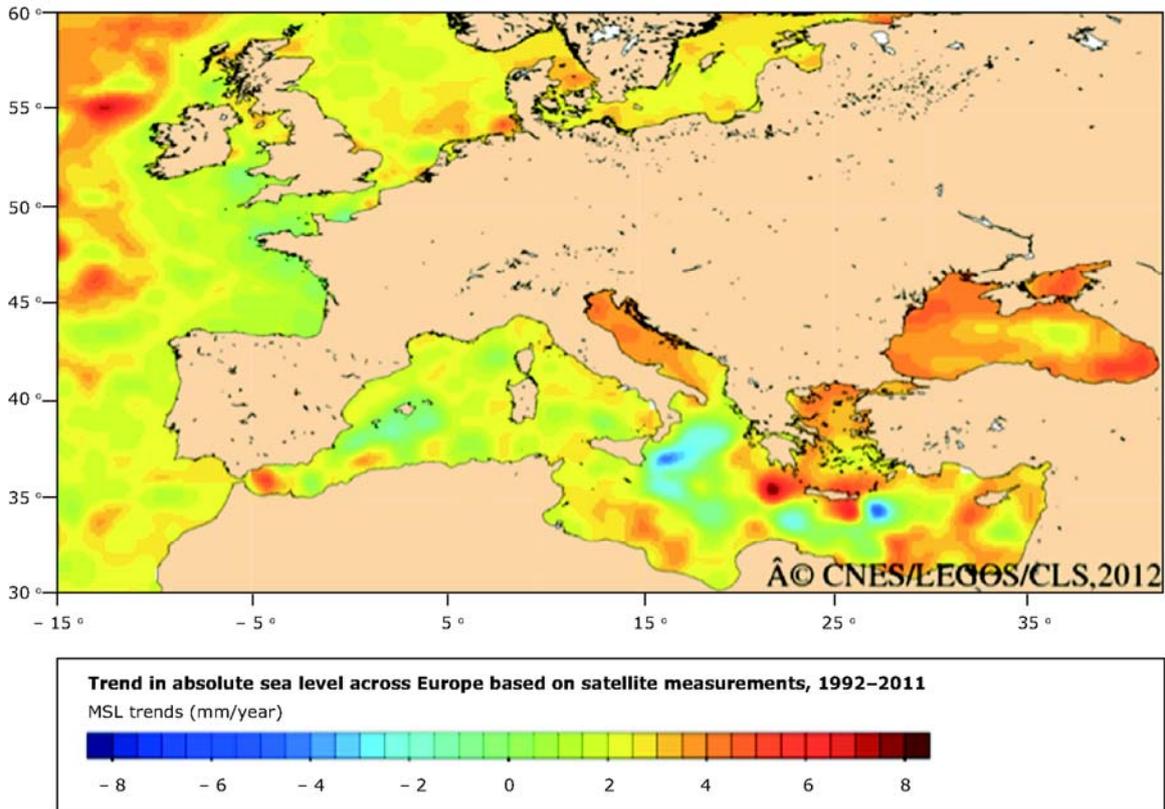


圖 15 歐盟歷年海平面變化趨勢分布圖  
 (摘自 European Environment Agency 網站)

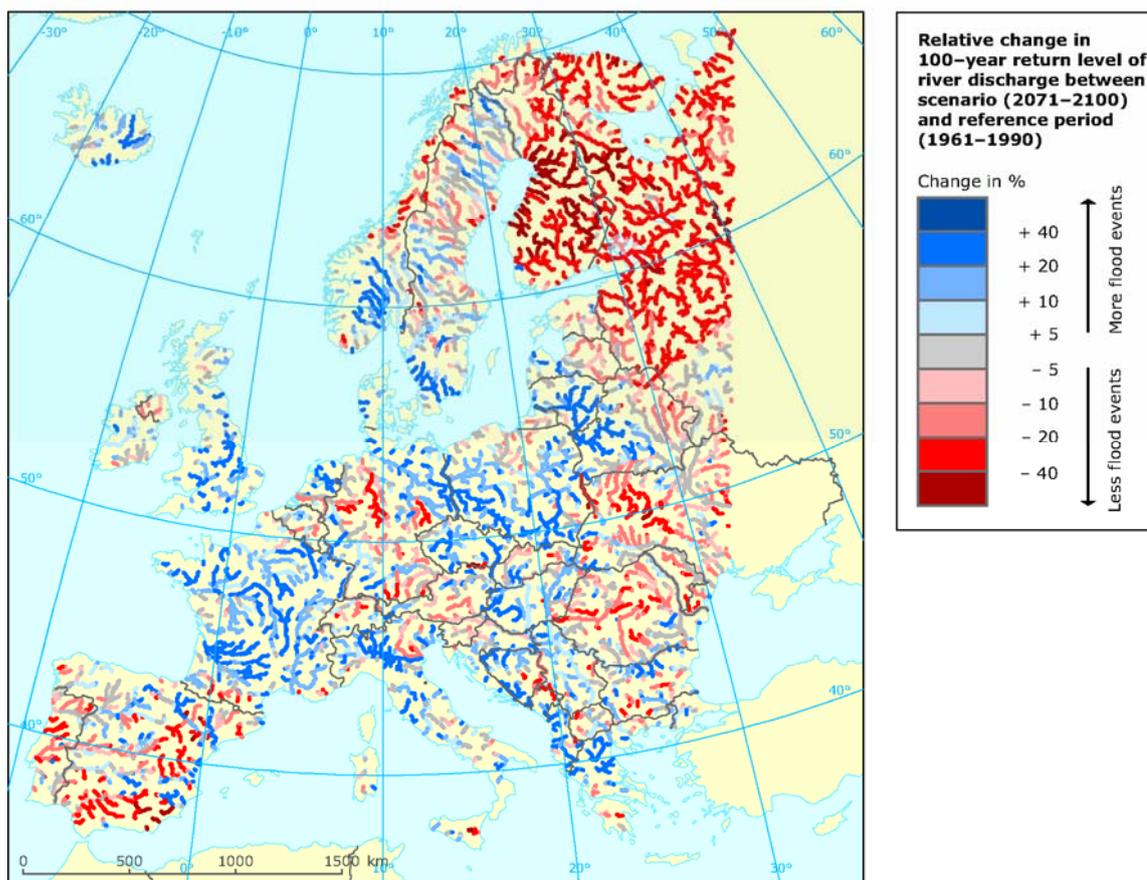


圖 16 預測未來歐盟百年洪水量變化趨勢分布圖  
(摘自 European Environment Agency 網站)

## 2. 氣候變遷與英國洪災風險

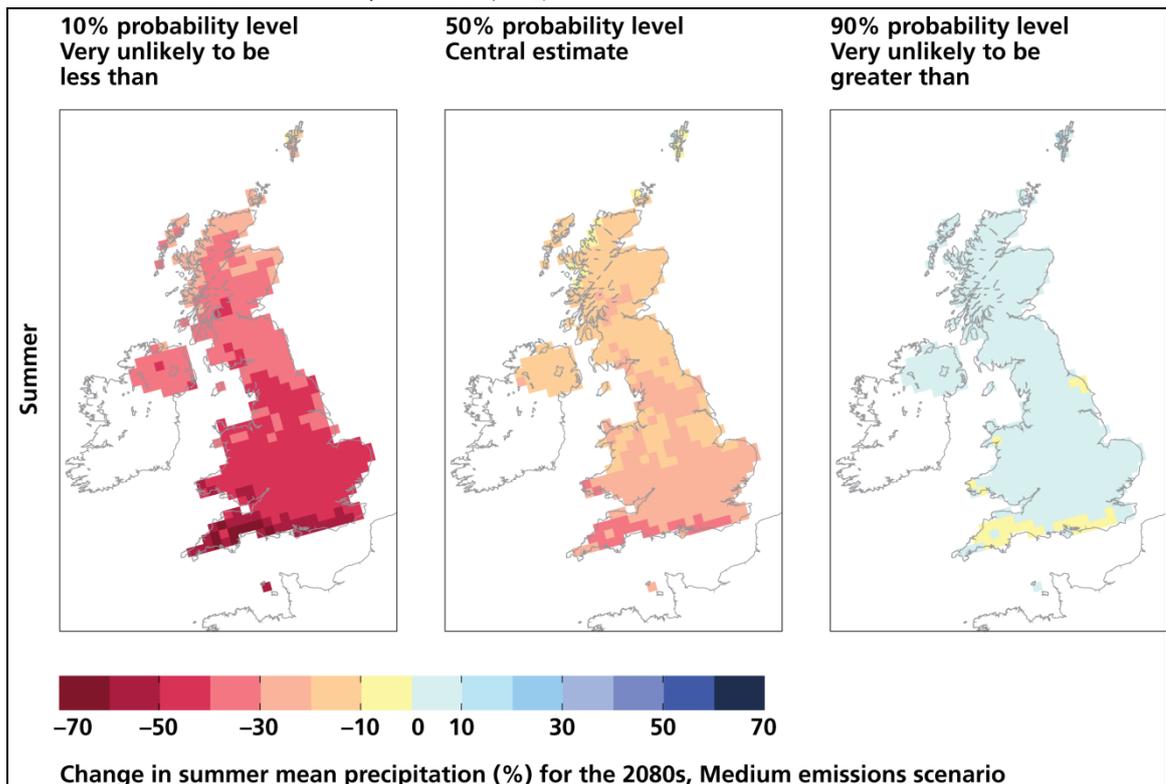
據英國氣候衝擊研究計畫(the UK Climate Impacts Programme, UKCIP)2009 年研究(舉例如圖 17)指出，英國氣候具下列趨勢：

- 溫度持續增加
- 夏季變得又熱又乾
- 冬季變得又暖又溼
- 海平面持續上升

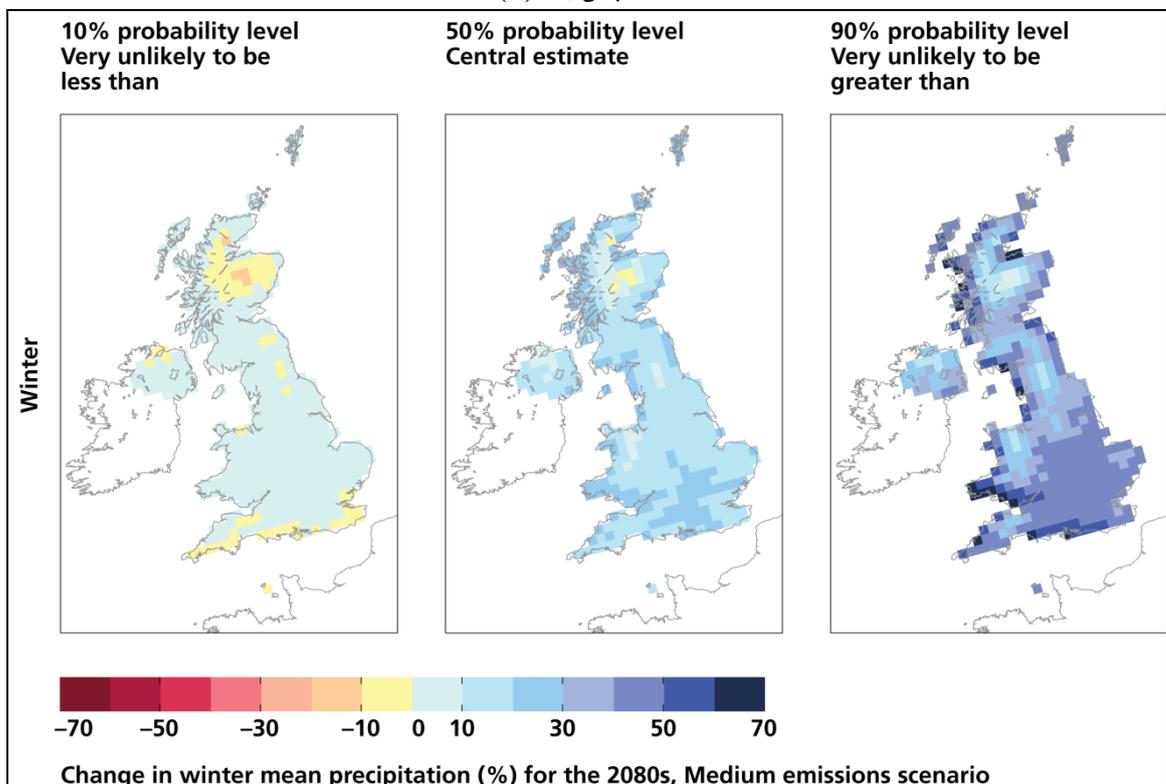
關於極端事件方面，具有下列趨勢：

- 某些極端事件會變得更加頻繁；相反，其他則變得更罕見。
- 較熱天數增加；較冷天數減少。

● 發生冬天暴雨頻率增加



(a) 夏季



(a) 冬季

圖 17 英國未來降雨趨勢預測分布圖

(摘自 UKCIP 網站)

那麼在英國關於氣候變遷和洪災風險分析，其關聯為何呢？首先，就統計方面而言，有關氣候等非穩態的資料序列，可能受限統計方法上的限制，而無法了解其趨勢。此外，氣候變遷並非與洪水增加呈現正相關，例如泰晤士河約 1890 至 2000 年的水位觀測數據、英國東南方蒸發散量增加等。另外，我們需要將氣候變數結合其他系統，例如重大防洪工程及都市化等，可能可了解氣候變遷與洪災風險分析之關聯。

### 3.對於洪災風險分析及管理造成的影響

氣候變遷可能導致洪災變化，進而影響洪災風險管理措施。就相關構造物而言，其可能影響方面如下：

- 橋梁：基礎受沖刷而裸露、局部沖刷、增加阻塞的潛勢
- 堤防護岸：水流沖刷流速增加、基腳沖刷、岸壁崩塌
- 抽水站：抽水能力、操作時間、體積等改變；可能新增加洪泛地區
- 攔河堰：堰上游的淤積、堰下游的局部沖刷
- 水壩：設計溢洪能力(如最大可能洪水)改變、水庫湧浪溢堤

另外，關於排水方面，可能衝擊如下：

- 水量方面：增加現有系統的洪水量、改變了儲蓄及入滲相對有效性、乾季時的流量減少等。
- 水質方面：增加初次沖刷(first flash)的污染量、須考慮對於下游河道的衝擊等。

此外，關於模式不確定性方面，由於現今模擬氣候變遷模式眾多，而其所採用的變因眾多且不盡相同，因而導致其預測值變化範圍大(如圖示意)，增加其不確定性，針對

此一現象，UKCIP 加入了機率的概念，讓對於未來的分析更具參考價值(如圖 18 所示)。

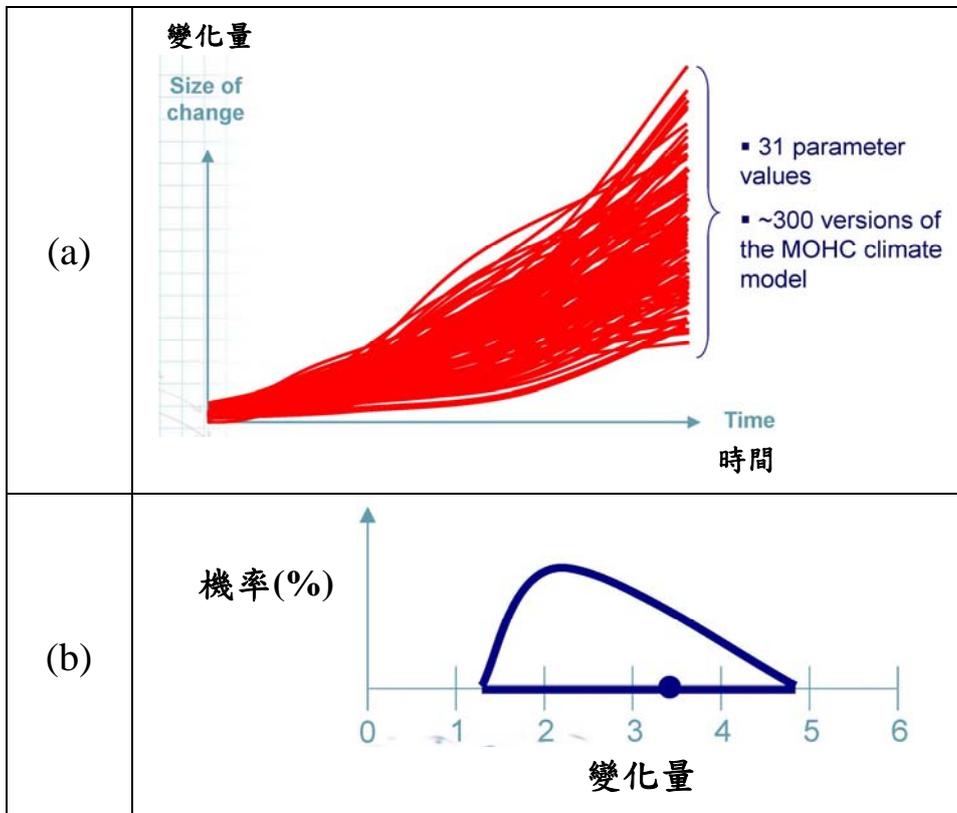


圖 18 氣候變遷模式不確定性示意圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

## (五) 洪災風險管理措施

洪災風險管理措施，在實務上區分為工程(structure measures)及非工程措施(non-structure measures)。本文參考英國水及環境管理機構(The Chartered Institution of Water and Environmental Management, CIWEM)所提出的實務手冊(CIWEM Water Practice Manual no. 7)，以一個假設的城鎮，來說明常用工程措施。

我們假設一個城鎮位於主、支流交會上，依據洪水量分析，我們可以知道其洪泛範圍(flood limit)為何(如圖 19 所示)。常見的工程措施，舉例如下：

- 堤防(Embankments)
- 防洪牆(Flood walls)
- 拓寬渠道(Channel enlargement)
- 改善渠道(Channel improvements)
- 降低糙度(Reducing roughness)
- 分洪(Flood relief or bypass channel)
- 河川改道(Interceptor channel)
- 儲洪或滯洪(Flood storage solution)
- 發展區重新配置(Redevelopment)
- 抽水(Pumping)

以下分述工程措施：

(1) 堤防(Embankments)是常見的工程措施(示意如圖)，也可能是最簡單及最有效率的措施，堤防興建需考慮：

- 位置及尺寸
- 水文、地文及土壤
- 岸壁穩定度及地下水滲流
- 考量氣候變遷增加洪水位的調整設計

然而堤防也可能隱含一些問題，例如：

- 對於堤防所保護區域，可能需要抽水站或滯蓄洪池，來降低逕流。
- 堤防是依其保護標準來設計，若超高保護標準的洪水，可能造成溢堤。
- 經常造成視覺障礙。
- 因堤防施設，可能會導致上、下游河川水位抬升。對上游而言，則有迴水影響；對下游而言，則降低儲蓄洪水空間。

(2)拓寬渠道(Channel enlargement)，透過下列方式則可增加通洪能力：

- 增加斷面面積
- 降低糙度係數
- 移除丁壩
- 增加水面坡降
- 複式斷面

然可能造成下列環境問題，例如：

- 減少水深
- 增加流速
- 低流量時淤積增加
- 可能需要疏濬
- 河川型態重新調整
- 環境衝擊及干擾

(3)降低糙度(Reducing roughness)，可能方式如下：

- 清除岸灘植栽、雜草
- 在市區渠道使用混凝土鋪面
- 然上述方法若考慮環境層面，其接受度有待商榷

(4)分洪(Flood relief or bypass channel)：

- 係將洪水繞經洪災風險區，排放到其下游
- 需要明確的路線規劃及適合地型配合
- 上游須設置堰或閘門來分洪

(5)河川改道(Interceptor channel)：

- 可將所有洪水遠離洪災風險區，導入相鄰流域
- 適用於低窪地區
- 此法可能導致重大環境影響

(6)儲洪或滯洪(Flood storage solution)：

- 英國新開發區域普遍採取作法
- 係儲蓄開發區超出洪水量及限制排出量
- 可能需要控制結構
- 若設計錯誤，可能反而導致下游洪災風險增加(例如儲存空間設計不足，則影響洪峰削減效率，如圖所示)

此外尚須考慮：

- 大範圍面積的土地需求
- 對於大流域未必可行
- 環境接受度
- 洪泛區的土地使用(例如農業區)
- 安全性

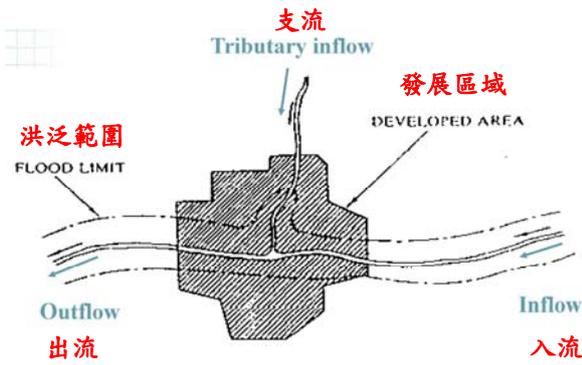
(7)發展區重新配置(Redevelopment):若原發展區域位於高洪災風險區域，則重新配置以避災(如圖所示)，不失為一個考量。

- 然該作法尚未在英國普遍接受

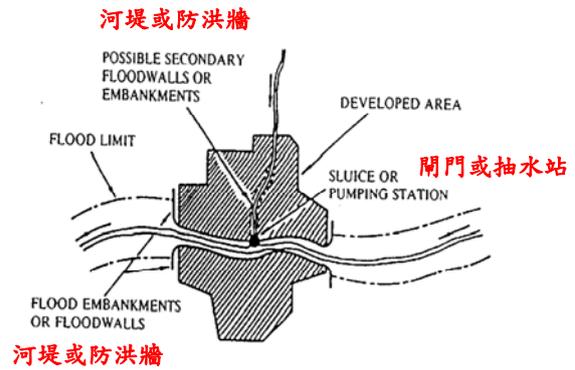
- 以美國為例，在 1992 年密西西比洪水後，推行遷移出洪泛區的政策
- 荷蘭推行還地於河(Room for the river)的政策

(8)抽水(Pumping)：

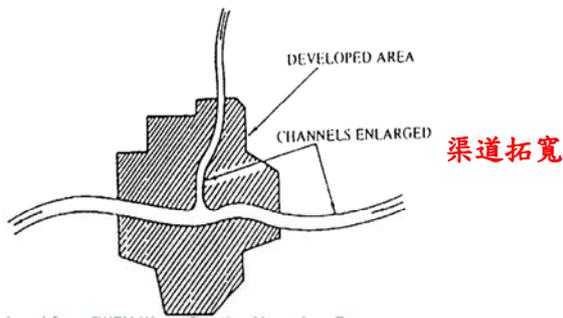
- 對於較小面積及體積水體，較為有效
- 廣泛使用於排水系統不良及低窪地區



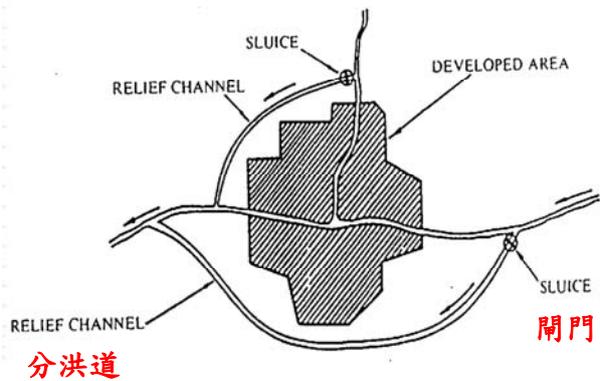
(a) 假設城鎮示意圖



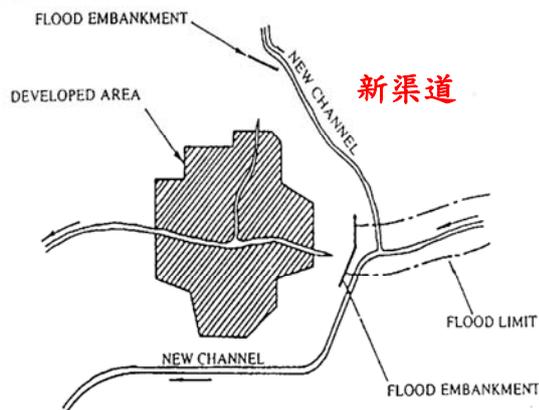
(b) 堤防、防洪牆、閘門或抽水站



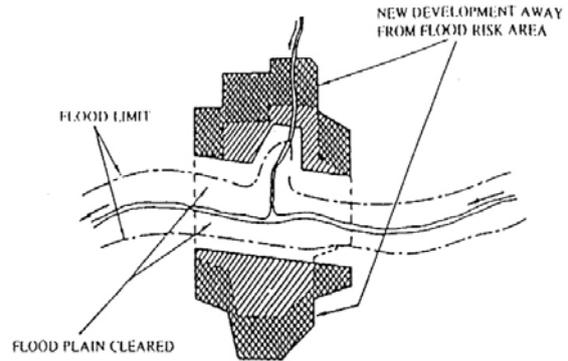
(c) 渠道拓寬



(d) 分洪



(e) 改道



(f) 發展區重新配置

圖 19 洪災風險管理工程措施示意圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

## (六) 洪災損失及脆弱度

### 1. 洪災損失(flood damage)

為較容易估計洪災損失，我們採用下列洪災風險關係式：

$$\text{FloodRisk} = f(\text{Hazard}, \text{Consequence})$$

$$\text{FloodRisk} = \text{Hazard} \times \text{Consequence}$$

將上述兩式轉化為數學計算式，如下：

$$\text{FloodRisk} = \int_0^1 p(E) D(E) dp$$

式中  $p(E)$ ：事件 E 發生機率； $D(E)$ ：事件 E 預期災損。

#### (1) 洪災損失類型

災損類型依洪水關係可分為直接及間接；而損失則可分為有形及無形(舉例如表 5)，在此我們討論有形災損。

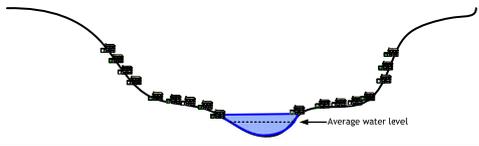
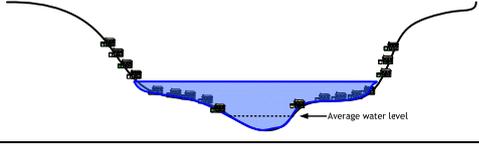
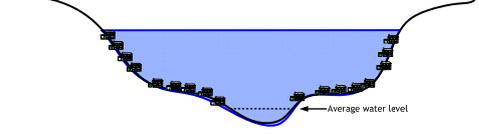
表 5 洪災損失類型分類表

	有形	無形
直接	建物 商品庫存 設施	人員傷亡 健康 生態
間接	生產力損失 交通壅塞 成本反應	交通壅塞 心理影響 增加脆弱度

#### (2) 評估預期年災損

為了解洪災損失，我們可假設一個案例河川。依其洪水位高低，分為三種情境，分別假設其洪水發生機率及災害損失(如表 6)，那麼依前式我們可以計算其災害損失，即預期年災損(Expected Annual Damage, EAD)(如圖 20)。

表 6 不同洪水事件案例表

情境	示意圖	發生機率	災害損失(百萬元)
I 小洪水		0.8	0.15
II 中洪水		0.5	2.5
III 大洪水		0.1	10

Flood level (h)	P(h)	x	D(h)	=	P(h)·D(h)
i low	0.8		€ 150,000		€ 120,000
ii medium	0.5		€ 2,500,000		€ 1,250,000
iii high	0.1		€ 10,000,000		€ 1,000,000
Total flood risk:					€ 2,370,000

probability x consequences = EAD

圖 20 災害損失計算示意圖

洪水事件其洪水量、水位、發生機率及災損間之關係，我們可以呈現如圖 21。前述 4 項分別為座標 4 軸，而 4 條曲線分別為：

- 洪水頻率曲線：可藉由洪水量頻率分析得到
- 流量-水位率定曲線：可藉由流量及水位觀測資料分析得到
- 水位-災損曲線：可藉由歷次洪災損失彙整得到
- 災損機率曲線：須就由前述 3 條曲線計算後得到

步驟如下：

- 首先我們可知特定發生機率的洪水事件(例如重現期距 100 年)，對應洪水頻率曲線可得到洪水量。其次，藉由流量-水位率定曲線，可以得到洪水位
- 再者，透過水位-災損曲線，可得到災損
- 重複前 3 項步驟，則可點繪災損機率曲線
- 災損機率曲線下所包覆的面積，即為預期年災損

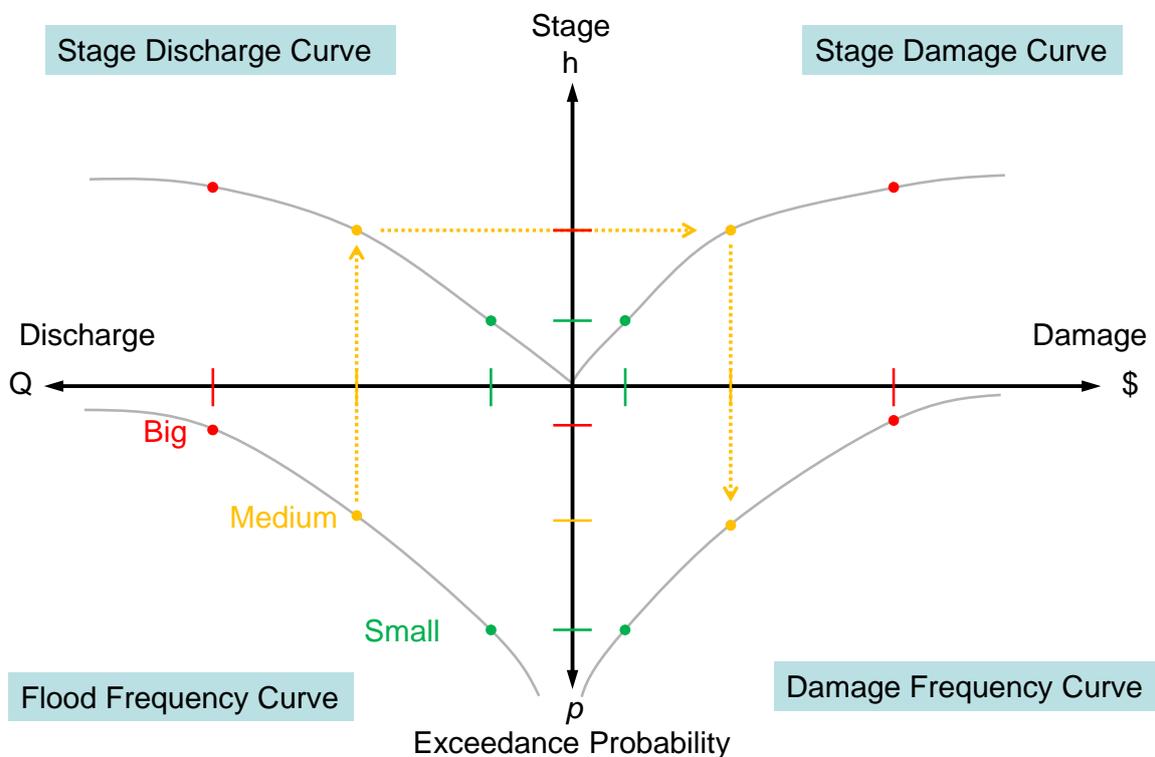


圖 21 水利-經濟預期年災損模式示意圖

那若考慮防洪工程的成效，即減輕洪災，水利-經濟預期年災損模式(Hydro-economic EAD model)，會如何演變呢？在外在環境無法改變下(即洪水量及洪水位)，若防洪工程奏效，則可降低災損，依圖 22 所示，則災損機率曲線亦產生變化(降低)，故預期年災損也將變小。

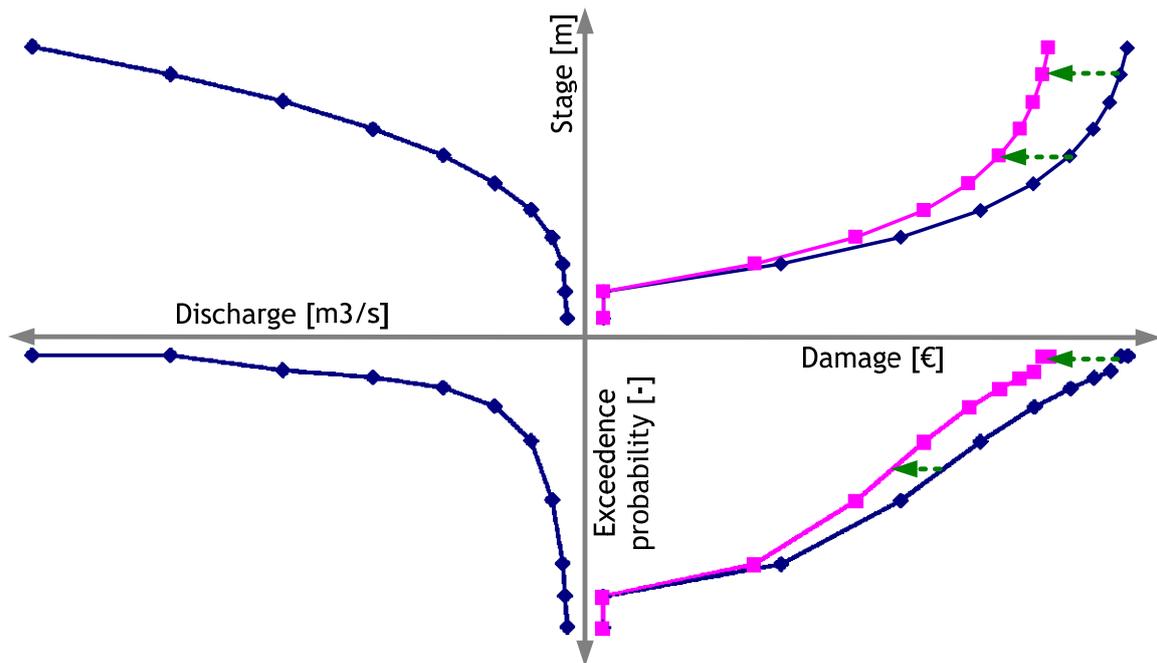


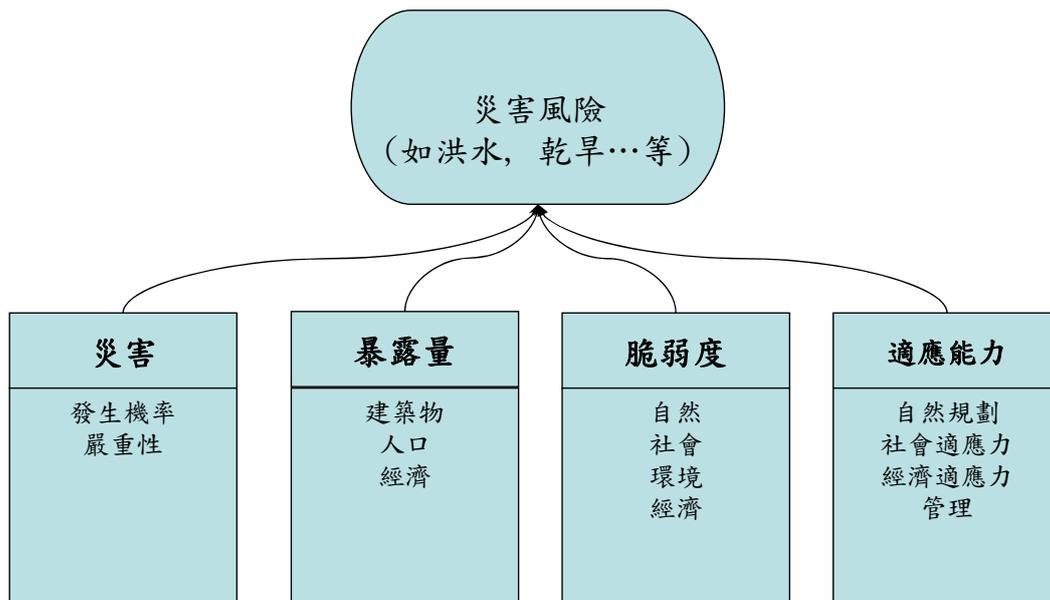
圖 22 考量防洪工程效益之水利-經濟預期年災損模式示意圖

## 2. 洪災脆弱度(flood vulnerability)

脆弱度，該名辭係源自於社會科學，不容易定義，而在自然災害領域有多種定義被採用。例如，聯合國減低災害風險辦公室(The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNISDR)則定義：脆弱度，是由自然、社會、經濟和環境因素或過程；所決定的一個狀態，增加民眾對災害的感受程度。而聯合國開發計劃署(The United Nations Development Programme, UNDP)則定義：脆弱度是由自然、社會、經濟和環境因素導致的人為狀態或過程，決定災害損失的可能性和和尺度。目前一般常用於自然災害風險的定義則為下式：

$$\text{洪災風險} = f(\text{災害, 暴露量, 脆弱度, 適應能力})$$

即洪災風險是綜合災害、暴露量、脆弱度及適應能力等因子，可表示為圖 23。



(改繪自 Bollin et al., 2003 cited in Birkmann et al., 2006)

**圖 23 災害風險因子示意圖**

為了評估脆弱度，我們須知道下列因子：

- 接近（洪泛區）；
- 洪泛區的人口密度；
- （科學上）對洪水事件的了解；
- 民眾教育和覺知；
- 存在及可使用的早期預警系統和通信線路；
- 可用性和戰備應急基礎設施；
- 建築形式和建築法規；
- 文化因素影響民眾對洪水的反應，以及民眾對早期預警如何反應

根據前述多種因子，發展出許多脆弱度評估架構，應用於大小不同階層，例如從全球、國家、區域到社區等。並有許多應用案例，例如「National Level: The Americas Project」(Cardona, 2006)，「Community-based disaster risk index」(Bollin & Hidajat, 2006)，「Flood Vulnerability Index」(Balica et al., 2009)。

以下就 Cardona 於 2007 年所提出「美國災害風險管理指標」之作一範例說明(A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas (Cardona, 2007))。

目的：基準和比較在不同國家的脆弱性。適用於整個拉丁美洲（美洲開發銀行項目）

4 個開發的綜合指標：

- (1) 災害衰退指標(DDI)：宏觀經濟和金融市場的影響和財政能力，以應對災害性事件
- (2) 本地災害指標(LDI)：社會和環境風險頻繁較小的事件
- (3) 普遍的脆弱性指數(PVI)：係指對於居住在低窪地、社經弱勢或缺乏社經韌性民眾，評估其風險。
- (4) 風險管理指標(RMI)：反映了政府體制和組織方面減少脆弱性和損失，準備和恢復。

前述 4 個指標運用於美國不同洲，於 1980 年至 2000 年評估，其成果如圖 24 至圖 27。

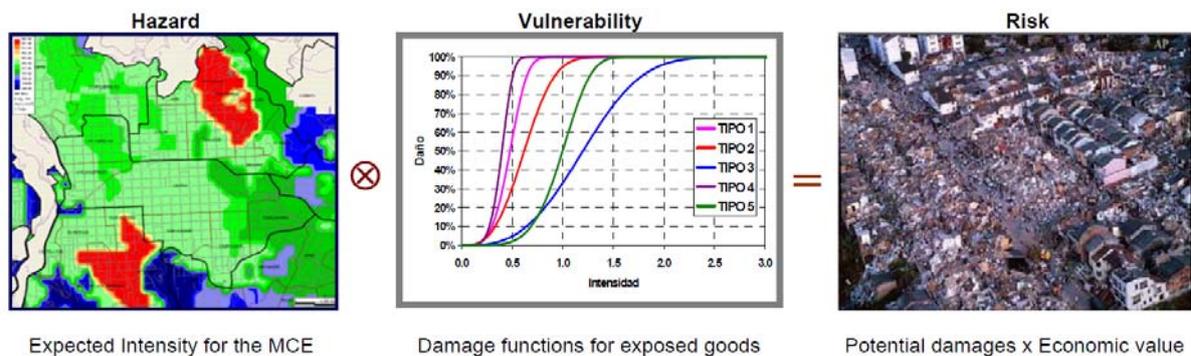


圖 24 災害、脆弱度及洪災風險關係圖

(摘錄自 Cardona, 2007, A system of Indicators of Disaster Risk Management in the Americas)

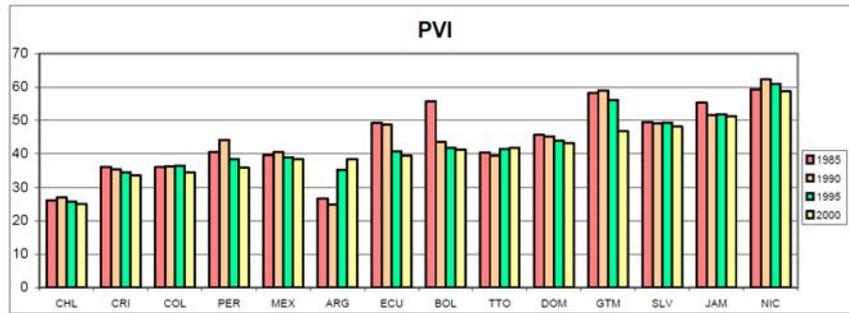


圖 25 各洲 PVI 指標圖(1985 年至 2000 年)  
 (摘錄自 Cardona, 2007, A system of Indicators of Disaster Risk Management in the Americas)

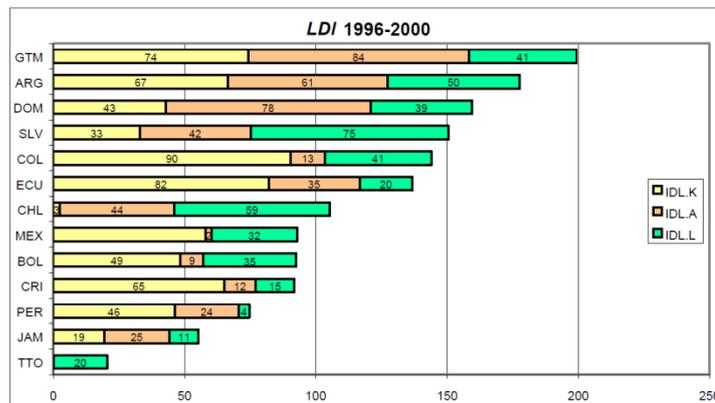


圖 26 各洲 LDI 指標圖(1996 年至 2000 年)  
 (摘錄自 Cardona, 2007, A system of Indicators of Disaster Risk Management in the Americas)

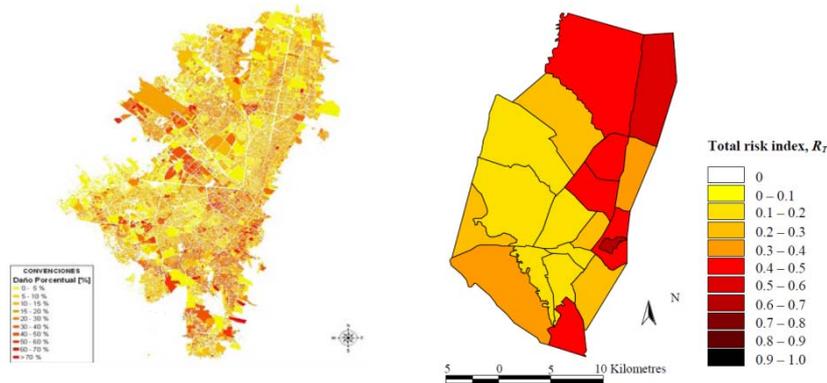


圖 27 不同災害情境下總合風險圖  
 (摘錄自 Cardona, 2007, A system of Indicators of Disaster Risk Management in the Americas)

## (七)荷蘭還地於河政策

### 1.緣由

荷蘭政府於 1996 年通過防洪法(flood protection law)，主要內容如下：

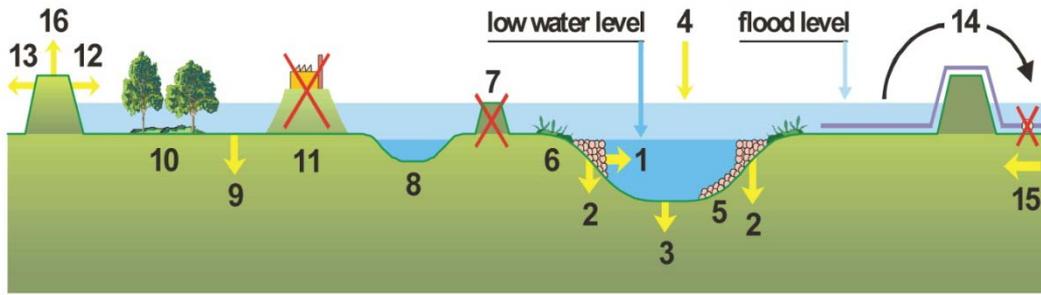
- 訂定保護標準
- 每 5 年，重新檢討設計的水利參數(例如計畫洪水量等)
- 每 5 年，根據更新的水利參數，重新檢討防洪工程
- 向議會報告

然而 2001 年萊茵河發生大洪水，使得計畫洪水量從原本 15000(cms)提升至 16000(cms)，為此，傳統防洪思惟須加以改變，因此荷蘭政府在 2007 年，提出新的政策方向，即”還地於河”。該政策精神如下：

- 不再加高堤防(除非不得已)，取而代之的，是還地於河
- 結合地貌改造
- 相對謙虛的措施(relatively humble measures)
- 目標如下：
  - 預計在 2015 年，萊茵河可容納 16000(cms)洪水量而不會發生洪泛
  - 防洪措施(工程)不僅提高安全性，也改善整體環境
  - 所增加的額外河道內空間，將保留以容納可能因氣候變遷增加的洪水量

### 2.還地於河措施

藉由檢討過去的防洪策略(如圖 28)，例如傳統的堤防加高加強、束縮河道等，提出新的還地於河措施，如拓寬河道、分洪、降低堤防、改變堤防位置等(如圖 29)。荷蘭政府投入 23 億歐元，擇定 30 個示範區施作(如圖 30)。



- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1 - narrowing of main channel     | 9 - lowering of flood plain            |
| 2 - lowering of groyne            | 10 - nature development                |
| 3 - dredging                      | 11 - removing of high-water free areas |
| 4 - dumping of sediment           | 12 - dike reinforcement                |
| 5 - permanent layer               | 13 - dike repositioning                |
| 6 - natural bank                  | 14 - retention                         |
| 7 - removing of summer embankment | 15 - obstruction of lateral flow       |
| 8 - secondary channel             | 16 - dike raising                      |

圖 28 還地於河措施示意圖

(摘錄自 Room for the river 網頁)

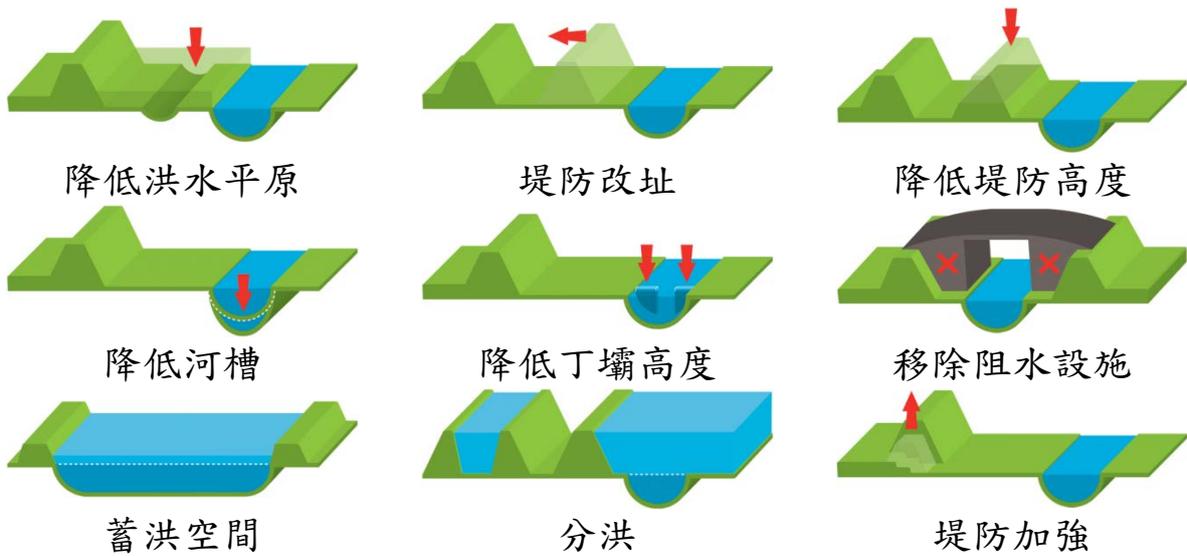


圖 29 還地於河措施示意圖

(摘錄自 Room for the river 網頁)



圖 30 還地於河措施示範區分布圖

(摘錄自 Room for the river 網頁)

以下以兩個案例來說明還地於河政策。

### 3. 堤防改址-以 Waal 河為例

Lent 城鎮位於 Waal 河彎道處，天然地形造成洪水瓶頸，使得高水容易漫淹(如圖 31)，最近 1993 年及 1995 年才發生洪泛，該地因此採用新的防洪策略，即退縮某段堤防、創造新的河道以分洪，該方法步驟如下(如圖 32)：

- 首先，為保護 Lent 城鎮，現況堤防反而限縮河川空間
- 計畫於東縮段長約 350 公尺堤防，予以後退重建
- 因前述堤防後退而生的浮覆地，則予以降挖形成新的河道，以作為分洪用。因此形成一個河中島。
- 最後，建立橋梁以聯絡河中島

上述堤防退後工程，於 2013 年開工，預計於 2016 年完工，該工程除增加防洪效益外；因而營造出的水域及河中島，更可為地方環境帶來新風貌(例如願景圖 33)。



圖 31 Waal 河相關位置圖

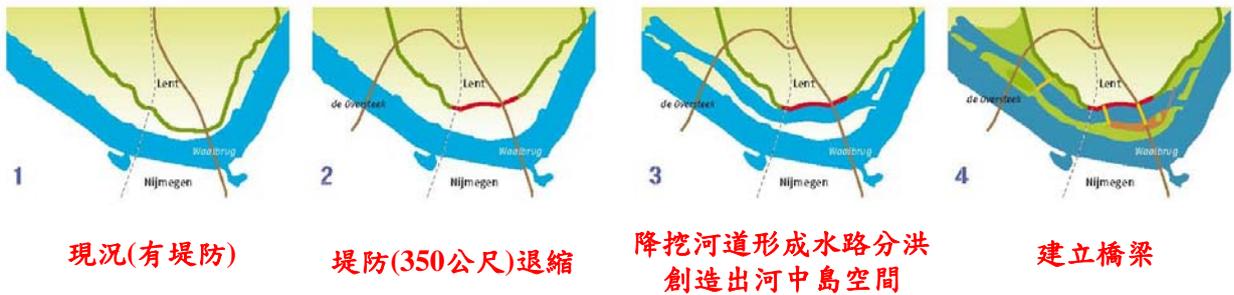


圖 32 Waal 河還地於河措施示意圖  
(摘錄自 Room for the river Waal 網頁)

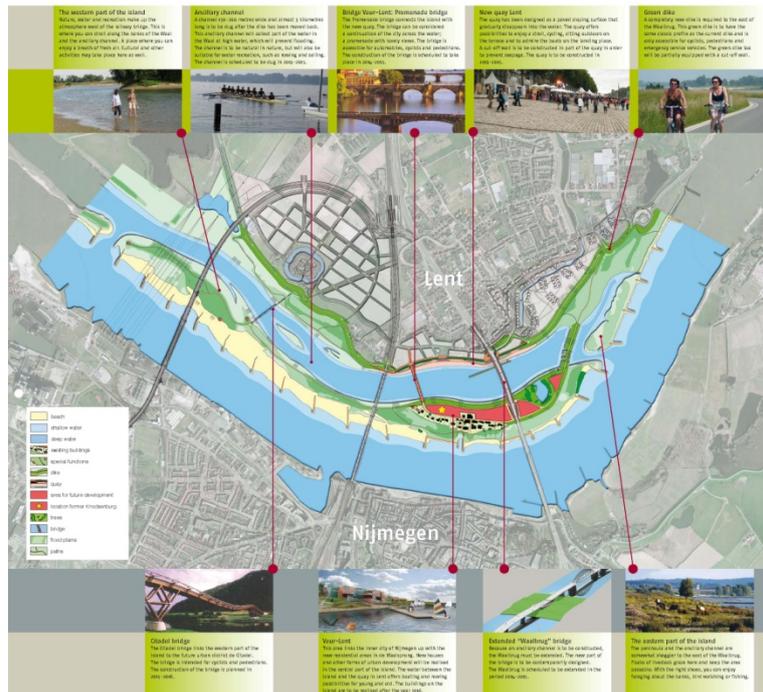


圖 33 Waal 河還地於河願景圖  
(摘錄自 Room for the river 網頁)

#### 4. 增佳蓄洪空間-以 Overdiepse Polder 為例

Overdiepse Polder 位在荷蘭南方 Meuse 河左岸，該地約有 550 公頃作為農業使用，歷年僅 1970 年代沒有洪泛發生。該河段河道形成兩股流路(圖 34、圖 35)，正常水位時兩股均有水流；而高水位時，主要洪水量集中於主河道，因而造成主河道兩岸堤防洪泛壓力。

目標：

- 當地農民、企業家及政府，一並合作
- 計畫案將低漥地轉化為可允許 25 年重現期距洪水漫灘的洪水平原(如圖 36)
- 因堤防改址，至少可降低 30 公分洪水位；並有助於上游地區防洪
- 洪泛區則可轉型為具吸引力的自然生態區
- 該地可轉型為可持續利用的農業區及更好的防洪保護



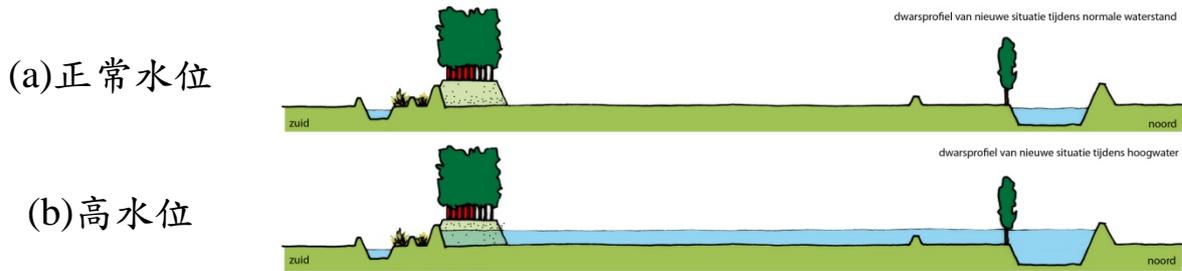


圖 36 Overdiepse Polder 計畫案不同洪水水位示意圖  
(摘自 Overdiepse Polder 網頁)

### 5. 規劃模擬數值模式(Planning Kit)

面臨洪水量增加，20 世紀末荷蘭政府決定採取還地於河新策略，然民眾對於新策略多所討論。彙集 700 多位民眾的提案，包含了阻水設施移除、洪泛區設置、堤防後移等方案，經過相似條件的電腦數值模擬，最終選出對於解決問題有助益的 40 個方案，也包含了組合方案。

2006 年荷蘭三角洲委員會(the Netherlands Parliament)決定推行上述 40 個措施，然需與公眾進一步溝通；且對於不同方案，需評估其成效。為此，規劃模擬數值模式(Planning Kit)就此產生。

該模式具有以下特點：

- 親切介面
- 可讓民眾選擇措施，並立即看到其成效
- 運算系統包含了水利模組，以便快速、線上評估不同方案的成效
- 也包含了其他資訊，例如邊界條件、現地照片、成本估計、生態影響、土壤材料等

Planning Kit 模式最主要是希望建立一個公眾討論的機制，讓不同專業領域專家及公眾，能縮短彼此距離，一起討論各種防洪方案(如圖 37)。

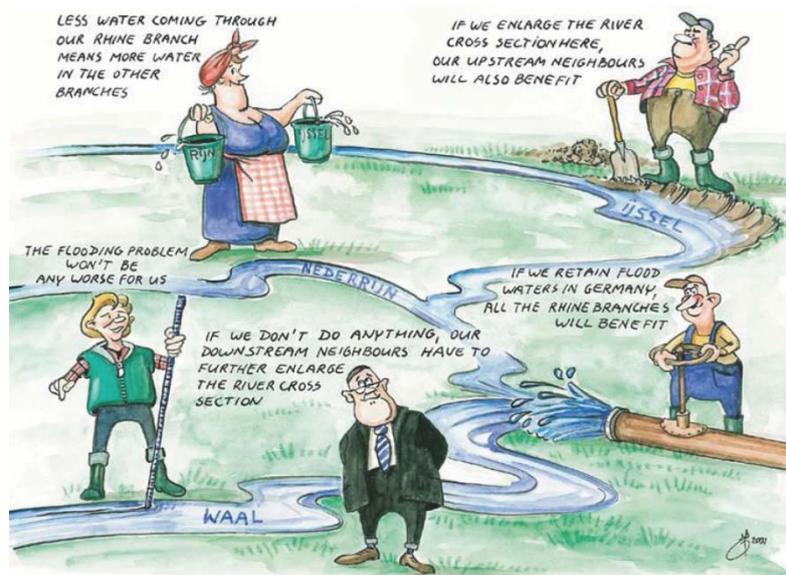


圖 37 不同人士對防洪措施想法示意圖

## (八)英國的洪災風險管理長期規劃

有關英國的洪災風險管理，主要是從 1995 年開始發展，而其發展進程如下所示：

- 1999~2000 年：國家於風險方面研究(National assets at risk study)
- 2002~2004 年：英國未來規劃(UK Foresight process)
- 2005~2010 年：政策和立法(Policy and legislation)

### 1.1998 年洪水省思

英國在 1998 年歷經一場大洪水，該場洪水是發生於假日，影響範圍擴及英國全國，新聞以頭版方式呈現，可見其受矚目的程度(受災程度如圖 38 所示)。因許多新落成房屋淹水、民眾不清楚他們是否處於洪泛區域；以及運作不佳的預警系統等原因，造成民眾的憤怒。然而，當時政府其實並不清楚可能產生問題的範圍。

鑒於該次嚴重洪災事件，英國政府開始以下作為：

- 調查洪災原因
- 釐清洪水預警責任
- 簡化及標準化洪水預警流程
- 評估總洪災風險的暴露量；以及支出
- 以洪災風險角度，重新檢視空間規劃發展



**圖 38 英國 1998 年洪水受災情況**  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

## 2. 國家資產風險研究(National assets at risk study) (1999~2000)

該研究主要是英國財政部希望修正防洪工程支出，研究目標如下：

- 評估因洪泛及海岸線退縮所造成經濟損失
- 定義因不同投資層級，其風險減少程度(如圖 40 所示)
- 更新氣候變遷影響評估

該項研究項目包含如下：

- 50 年重現期距海岸線侵蝕的洪災圖
- 農業用地分級圖(如圖 39 所示)
- 區域房價
- 9 種商業類型應繳稅收
- 平均洪災淹水深度及淹水延時
- 計算每年平均損失(Annual Average Damages)

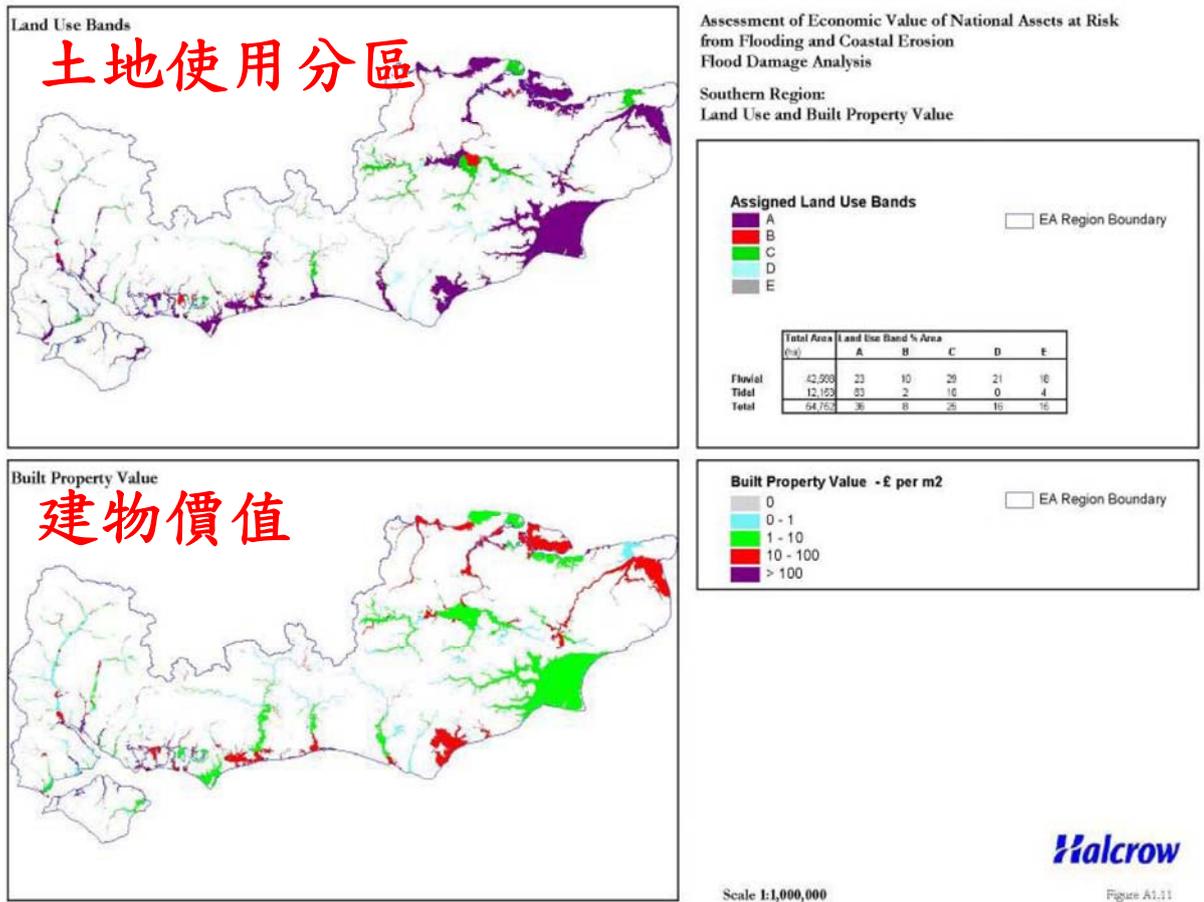


圖 39 英國國家資產風險研究-土地分區圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

另外對評估基線(baseline)，其設定如下：

- 有 10% 人口承受洪災風險
- 有 61% 最佳農業區(第一等級)位於洪泛區
- 前述災損超過 2 兆英鎊
- 零方案(即不做任何行動)，可能導致 280 億英鎊的年平均損失

該研究結論如下(如圖 40、圖 41)：

- 為維持目前防洪功能，相關支出必須增加至少 50%。
- 若以目前利率計算，未來所的平均損失，是現在的 3 倍。
- 若考量氣候變遷情境下，目前設計洪水會增加 3 倍發生頻率。

對於投資防洪工程(措施)與預算支出，兩者之間是個困難的抉擇。

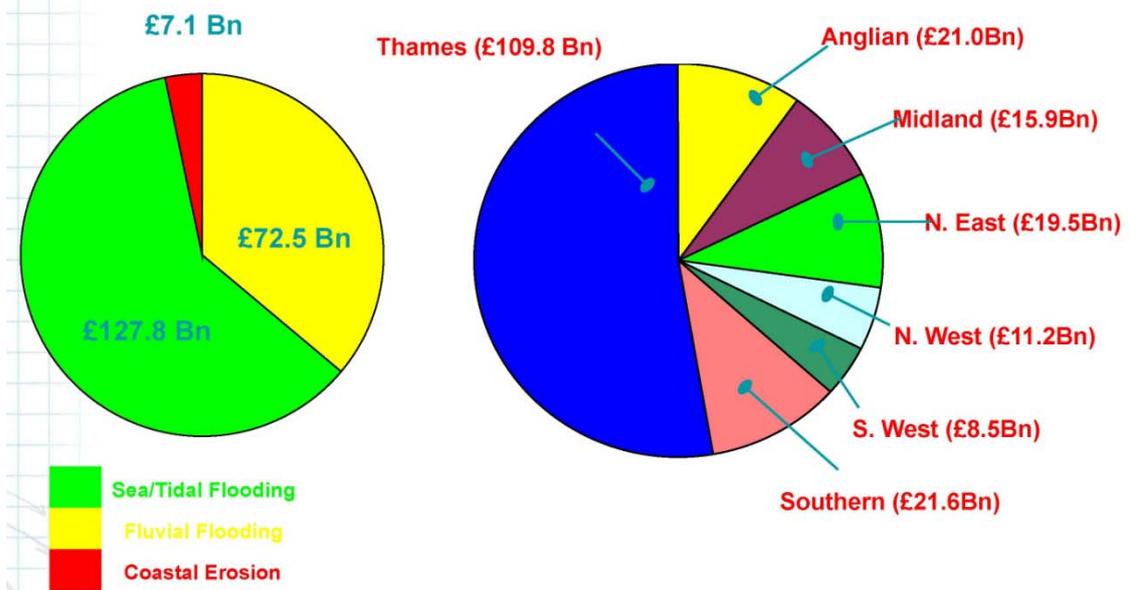
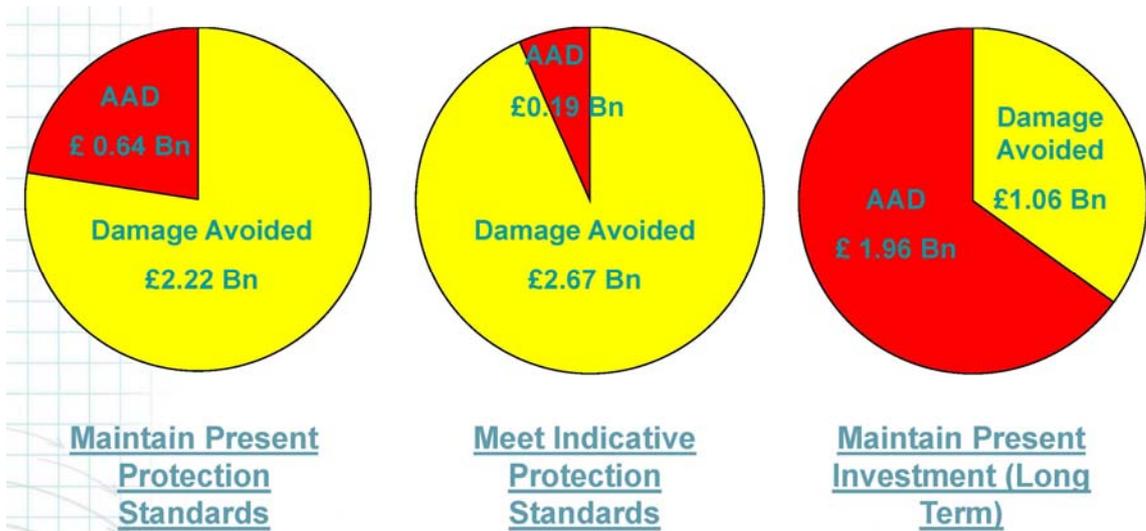


圖 40 英國國家資產風險研究-英國各分區財產可能承受風險示意圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)



**AAD：年平均損失(Annual Average Damages)**

圖 41 英國國家資產風險研究-防洪投資效益示意圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

### 3.英國未來規劃(UK Foresight process) (2002~2004)

為了解未來洪災情境之影響，英國進行”未來規劃”(UK Foresight process)，該研究是以英國全國為研究尺度，探求未來可能的洪災風險，並考量氣候、社會、經濟發展、政策、洪災管理技術等情境因子。

研究目標如下：

- 界定洪災風險關鍵驅動力，如社會、經濟及環境議題。
- 建立相關因子的情境(storyline)，如 2050 年及 2080 年。
- 界定可能影響範圍，包含了社會-經濟，評估其影響程度。
- 政策選擇建議及實施。

UK Foresight process 將社會經濟發展情境分為四大類，為評估我們須設定情境，坐標縱軸代表政治經濟狀態，依封閉狀態區分；另一軸代表經濟型態，依市場自由度作區分，因此兩坐標軸將社會經濟發展區分為四類(如圖 42 所示)：

- 國營企業(National Enterprise)
- 地方治理(Local Stewardship)
- 世界市場(World Markets)
- 全球永續(Global Sustainability)

前述情境亦可與 IPCC 四個情境做結合。該計畫亦分析在不同情境下，未來(2080 年)英國年平均災損(如圖 43)。

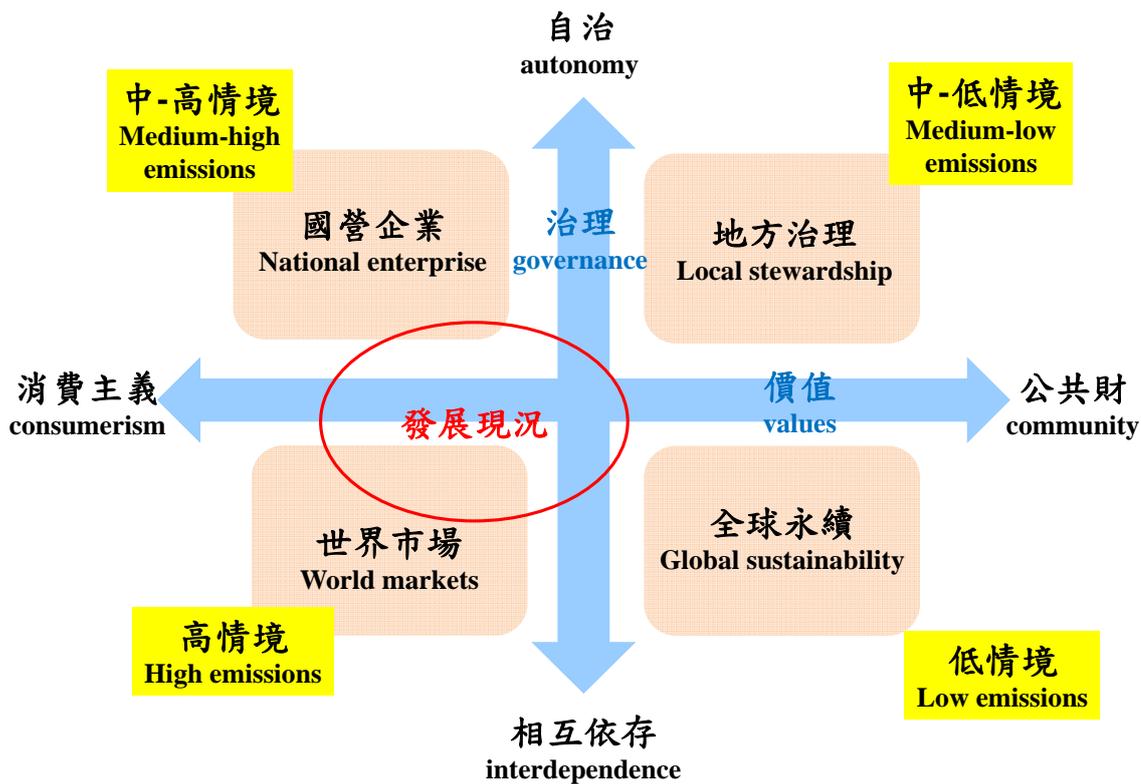


圖 42 社會經濟發展情境  
 (改繪自英國 Foresight Future Flooding 報告)

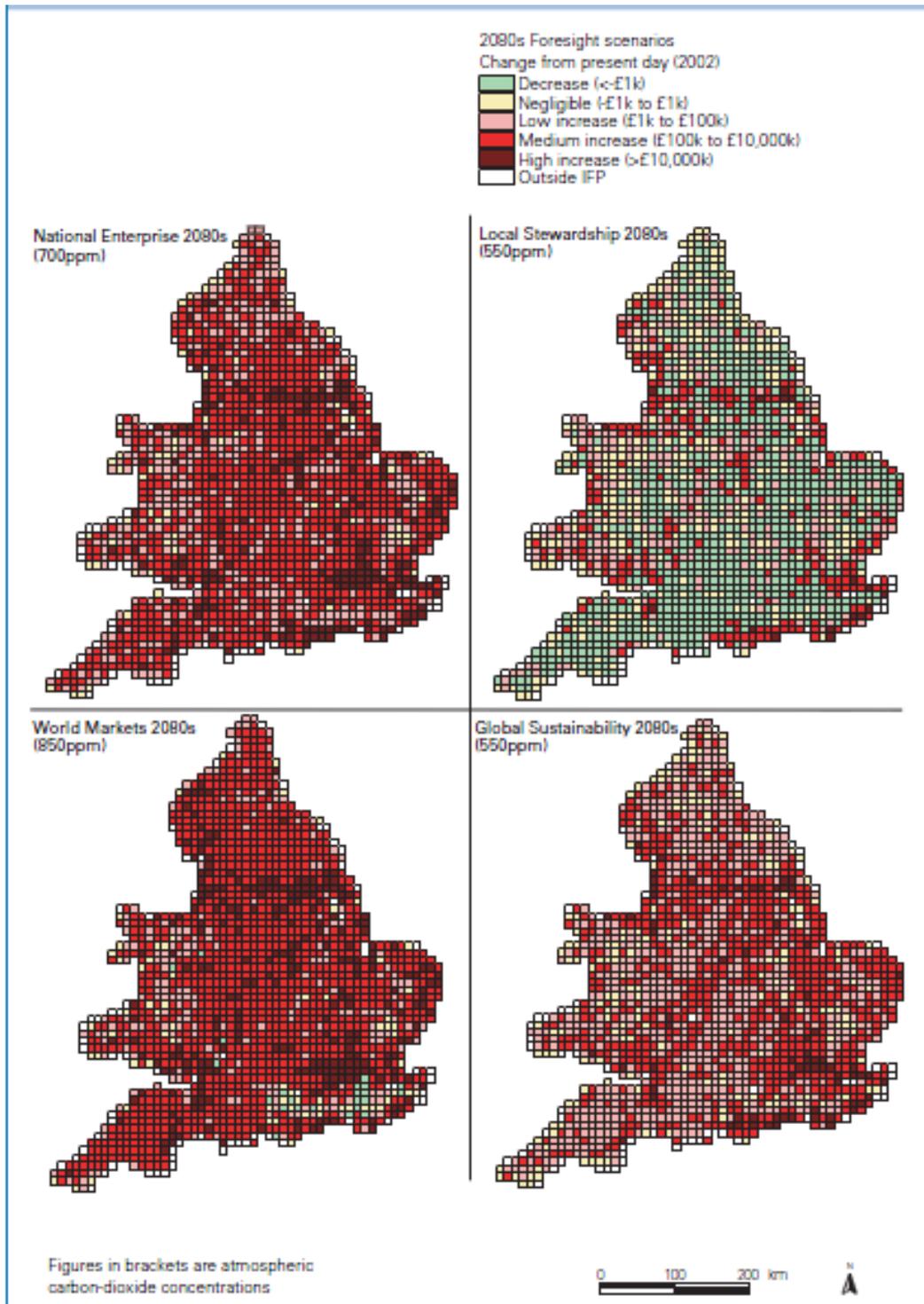


圖 43 英國年平均災損四種情境預測圖  
(摘錄自英國 Foresight Future Flooding 報告)

該計畫結論如下：

- 風險可能由眾多影響因子導致。
- 風險關鍵地區，如泰晤士河谷、東南海岸、東英吉利區、

沿塞文河口的市區等地區。

- 研究結果顯示，有形的經濟損失增加。
- 須調整相關投資及反應策略，以為因應。
- 預測結果顯示，海岸的洪水平原將會是最脆弱的地區。

#### **4.政策和立法(Policy and legislation) (2005~2010)**

為回應英國未來規劃(UK Foresight process)有關政策方面建議，英國政府提出了“為水留下空間”(Making Space for Water)政策，目標為 2025 年，他們覺得社會必須“與水共生”(live with floods)，其中內容包含了：

- 政策方向包含各種可能洪水來源，不僅是河川或海岸。
  - 有關海案洪災方面，結合海岸侵蝕政策。
  - 採取多元(“portfolio” approach)、非工程措施。
  - 考量社會、經濟及自然的永續發展政策目標
- 該政策整體作法(a “holistic” approach)如下：

- 決策時考慮氣候變遷調適策略
- 流域整體治理規劃
- 讓利害相關者均參與
- 環境部來負責統籌執行

此外，為能改善風險管理，提出下列策略：

- 改善資料及資訊品質，特別是在受災資訊及海岸侵蝕方面
- 包含各種可能洪水來源的資訊
- 擴充洪水預警系統
- 鼓勵非工程措施

關於法規及立法方面，包含了兩個部份。首先是加強規劃及有效管理方面：

- 希望能克制洪災風險的增加
- 提出新的規劃政策(New Planning Policy Statement)(2006)
- 建立洪災風險評估文件(Flood Risk Assessment documents)

此外，並提出”水及洪災管理行動方案”(Flood and Water Management Act) (2010)，該方案包含了：

- 涵蓋各種來源的洪水
- 釐清相關責任，如洪災前規劃及防洪、洪災時的應變等。

## (九)FLOODsite 計畫簡介

### 1.簡介

因近年洪水頻仍，造成可觀的洪水災損，然洪水是不分國界的，因此歐盟於2004年至2009年，發起了FLOODsite 跨國合作計畫，參與國家包含英國、荷蘭、法國、比利時、捷克、德國、西班牙、希臘、匈牙利、義大利、波蘭、西班牙、瑞典等國(圖 44 如所示)，其預算經費約為 970 萬歐元，由 37 合作團隊，超過 200 個研究單位參與，執行 35 個研究計畫。

以下藉由幾個其中的子計畫介紹，一窺 FLOODsite 跨國合作計畫。



圖 44 FLOODsite 計畫參與國家分佈圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

### 2.破堤過程(Breaching processes) (子計畫 6)

為研究河防構造物，在洪水期間破壞過程，因而成立子計畫 6，它是延續子計畫 4 關於河防構造物破壞模型的研

究(failure modes)。子計畫 6 主要研究項目如下：

- 潰口(breach)發生及演化
- 藉由實驗了解其機制
- 此外，基於新的實驗數據或現正發生的案例，研發數值模式

基於前述工作項目，首先嘗描繪解破堤過程，若以海堤為例，則如圖 45 所示。其次，再輔以實驗室實驗；以及現地試驗(如圖 46)，藉以改良原有破堤數值模型“HR BREACH 模式”(如圖 47)。

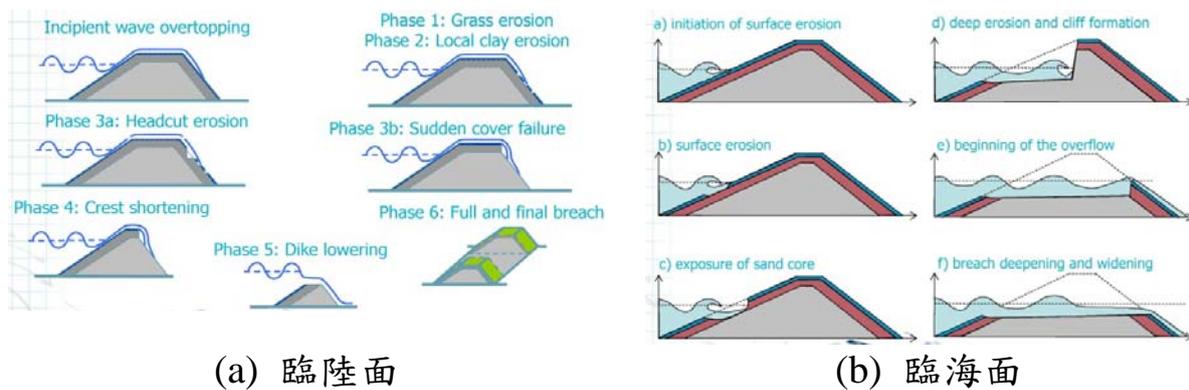


圖 45 破堤過程示意圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

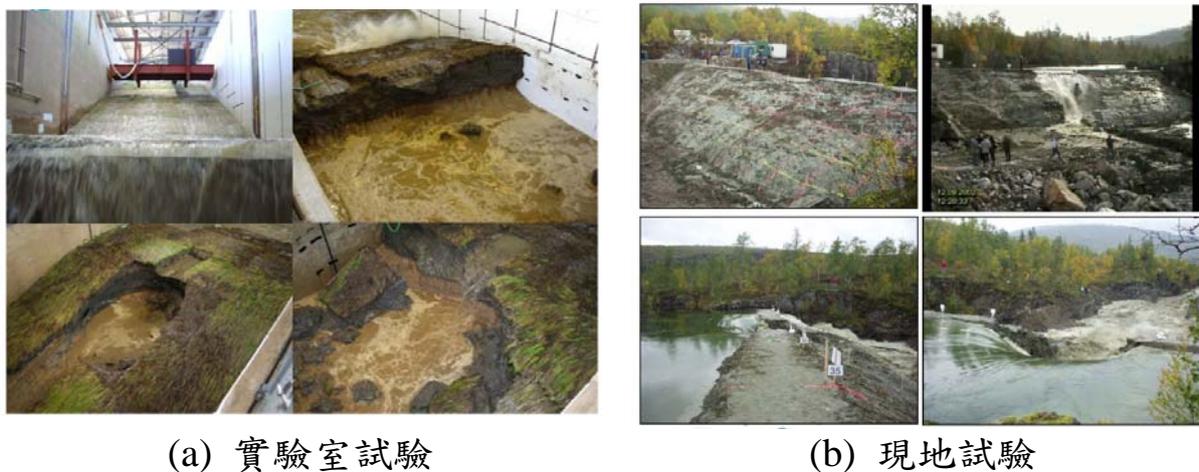
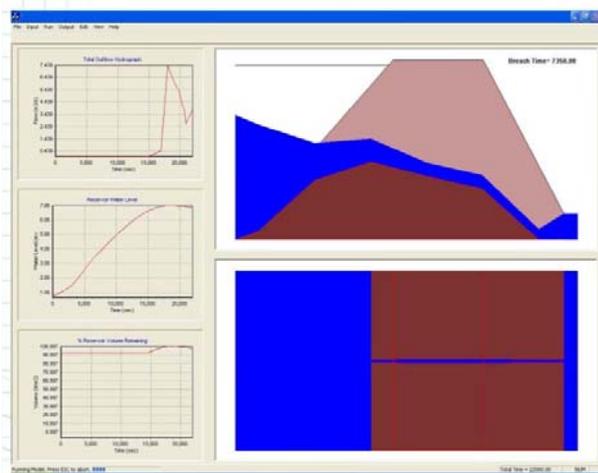
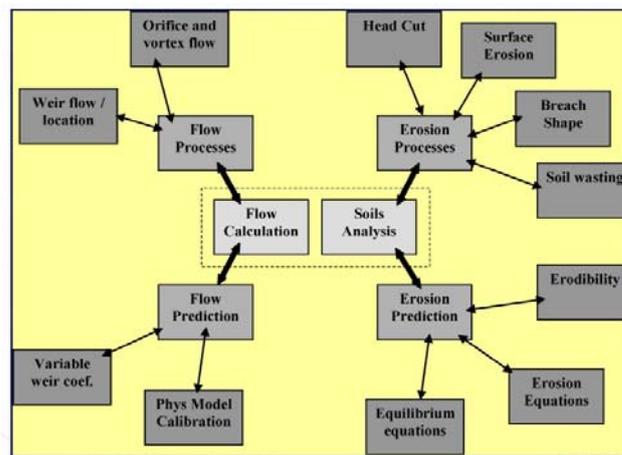


圖 46 破堤試驗過程圖  
(摘自 Dr. Samuels 上課講義)



(a) 操作介面



(b) 模式架構

圖 47 破堤模式圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

### 3. 防洪工程的可靠度(Defence reliability) (子計畫 7)

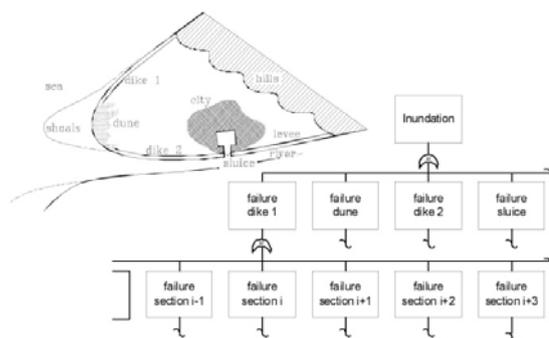
子計畫 7 主要目的為評估防洪工程的可靠度，然因為構造物型態多所不同、其具有眾多負載或阻力變數；及很多可能的破壞機制，故該子計畫建議藉由蒙地卡羅法 (Monte Carlo)，模擬分析所有的隨機變數，進而分析防洪工程的可靠度(如圖 48)。

水力負載而導致的破壞型式

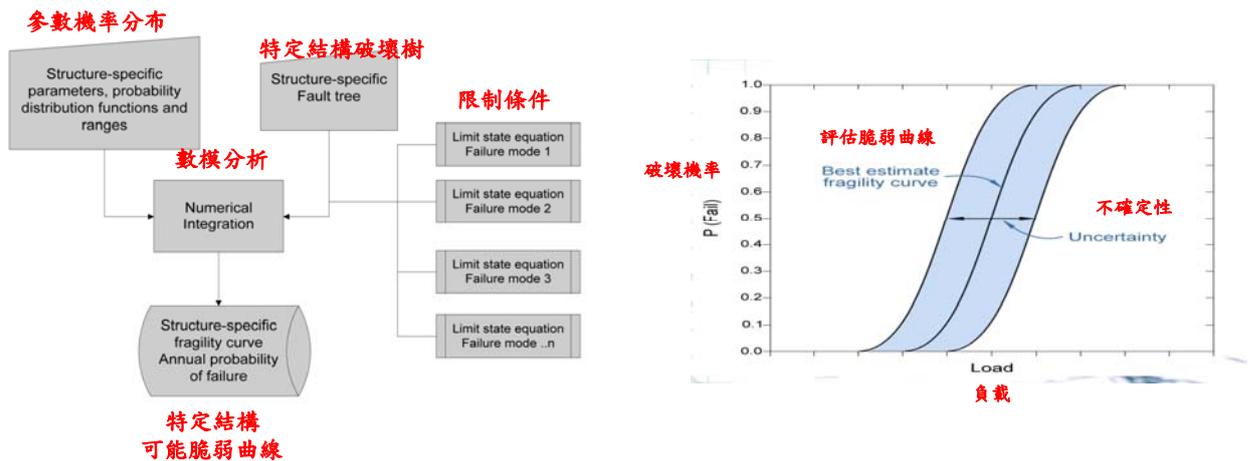
防洪構造物

Failure Mechanism	Failure Mechanism											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Overtopping and erosion	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2. Sliding	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
3. Foundation failure	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
4. Breach	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5. Pipe failure	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

(a) 防洪構造物與破壞型式組合



(b) 破壞樹(fault tree)



(c) 可靠度分析

(d) 不確定性

圖 48 可靠度分析示意圖

(摘自 Dr. Samuels 上課講義)

#### 4. 建立生命損失模型(Loss of life modelling)及疏散規劃 (evacuation planning)

為評估災損應變及可能損失，我們需要生命損失模型 (Loss of life modelling)及疏散模型(evacuation planning)，說明如下：

生命損失模型，係評估不同情境下可能受災的設施、人員、車輛或建物等。

疏散模型，包含如下：

- 評估不同情境下，疏散風險地區人民所需時間
- 封路影響、預警訊息的傳遞
- 洪災時間民眾防災意識

前述兩個模型具下列特性：

- 微小尺度(Micro-scale)疏散模型
- 每位民眾及建議都被獨立建置
- 計算疏散時間及人員傷亡
- 可評估不同疏散策略

我們首先界定研究範圍(圖 49)，可分為巨觀至微觀，

其次蒐集研究範圍內實際資料，包含人口、財產及車輛等，再者，建立二維洪水淹水模型，結合前述兩者，模擬評估生命損失，最後作一研析及可視化展現(如圖 50)。

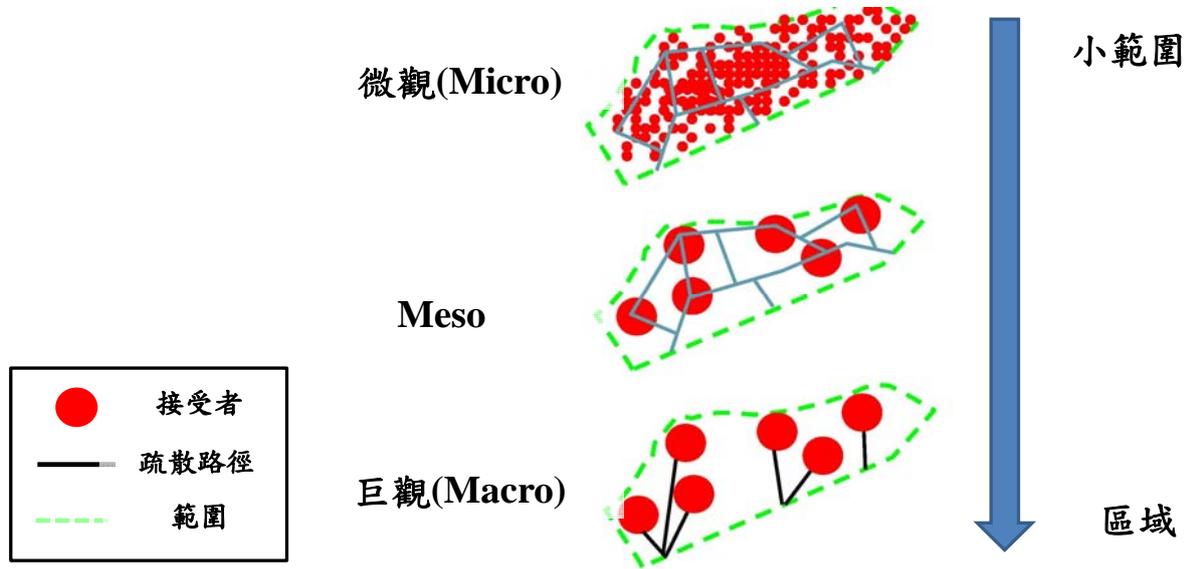


圖 49 不同尺度生命損失模型空間分布示意圖

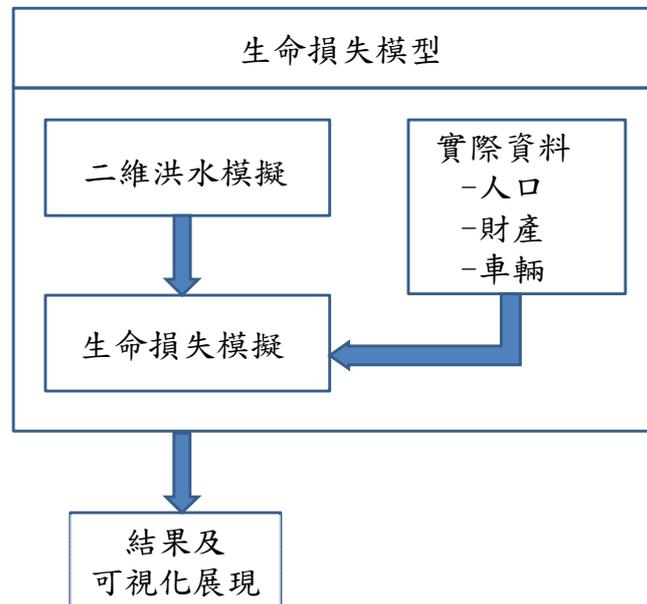


圖 50 生命損失模型示意圖

## (十) 洪災風險圖

### 1. 洪災風險概念

洪災風險管理主要目標如下：

- 降低目前風險：採取現況工程措施或非工程措施。
- 降低未來可能增加風險：採取合宜措施(例如透過土地使用管理等)。
- 適應未來改變(例如人口成長等)。

為有效進行洪災風險管理，對於目前及未來洪災及風險，須了解相關知識：

- 洪水類型
- 極端洪水發生機率
- 洪災規模
- 淹水深度
- 流速
- 後續影響

所謂「風險」(risk)，一般定義包含災害(Hazards)、暴露量(Exposure)及脆弱度(Vulnerability)，其關係如圖 51 所示，該三項因子說明如下：

- 災害(Hazards)：洪災規模及發生機率，透過洪泛圖可顯示風險區域範圍、水深及流速等。
- 暴露量(Exposure)：描述可能受災區的人類活動(如人口等)及自然環境。
- 脆弱度(Vulnerability)：承受洪災損失(如社會經濟等)的程度。

三項因子亦可表示成「風險三角形」(risk triangle)(如圖 52)，三角形三邊分別代表三項因子，而其所包圍面積即為風險，因此增加任一因子即增加風險。



圖 51 洪災風險示意圖

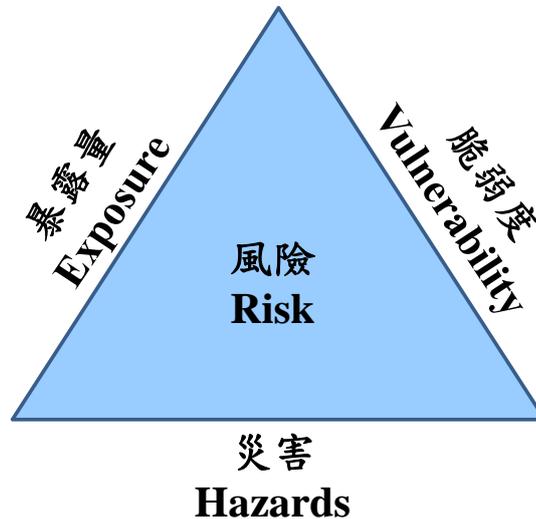


圖 52 洪災風險三角形示意圖

為有效管理洪災風險，洪災風險圖(flood risk mapping)是必要的工具。它提供有關災害、風險及脆弱度相關資訊，呈現不同規模洪災下影響程度。洪災風險圖有不同類型，舉例如下：

- 洪災計畫圖(flood maps)：標示可能洪泛區域。
- 洪水災難圖(flood hazard maps)：包含洪水類型、洪泛水深、流速、道路網及避難路線等。
- 洪水風險圖(flood risk maps)：標示可能受災居民數量、洪水防禦措施及可能影響之社經活動等。

洪災風險管理措施可分為工程(structural adaptations)、非工程(non-structural adaptations)措施及零方案。工程措施如堤防、堰壩、丁壩等；非工程措施如法規、洪水預報及預警、洪災保險等；零方案如與洪水共生(living with floods)。

為避免洪災風險管理相關計畫零散化，有必要進行「整合洪災管理」(Integrated Flood Management, IFM)。它整合河川流域內的土地及水資源發展，其目標在於洪水平原利用淨效益的最大化；及洪災損失的極小化(示意如圖 53)。目前相關國際整合組織如下：

- Associated Programme on Flood Management  
(<http://www.apfm.info>)
- International Flood Initiative (<http://www.ifi-home.info/>)
- EU project FLOODsite (<http://www.floodsite.net>)
- EU project RIBAMOD (Pre-flood, during flood and post-flood activities)

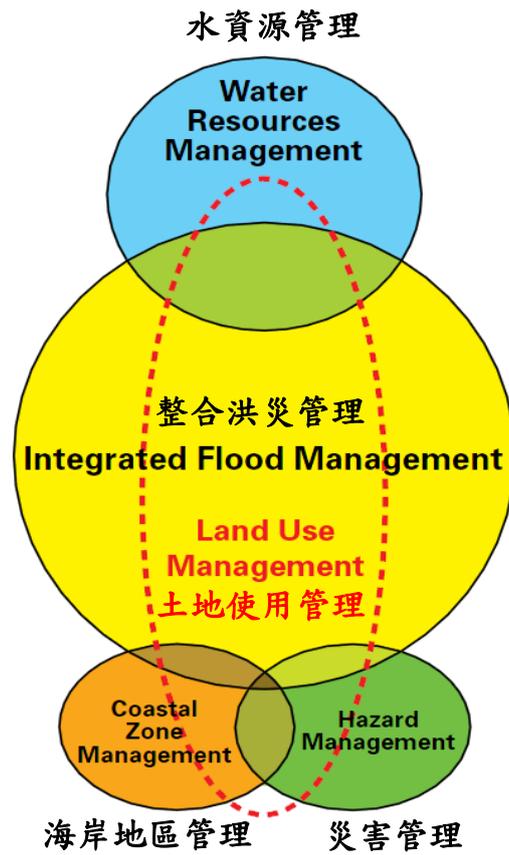


圖 53 整合洪災管理模式

(摘錄自 Integrated flood management concept paper, 2009)

## 2. 歐盟洪水指令(EU Flood Directive)

歐盟於 2007 年發布歐盟洪水指令 (EU Flood Directive)，呼籲各會員國對洪災風險管理採取一致的行動，該指令關於洪水風險管理之發展進程如下：

1. 初步洪災風險評估(2011)：2011 年完成各流域的初步洪災風險評估，包含了：

- 發展各流域的初步洪災風險評估
- 考慮跨國界的國際河流
- 發展河川流域圖
- 對於過去極端洪水的描述
- 評估未來洪水發生潛勢

2. 洪災風險圖(2013)：所有會員國須於 2013 年完成洪水災難圖 (flood hazard maps) 及洪災風險圖 (flood risk maps)，該圖對應了三種洪水發生事件，分別為：

- 低發生機率(即高重現期距)洪水事件(例如極端洪水事件)
- 中發生機率(即中重現期距)洪水事件(發生機率約為 1%)
- 高發生機率(即低重現期距)洪水事件

對應前述三種洪水發生事件，在洪水圖上提供洪泛範圍、水深(或水位)及流速等資訊。並顯示可能不利的後果，例如：受災人口、受影響的經濟活動、可能造成污染設備及其他有用的資訊等。另外，發展海岸地區低發生機率(即高重現期距)洪水災難圖。

3. 洪災風險管理(2015)：所有會員國須於 2013 年完成洪災風險管理(flood risk management)計畫，包含了：

- 建立合宜洪災風險管理目標
- 成立計畫達成前述目標
- 考慮效益分析
- 所提出之措施，不可對上、下游其他國家，顯著增加其洪災風險。

另外亦透過雙邊或多邊合作機制，建立區域(跨國)洪水圖。

### 3.建立洪災風險圖

洪災風險圖，依對象大致可區分為河川地區及海岸地區。有關河川洪災風險圖，其建立流程如下：

- 準備數值地形資料(DTM)：有多種解析度資料可提供下載，例如 SRTM 模式庫可免費下載 90 公尺\*90 公尺 DTM；而 ASTER 則可提供 30 公尺\*30 公尺 DTM。若須高精度 DTM 資料，則可透過 LiDAR 等方式獲得。水面以下的地形資料，則輔以大斷面測量資料加以修正。
- 建立水文模型(Hydrological modelling)：透過降雨-逕流模式，用以推估不同重現期距的洪水量。
- 建立水理模型 (Hydraulic modelling)：可使用如 SOBEK、MIKE11、HEC-RAS 等模式模擬，提供不同洪水事件下之洪泛水位高度、洪水深度及流速等資訊。
- 建立洪泛模型(Inundation modelling)：依前述水理模型模擬成果之洪泛水位高度；再配合地形，則可建立洪泛圖。
- 蒐集社經資料(Socio-economic data)：
  - (1)人口資料：需要高解析度的人口資料，在歐洲，人

口資料一般是結合郵遞區號，因此可透過郵遞區號獲得人口資料，若未能取得，則可以土地使用資料替代。

(2)經濟資料：同人口資料，可透過郵遞區號獲得，若未能取得，亦可以土地使用資料替代。

(3)維生系統資料：包含通訊、能源、水資源、下水道、醫療、教育機構等，亦可透過郵遞區號獲得。

(4)可能致災資料：例如化學公司、瓦斯公司、核電廠等。

(5)其他資料：例如文化古蹟資料、歷史洪災資料等。

- 建立地圖：結合洪泛圖及社經資料，則可成為洪災風險圖。另可依不同水文量，建立不同重現期距的洪災風險圖。

#### 4. 洪災風險圖在歐盟之應用

歐盟根據洪水指令，成立相關組織平台，例如「歐盟洪災地圖交換循環機制」(European eXchange Circle on flood MAPping, EXCIMAP)及「歐盟合作中心」(Joint Research Centre, JRC)。

「歐盟洪災地圖交換循環機制」(EXCIMAP)，於 2006 年開始運作，共計 24 個歐盟會員國參與，提供一個交換洪災風險地圖經驗的平台，以利增進溝通。

「歐盟合作中心」(JRC)發展「泛歐盟洪災風險圖」(pan-European flood risk maps)，以 Ad De Roo et al 於 2007 年研究泛歐盟洪災風險圖(Potential Flood Hazard and Risk Mapping at Pan-European Scale)為例，可藉由蒐集數值高程地形；及水文、水理計算，我們可以得到洪泛洪水高程，據此製作「洪水災害圖」(flood hazard map)。其次，藉由各國人口密度，可計算暴露量指標(computing exposure)，據此製作「洪災暴露量指標圖」。再藉由各國 GDP 資料，可計算脆弱度指標，繪製「脆弱度圖」(vulnerability map)。最後，綜整前述三項圖資，製作「洪災風險圖」(flood risk map)(如圖 54 至圖 57)。

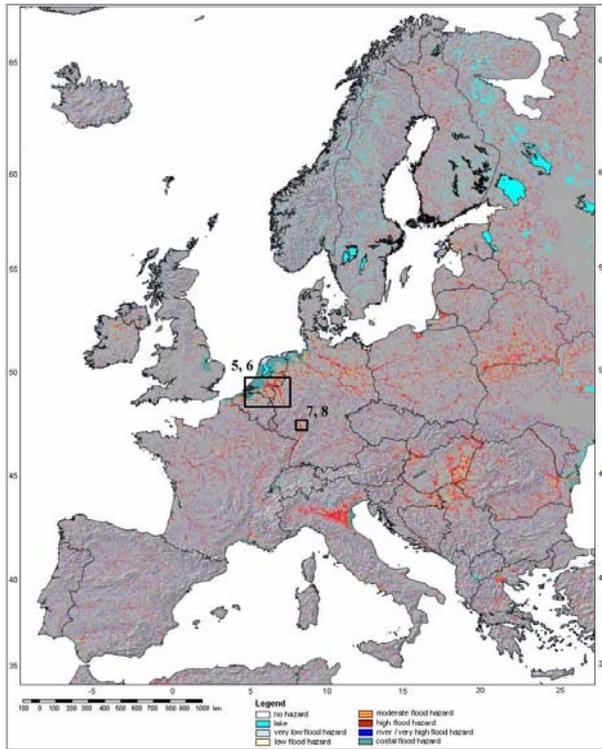


圖 54 歐盟洪災潛勢圖

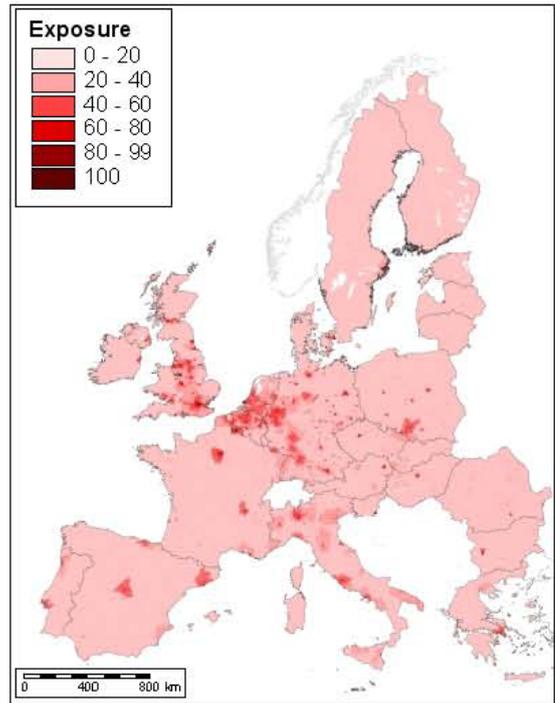


圖 55 洪災暴露量指標圖(根據人口密度)

資料來源：Ad De Roo et al (2007), “Potential Flood Hazard and Risk Mapping at Pan-European Scale.”

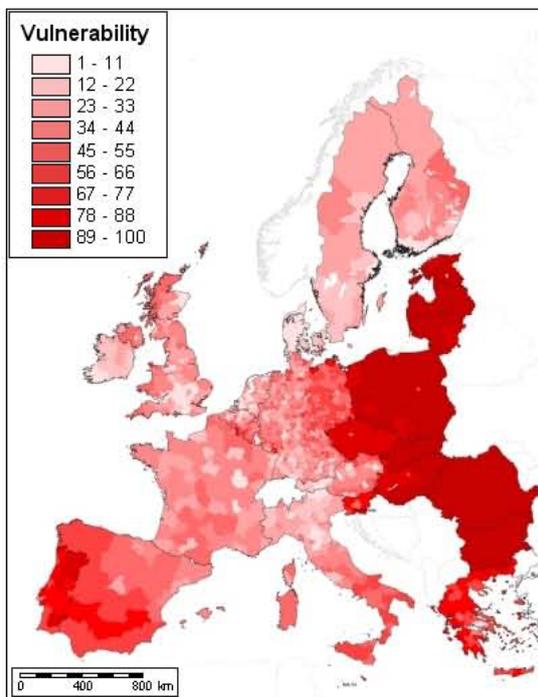


圖 56 洪災脆弱度圖(根據 GDP)

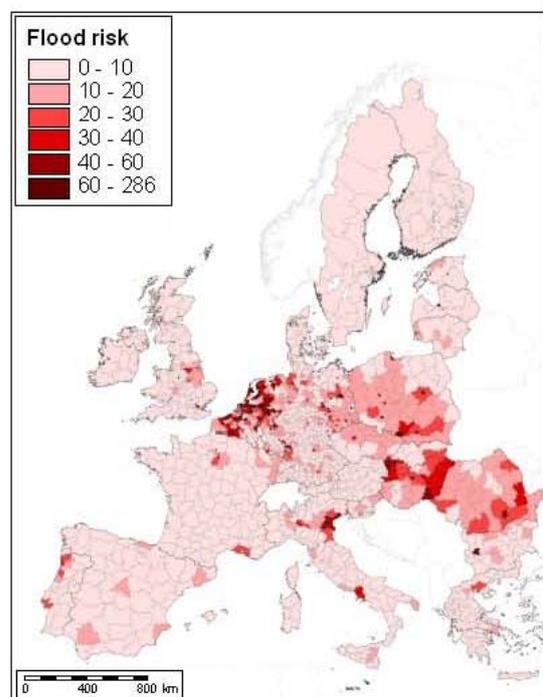


圖 57 歐盟洪災風險潛勢圖

資料來源：Ad De Roo et al (2007), “Potential Flood Hazard and Risk Mapping at Pan-European Scale.”