

因應氣候變遷之調適策略 Global Climate Change -Integration Coherence and Governance

李鴻源
國立台灣大學土木工程系教授

氣候變遷： 人類共同危機，城市發展挑戰

氣候變遷？



全球危機？

城市治理？

台灣的未來？

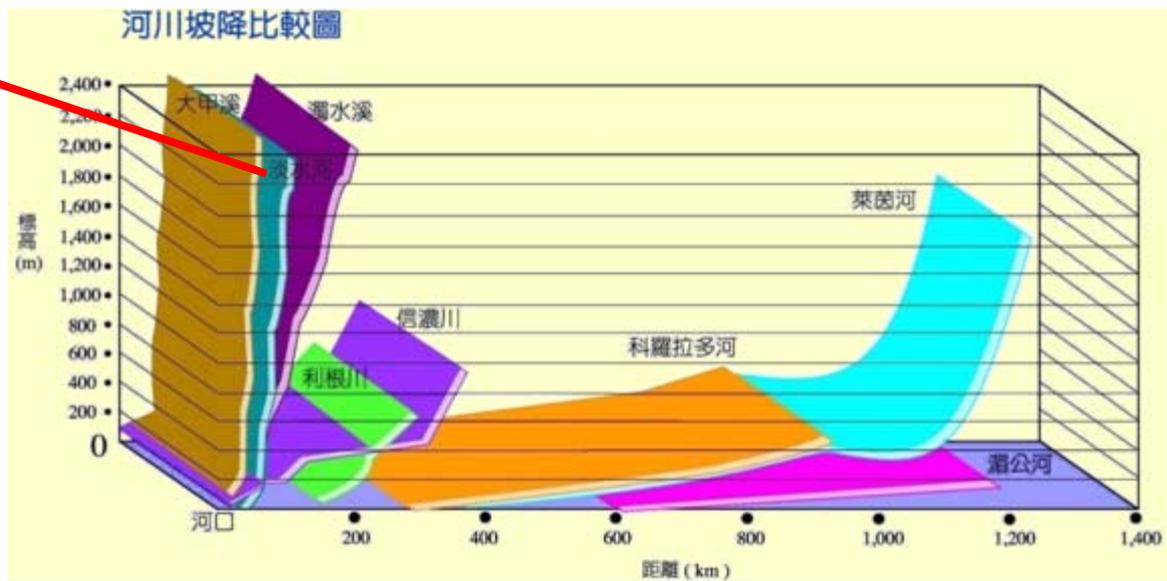
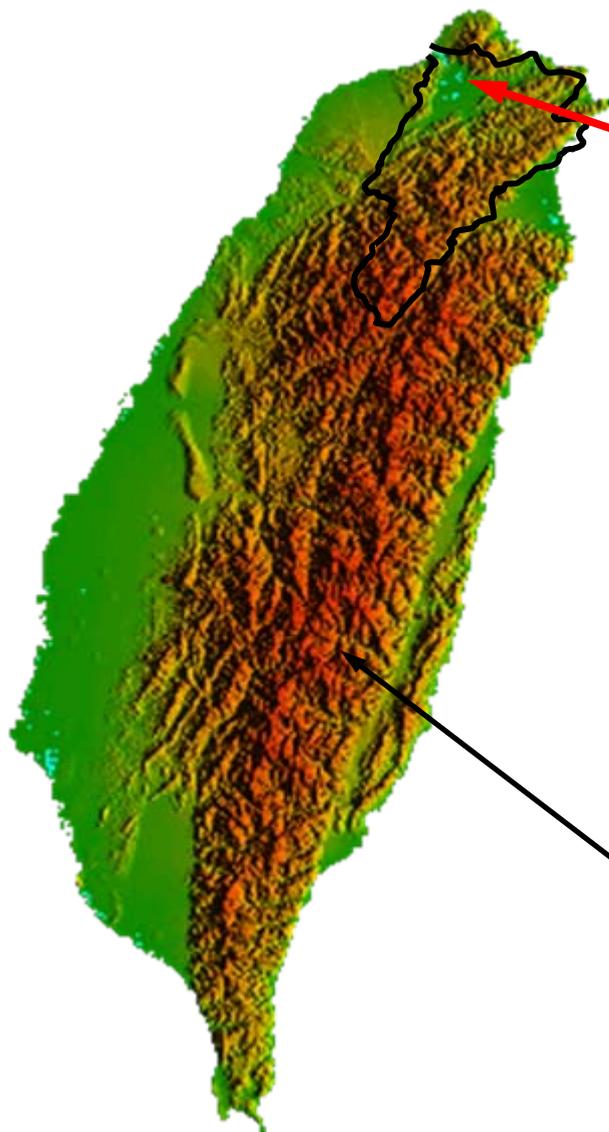
我們將往何處去？

20年內，地球的人口預期將會急速增加20億人以上。

- 食物的生產必須增加百分之四十以上！
- 過度砍伐森林，物種滅絕
- 缺水
- 水污染
- 需要更多能源
- 過度捕撈魚類
- 傳染病
- 氣候的改變
- 貧窮
- 金融風險
- 國際衝突



台灣必須面對的真相

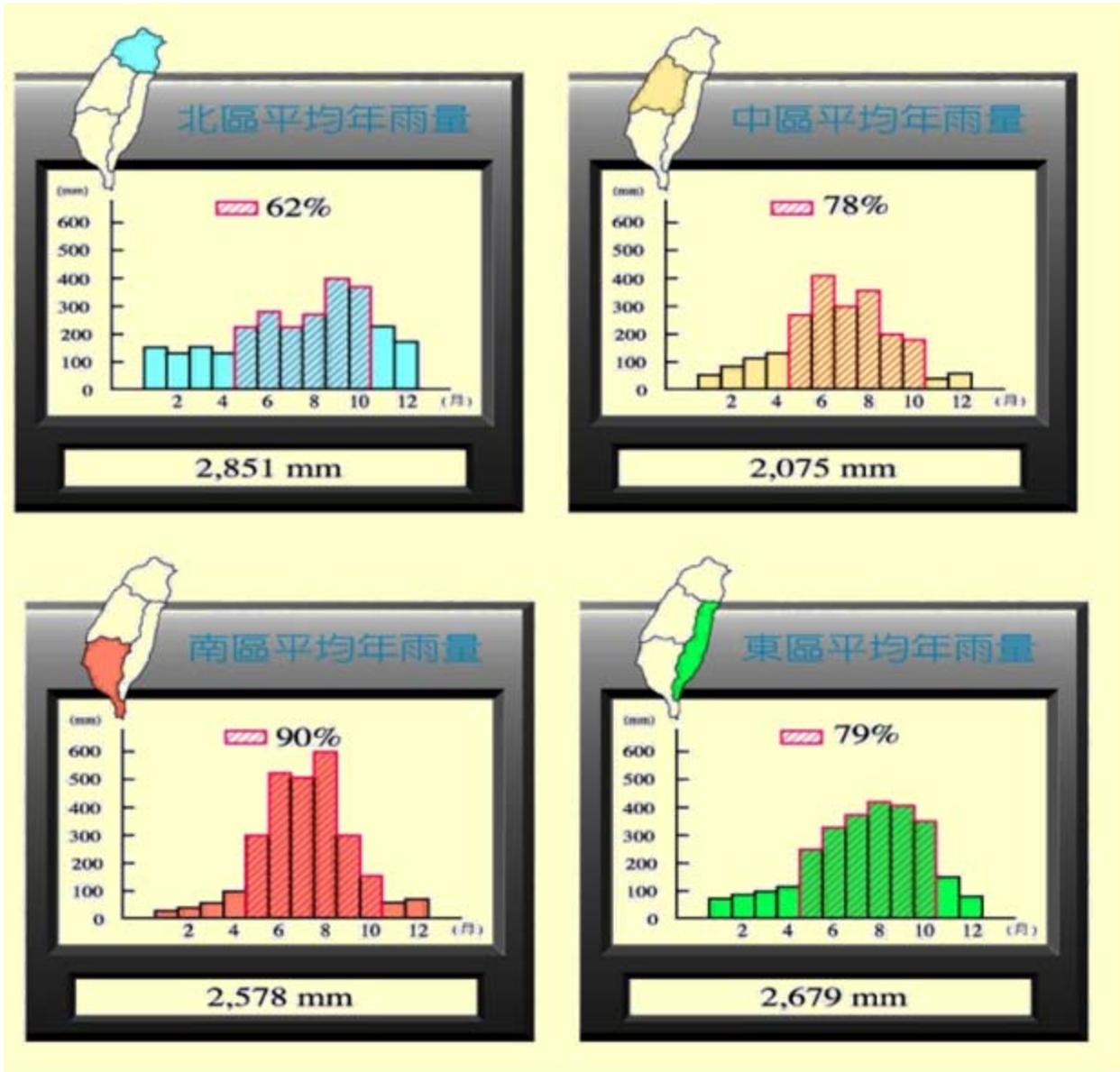


Island length : ~ 400 km

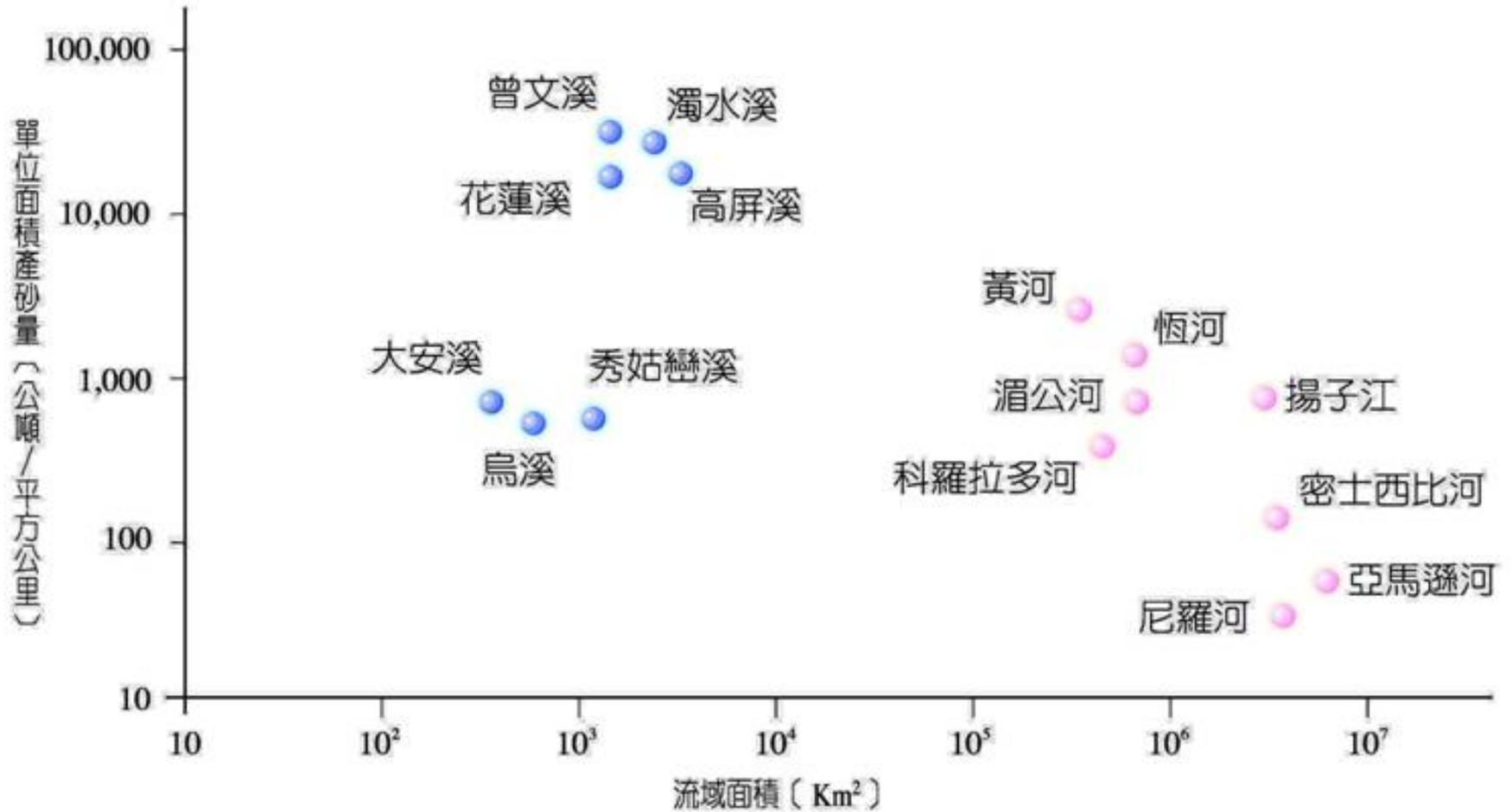
Island width : < 150 km

Highest mountain : 3950 m

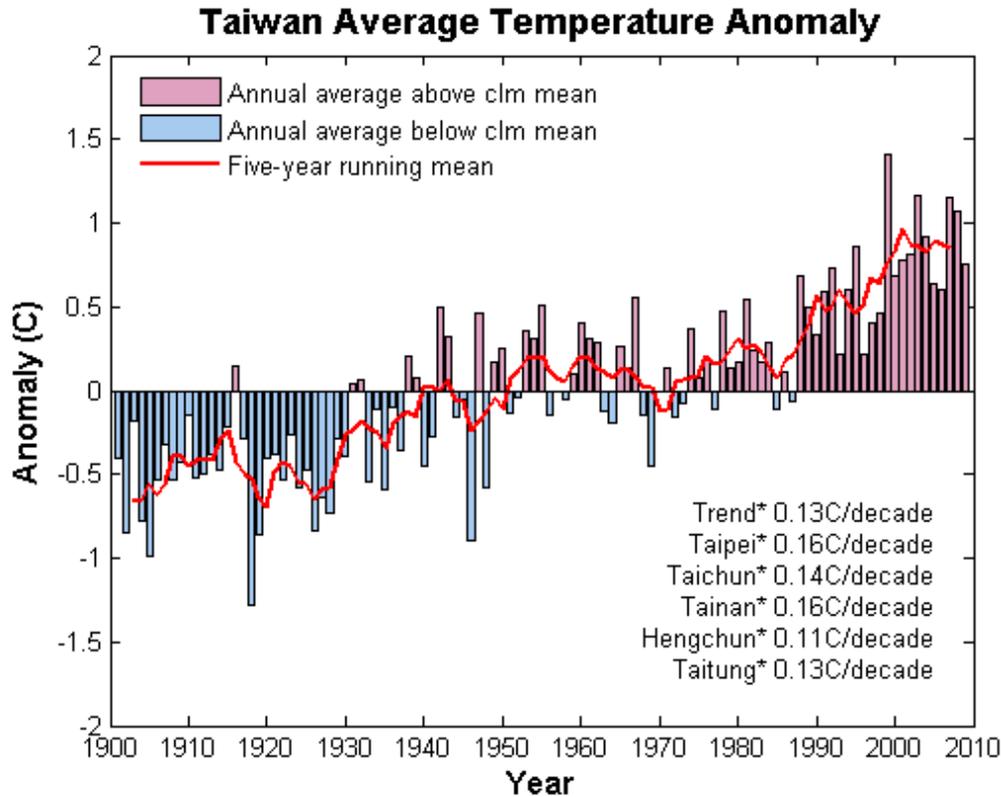
Uneven spatial and time distribution



單位面積泥砂量比較圖



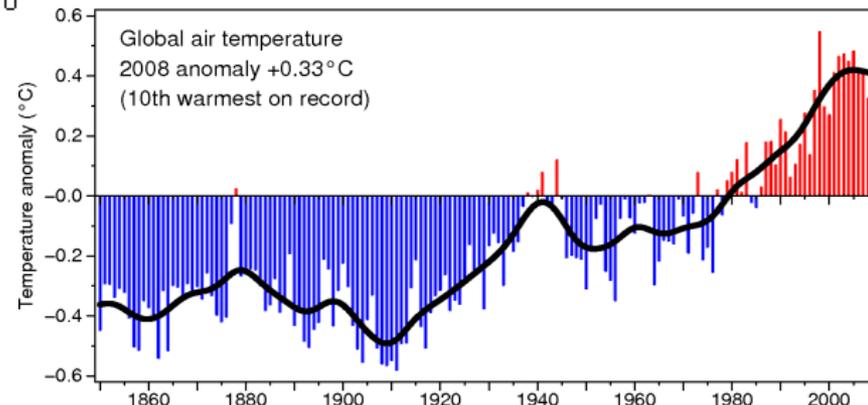
台灣平均溫度上升



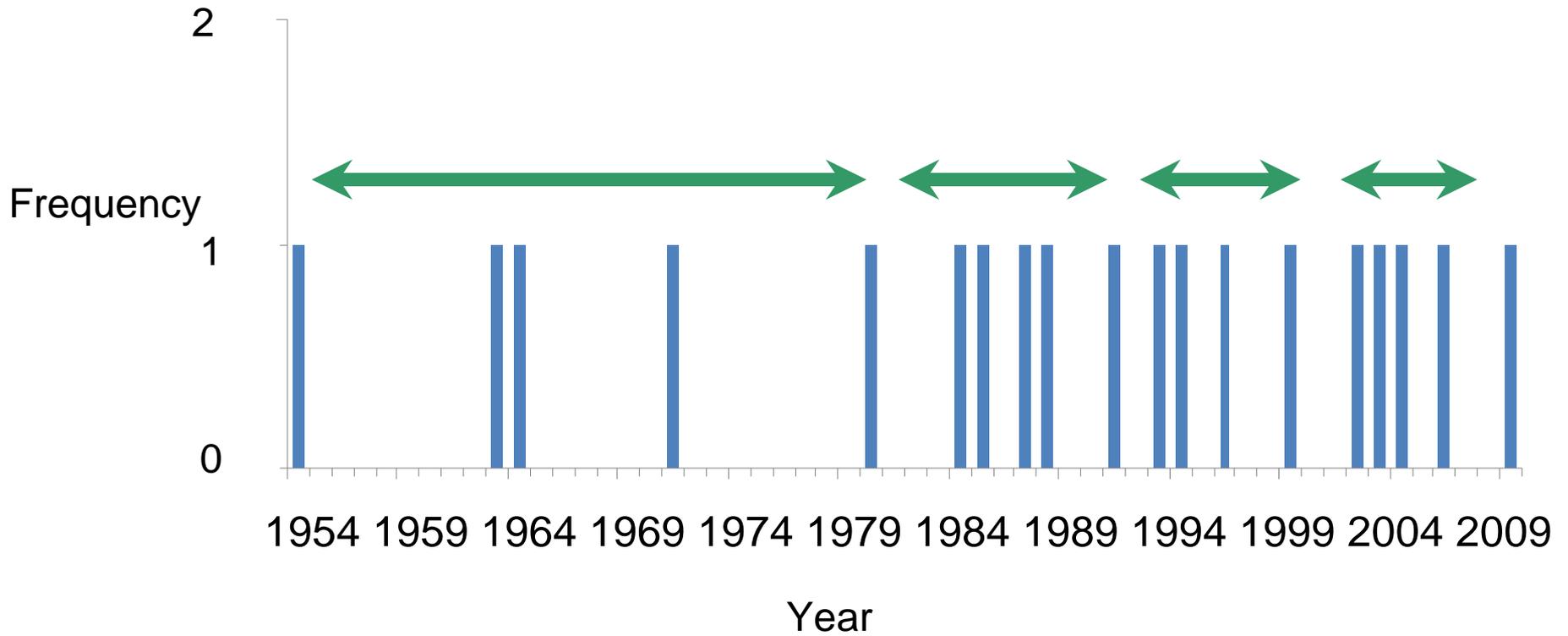
台灣百年增溫約1.3度

全球百年增溫約0.74度
(IPCC, 2007)

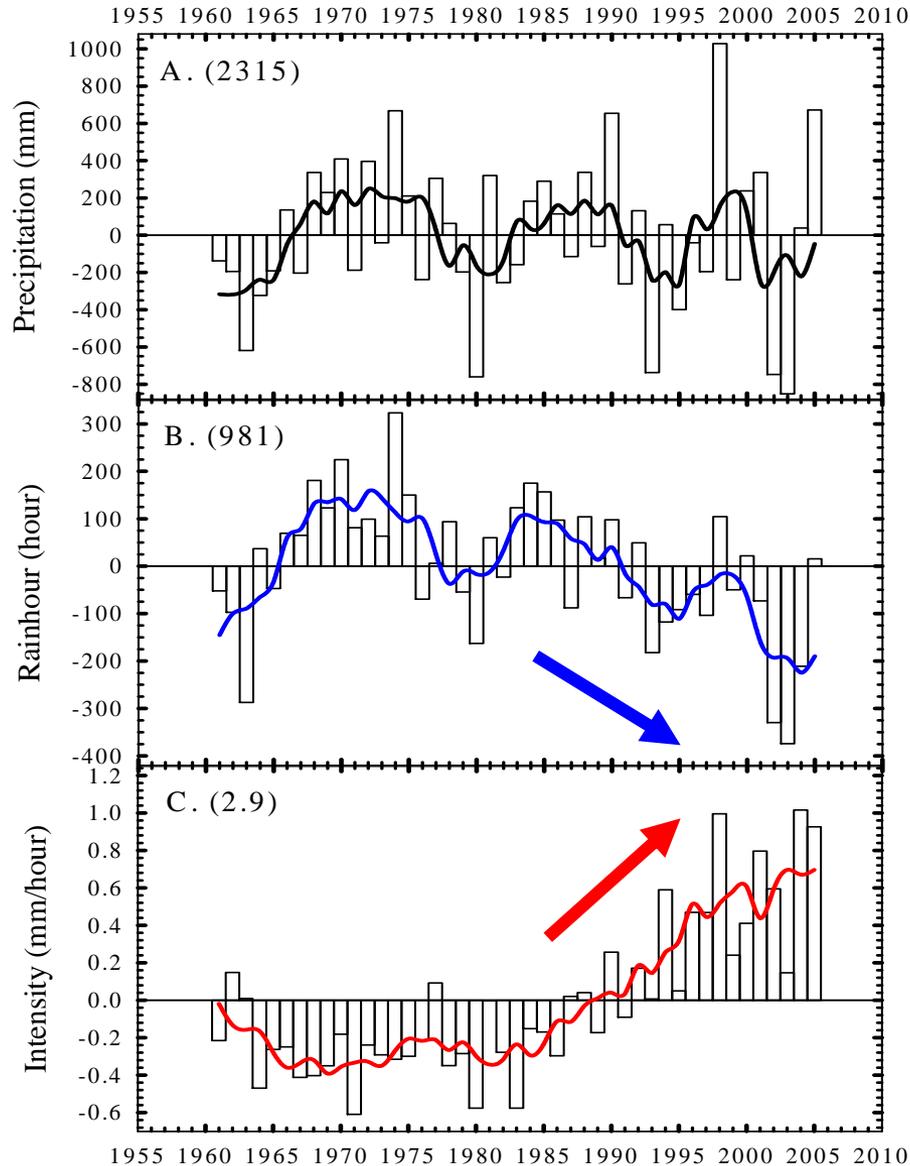
Liu et al., 2009



與過去50年相比，台灣乾旱次數越來越多



與過去50年平均相比，台灣的降雨強度增加



年降雨量變化不大

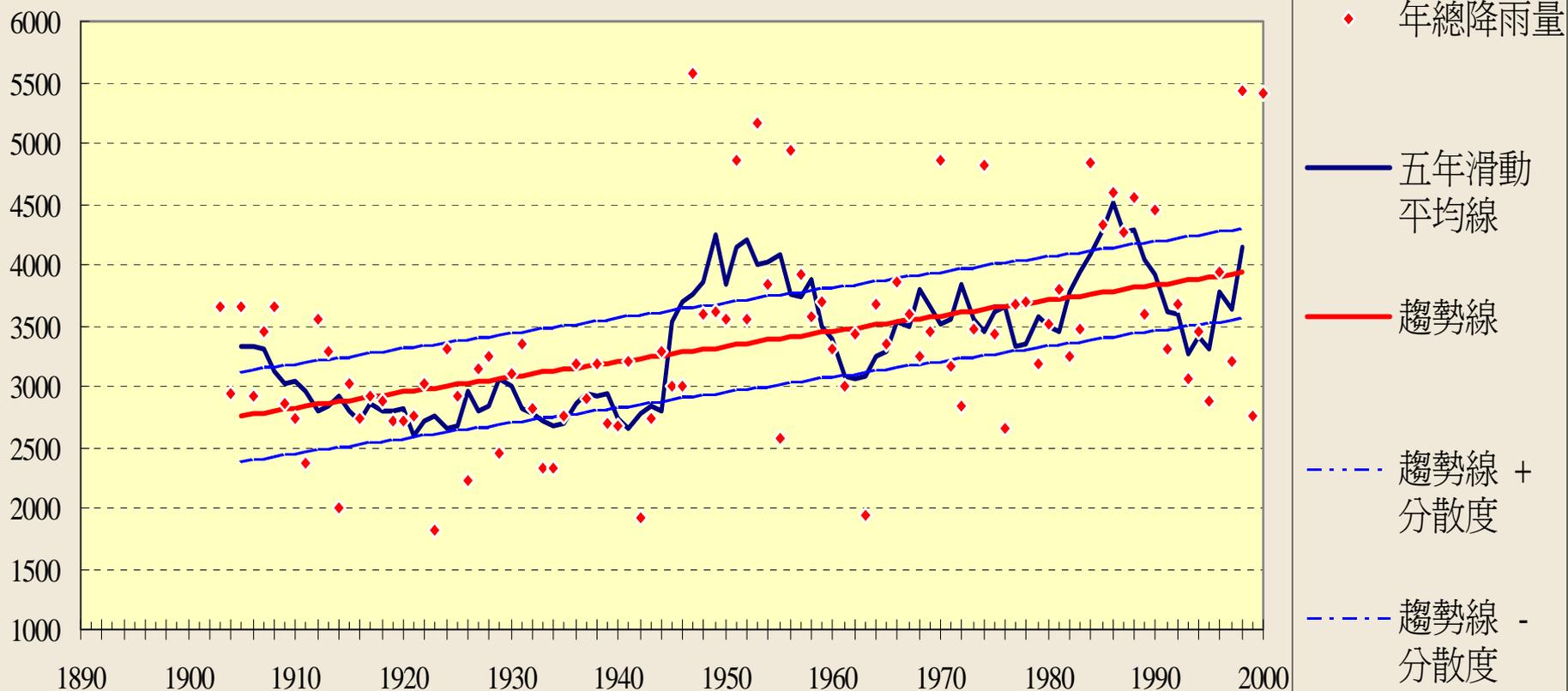
降雨時數有減少趨勢

降雨強度有增強趨勢

異常氣候

- 基隆站年總降雨量：98年增加1185mm

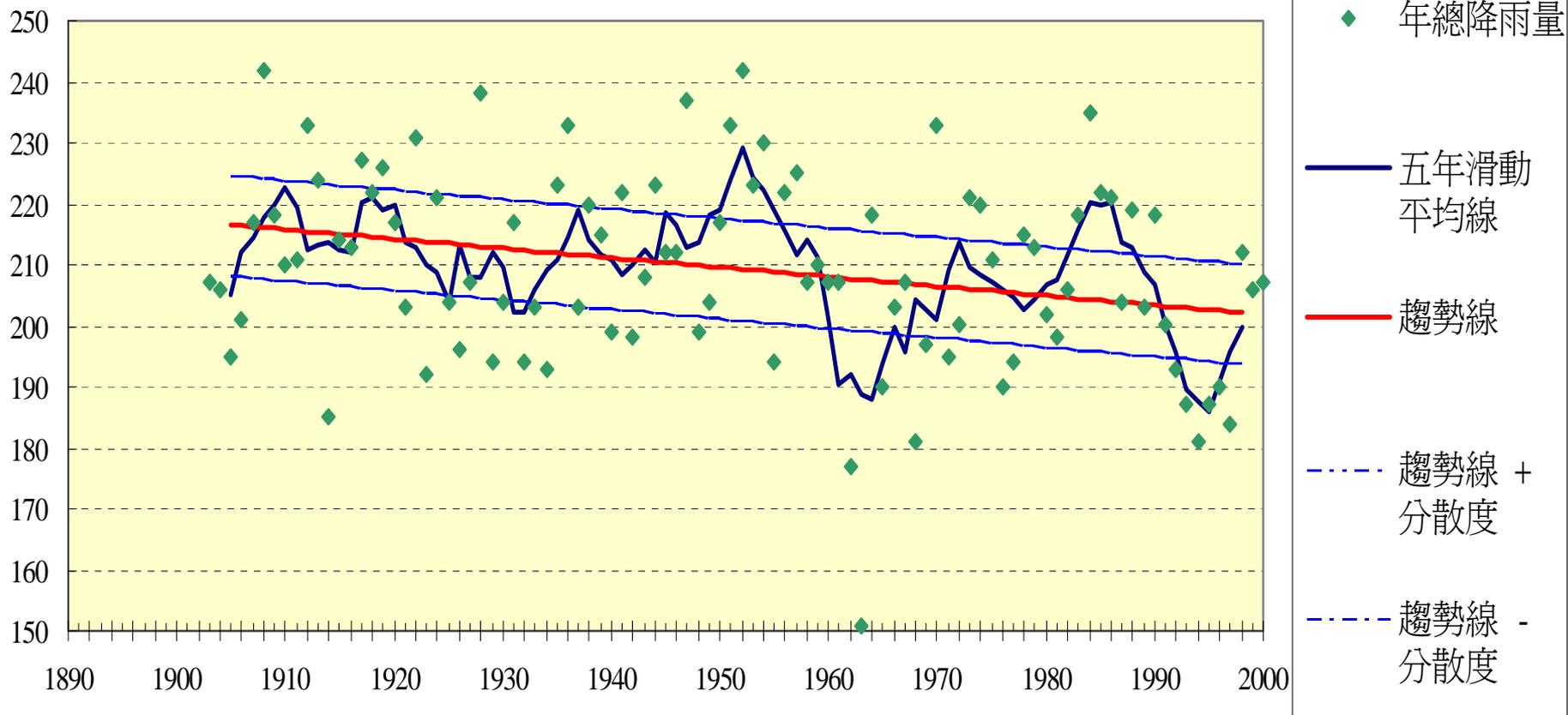
基隆氣象站年總降雨量變化(1903-2000 趨勢：+ 1185 mm / 98 年)



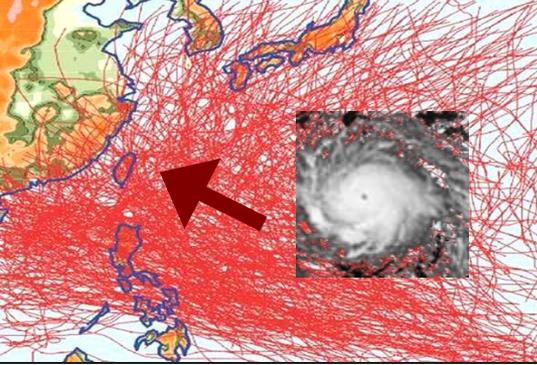
異常氣候

- 基隆站總降雨日數：98年減少14.6天

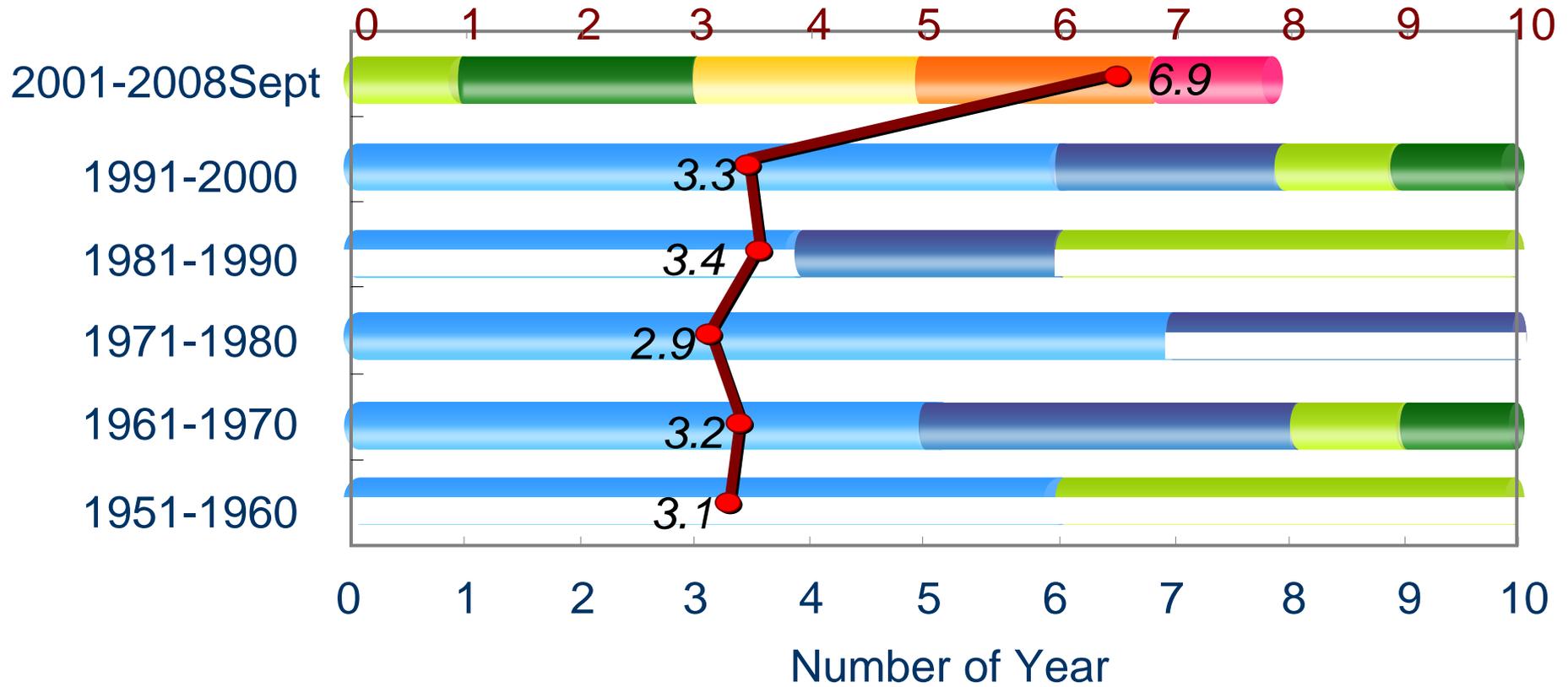
基隆氣象站年總降雨日變化(1903-2000 趨勢： -14.6天 / 98 年)



侵襲台灣颱風次數



Average Number of Typhoon Strikes Taiwan



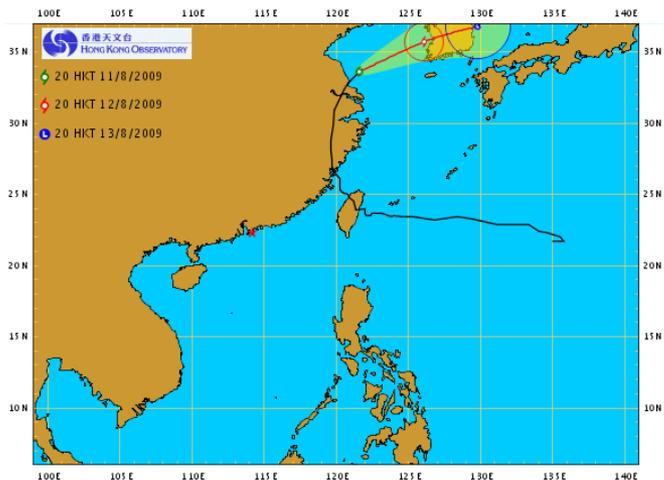
近年釀成災害的颱風降雨紀錄

- 2009年莫拉克颱風，總雨量最大發生在阿里山站(2,884毫米)，總計有15站破2,000毫米。本次降雨為台灣歷年之冠，24及48小時降雨量甚至逼近世界降雨量極值。
- 2008卡玫基颱風，降雨頻率已近100年降雨頻率，澎湖出現429毫米日雨量，破當地史上最高單日降雨紀錄。
- 2004艾利颱風在新竹、苗栗以及台中山區單日降雨量都累積近1,000毫米。
- 2003年杜鵑颱風打破台灣本島最高單日降雨紀錄1,222.5毫米(1997年在花蓮縣秀林鄉布洛灣的紀錄)。
- 2001桃芝颱風，花蓮地區3小時下了將近500毫米雨量。
- 2001年潭美颱風，高雄在九小時內雨量超過500毫米，破當地單日最高降雨紀錄，釀成高雄有史以來最嚴重水患。
- 2001納莉颱風超過400年的降雨頻率，臺北市單日最高降雨量高達425毫米，打破民國十九年359公厘的歷史紀錄，成為臺北氣象站設站105年來的單日最高降雨紀錄。
- 2000象神颱風為北部山區帶來超過800毫米累積雨量，被稱為北台灣二百年來最大水災。
- 1996賀伯颱風全臺降雨量已超過200年降雨頻率，阿里山測站單日降水累計雨量達1,094.5公厘，打破創設站六十年紀錄。

台灣近來重大颱風災害比較

事件		總累積 (mm)		最大強度 (mm/hr)		死	失	傷	水保災損 (億元)
賀伯	1996.8	望仰	890	奮起湖	112.0	51	22	463	29.11
桃芝	2001.8	神木	757	光後站	146.5	103	111	189	13.55
納莉	2001.10	古魯	1,462	太平山	142.0	94	10	265	16.44
敏督利	2004.7	桃源	2,166	九份二山	166.5	29	12	16	32.95
艾利	2004.8	馬達拉	1,557	白石	160.0	15	14	399	5.75
柯羅莎	2007.10	太平山	1,137	三貂角	142.0	9	2	57	2.09
卡玫基	2008.7	南化	981	大坑	149.0	20	6	8	17.26
鳳凰	2008.7	瑪家	884	龍澗	128.5	2	0	6	4.05
辛樂克	2008.9	雪嶺	1,602	中寮	97.0	14	7	20	11.77
莫拉克	2009.8	阿里山	3,005	內埔	136.0	698	59	33	45.12
芭瑪	2009.10	古魯	1,635	古魯	108.0	1	0	0	2.60

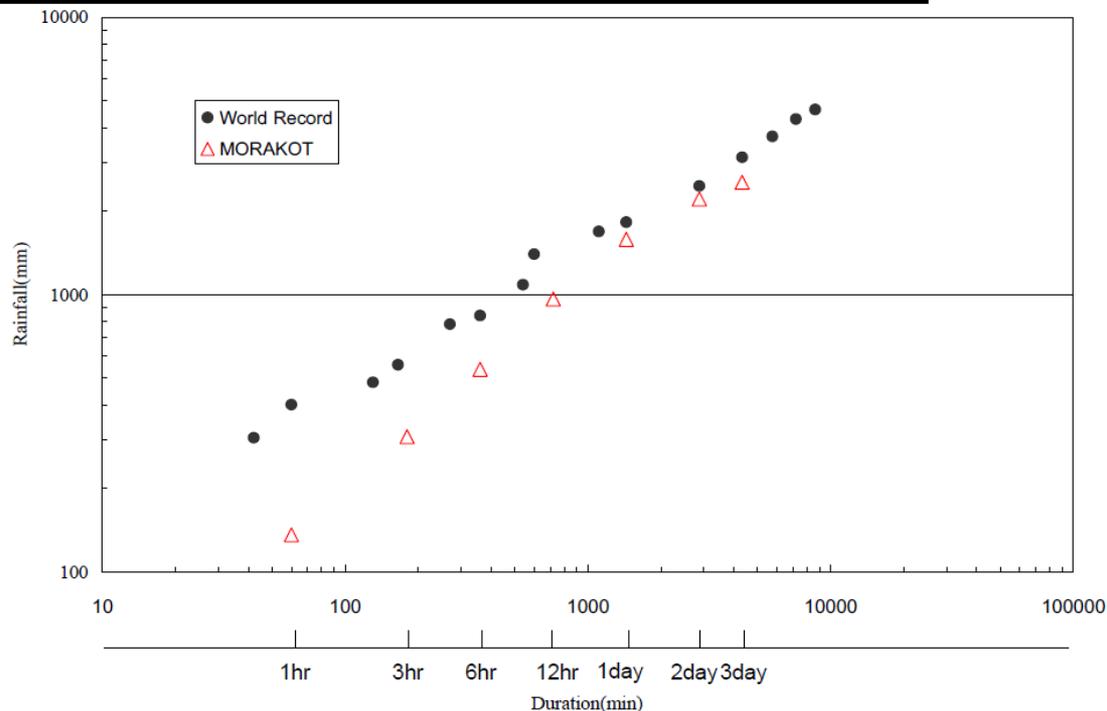
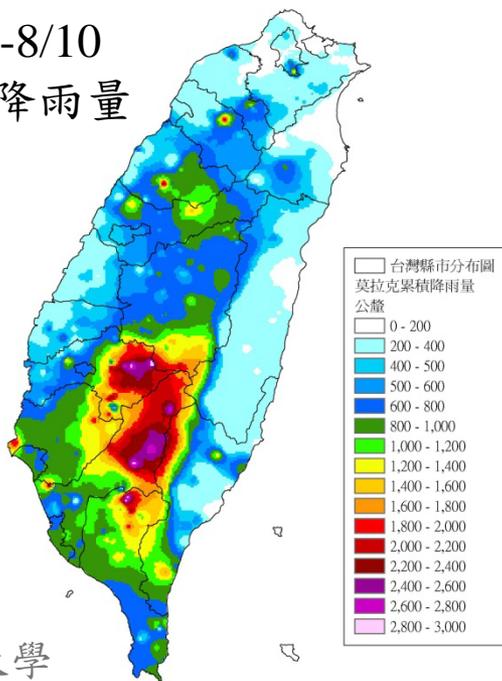
莫拉克颱風雨量分析



延時(hr)	莫拉克颱風降雨量(mm)	世界極端紀錄		地點
		降雨量(mm)	發生地	
1	136	401	Shangdi, Nei Monggol, China	內蒙古 中國
6	538	840	Muduocaidang, China	
24	1583	1825	Foc Foc, La Réunion	留尼旺 法國
48	2215.5	2467	Aurere, La Réunion	
72	2542.5	3130	Aurere, La Réunion	

2009/8/6-8/10

五天累積降雨量



資料來源：

左：台灣大學

右：水利署水文技術組(2009年8月)

台灣水患課題

- 自然因素→地質破碎、全球氣候變遷
- 人為因素→對土地及河川的超限利用
 - 土地超限利用
 - 都會區不透水面積大幅增加
 - 超抽地下水引起的地層下陷

台灣水資源課題

- 氣候／水文不確定性
- 人口成長
- 工業／農業／生活用水分配
- 蓄水方法與危機
- 集水區上游超限開發
- 水質污染



阿公店溪污染

問題剖析(1) 國土監測

基本資料不足



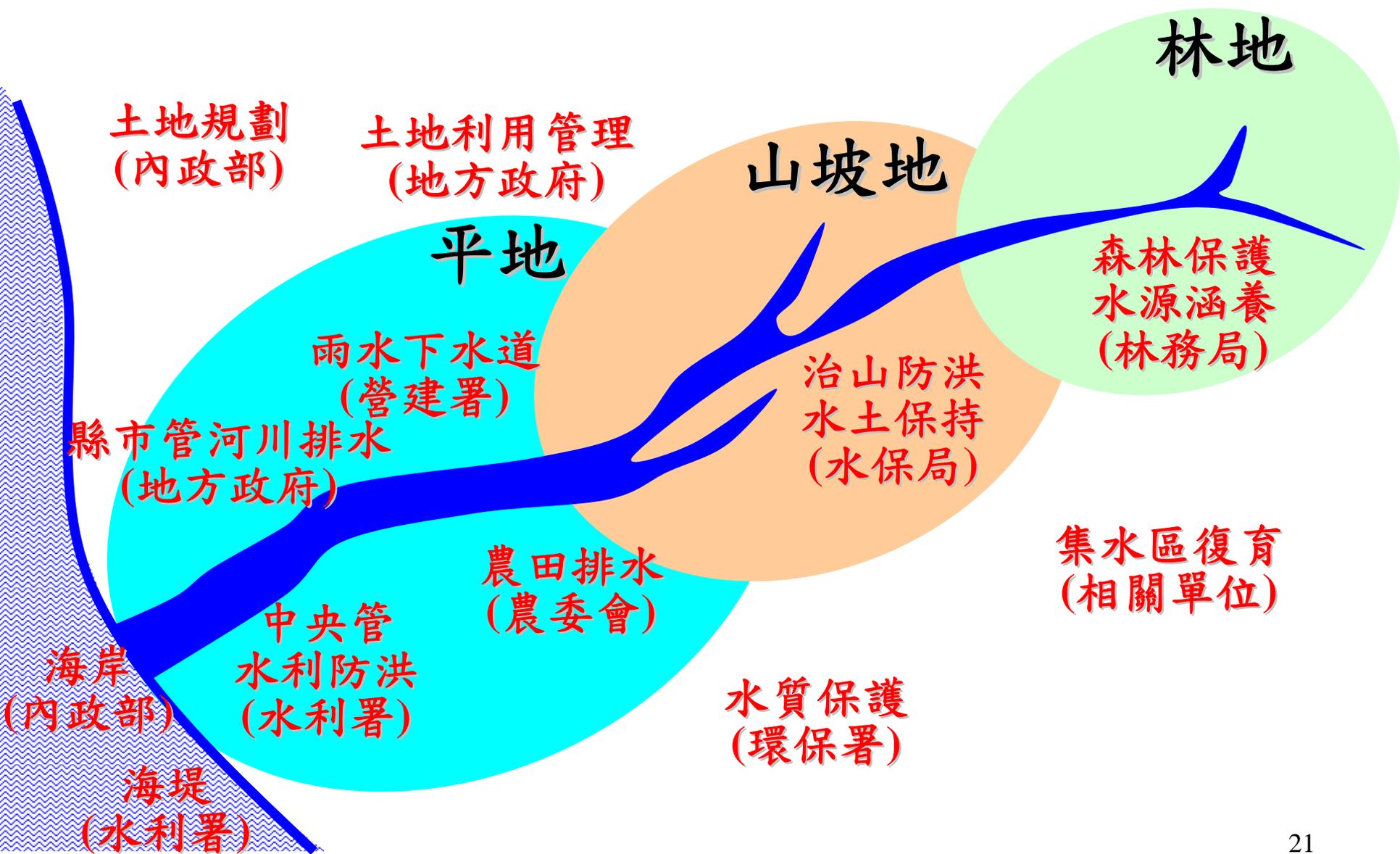
問題剖析(2) 法令法規不完備

- 將雨水貯留設施列入建築規範內，不但有助於防洪，兼具水資源回收再利用，例如屋頂、地下室或庭院都可利用作為貯存地點
- 對於大規模的基地開發或山坡地開發，規定必須留設雨水調節池，這些調節水池可作成休閒湖泊，兼具防洪、景觀及生態的功能
- 河川、灌溉溝渠及水路禁止加蓋
- 學校操場、公園、人行道及露天停車場等公共建設，透水率應提高至一定標準以上

問題剖析(3) 政府組織與運作方式 無法面對全球氣候變遷的挑戰

- 要解決水患的問題，要從**國土規劃**著手
- **跨部會的整合**：當前水患問題，必須跳脫落伍的「治水」及防洪工程技術思維，以土地管理和都市空間利用以及變更政府政策的方式來減輕水患，宜提高層級，由行政院整合眾多不同專業部會一起共同參與
- 法令不應疊床架屋，**管理事權應該統一**：凍省後政府相關組織調整太慢，加上政府忽視治水業務，目前水資源機構權責及劃分不清，協調連繫不足，分縣市及分段治理，缺乏整體及生態觀念
- **尊重專業**：依據淹水潛勢高低、降雨強度與地面逕流資料為準，並考慮人口密度、成本效益及經濟產業活動加以檢討，釐定水患治理優先順位，而非依據媒體報導或考量選舉因素的頭痛醫頭、腳痛醫腳，反而使情況更加惡化

流域整體治理之重要問題



流域管理相關法規與其主管部會

主管機關	法律名稱
經濟部	《水利法》、《土石採取法》、《自來水法》 《促進產業升級條例》、《礦業法》
內政部	《下水道法》、《災害防救法》、《都市計畫法》 《土地法》、《都市更新條例》、《建築法》、 《區域計畫法》、《國土計畫法草案》
交通部	《發展觀光條例》
法務部	《行政程序法》、《地方制度法》
農委會	《水土保持法》、《野生動物保育法》、《森林法》 《山坡地保育利用條例》、《動物保護法》、《農業發展條例》
原民會	《原住民族基本法》、《原住民保留地開發管理辦法》
環保署	《水污染防治法》、《飲用水管理條例》 《廢棄物清理法》、《環境基本法》 《土壤及地下水污染整治法》、《環境影響評估法》

問題剖析(4) 開源 vs. 節流



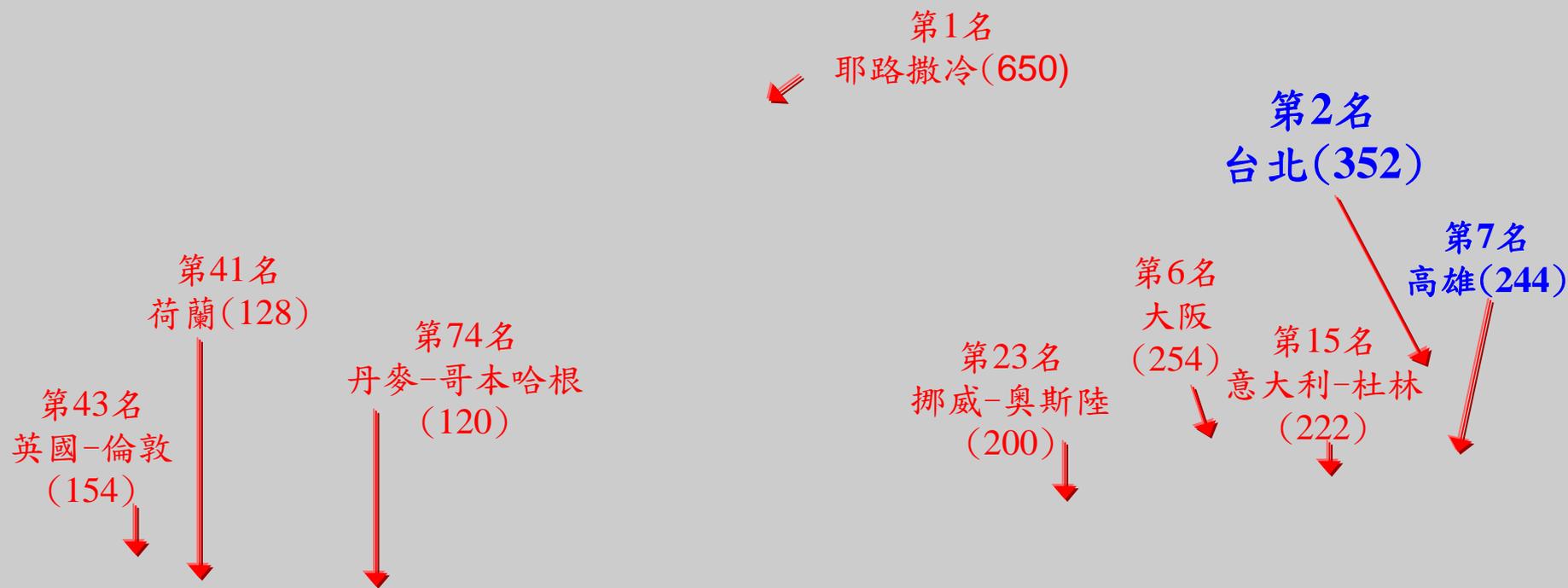
降雨分佈不均-水庫乾涸(2003)

台灣地區與世界各地降雨量比較圖



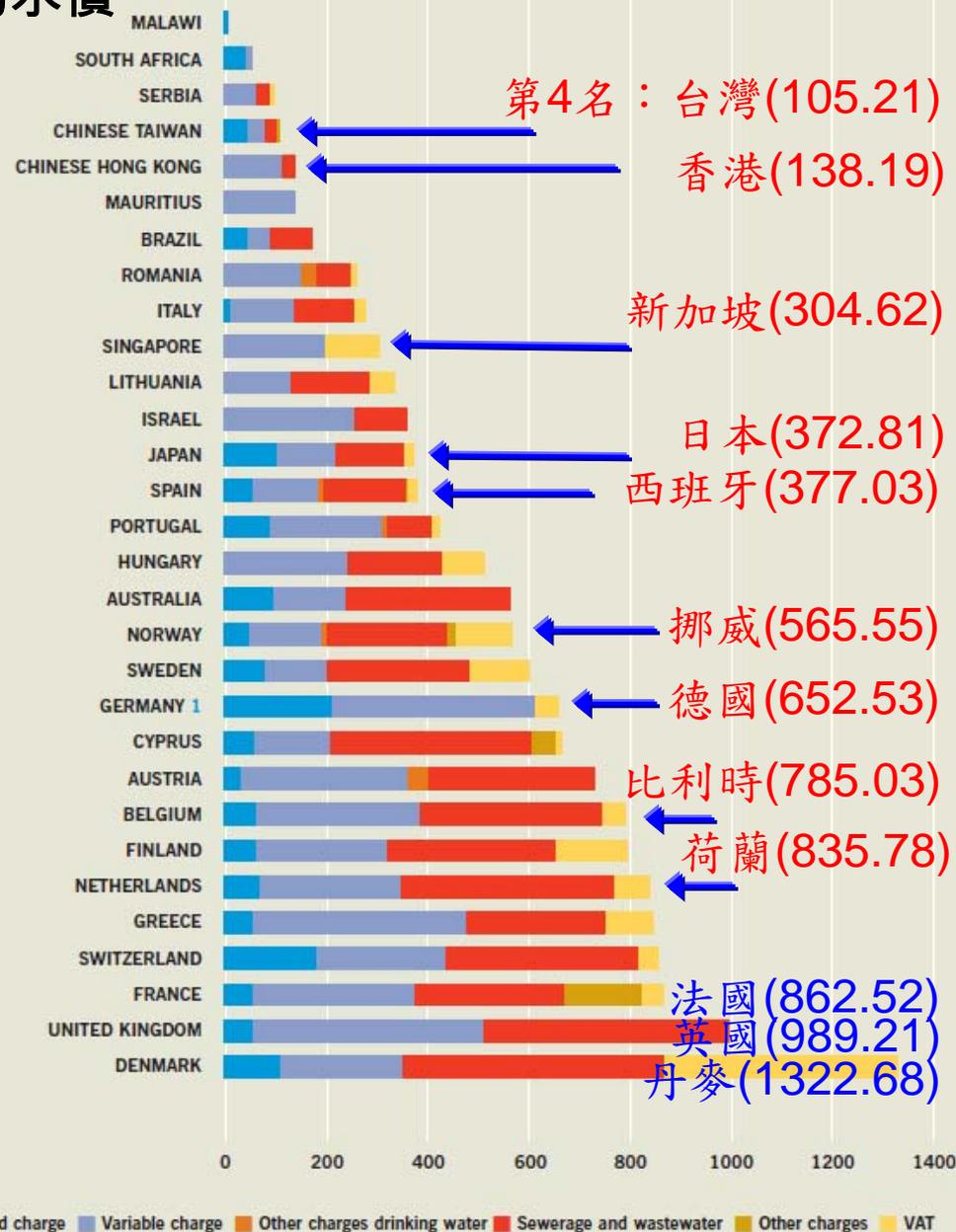
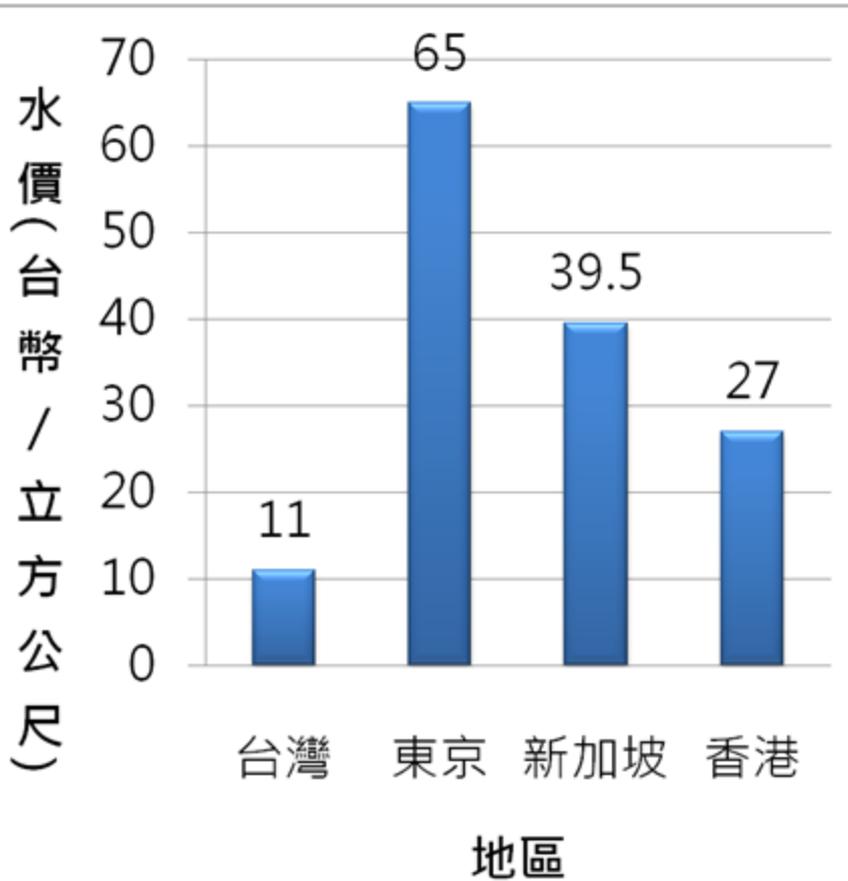
1. 台灣地區年降雨量為世界平均值的**2.6**倍。
2. 惟由於人口密度高，每人每年可分配降雨量僅約為世界平均值的**1/5**。

國際水協會(IWA)2008年統計100個城市住宅與辦公室的每人每日耗水量



國際水協會(IWA)2008年統計 30個國家的平均水價

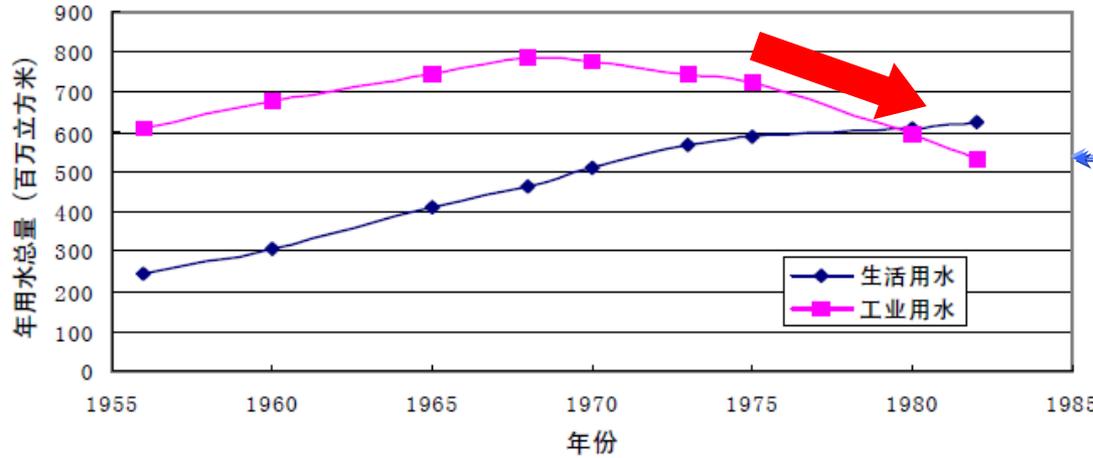
AVERAGE ANNUAL WATER BILL 2007*
IN US\$ / 200M³



資料來源：李根政(2010)

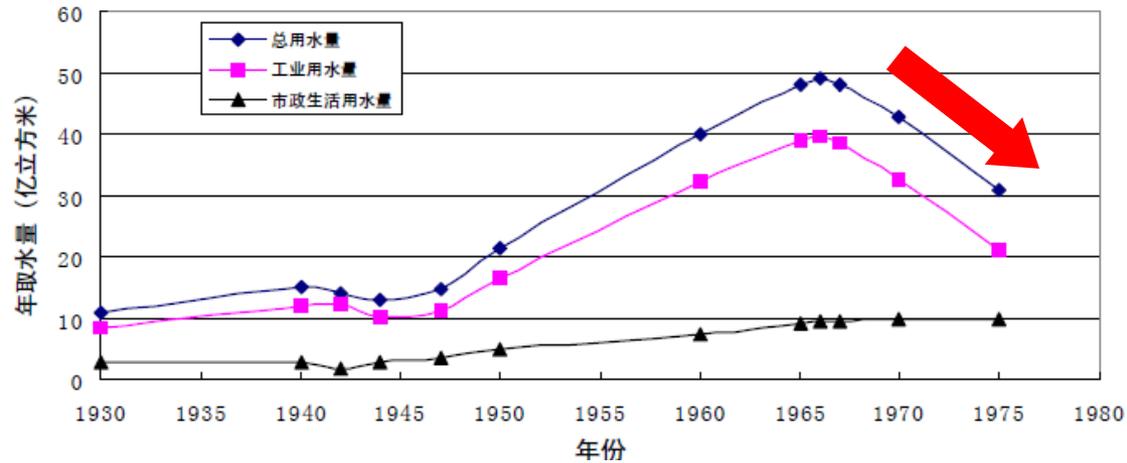
*Average volume of considered main cities in the country
1 figures only for one company: Gelsenwasser AG

荷蘭與瑞典工業用水自1970年明顯下降

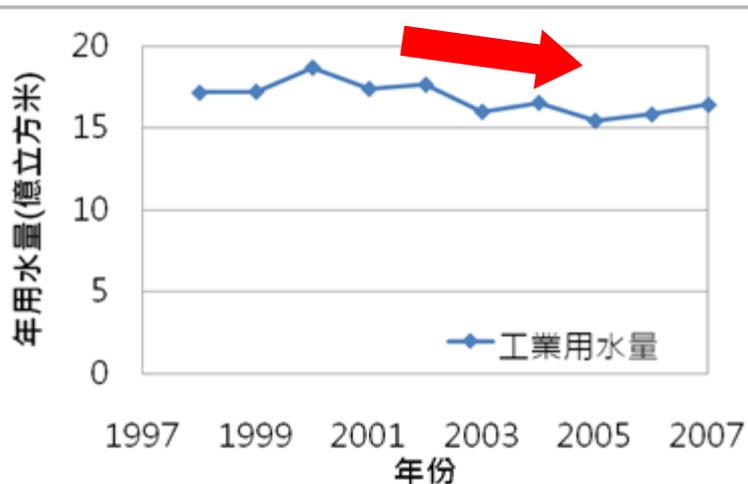


荷蘭：1957-1982年間，工業產值增加3倍

瑞典：水質法令強制工業生產用水再循環利用

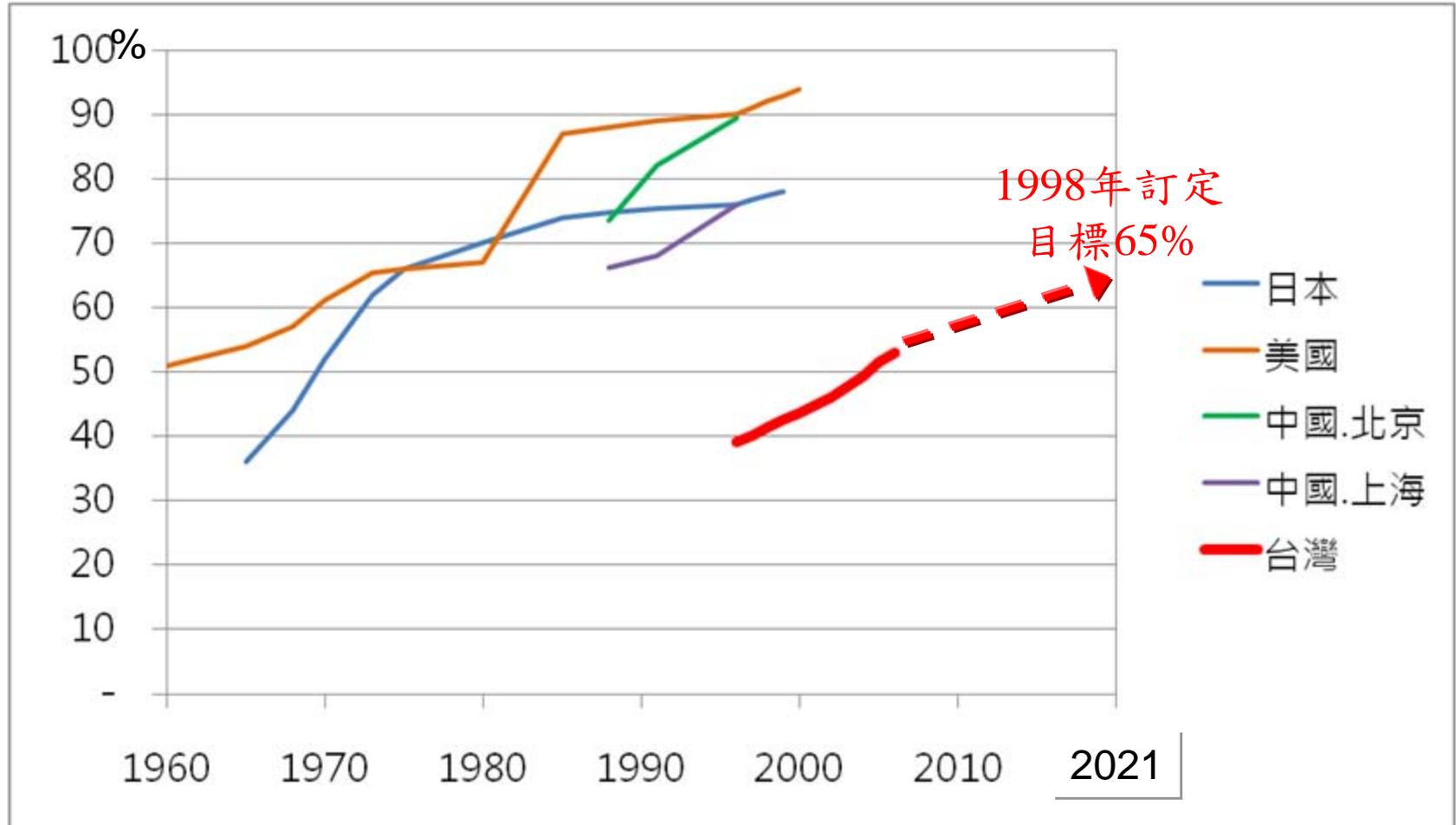


台灣：經濟部依1998年12月「全國國土及水資源會議」結論研擬「節約用水行動方案」



曾肇京、石海峰(2003)水利部水利水電規劃設計總院
經濟部水利署歷年工業用水統計

世界各國工業用水回收率比較

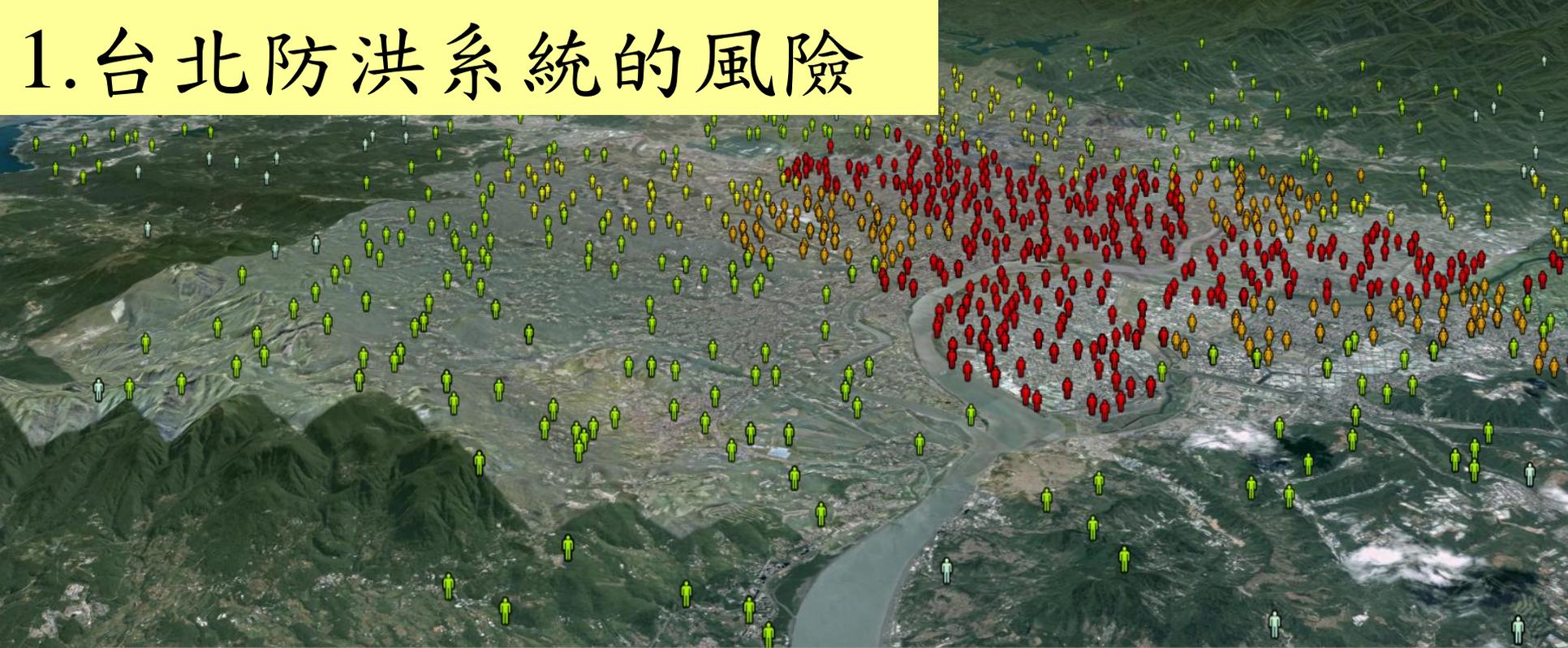


- 高科技業屬於高耗水產業，節水可以降低成本，如新竹科學園區半導體產業廢水回收率60-95%。其他產業則因用水結構不同，節水成效差別極大，如染整業因為製程及廠商投資意願低，回收率不到20%，造紙業回收率則約60%。
- 經濟部將要求工業部門加強廢水回收率自60%提高至75%(2009年12月經濟部業務會報)
經濟部技術處(1995)、經濟部水利署(1997, 2001)、經濟部工業局(2006)、何強、井文涌、王翊亭(2004)

目前急需面對的問題

1. 台北防洪系統的風險
2. 石門水庫的風險
3. 地盤下陷區的治水策略
4. 高屏溪流域災後復建
5. 曾文水庫的風險

1. 台北防洪系統的風險



流域整體治理關乎800萬人口生計!!



Image © 2009 GeoForce Technologies
Image © 2009 DigitalGlobe
Data © 2009 MIRC/JHA
緯度 25.207541° 經度 121.509811° 海拔高度 271 公尺 視角海拔高度 9.07 公里

人口密度	 大於2萬 (人/平方公里)	 大於1萬 (人/平方公里)	 大於5千 (人/平方公里)	 大於1千 (人/平方公里)	 小於1千 (人/平方公里)
------	---	---	---	---	---

2.石門水庫的風險

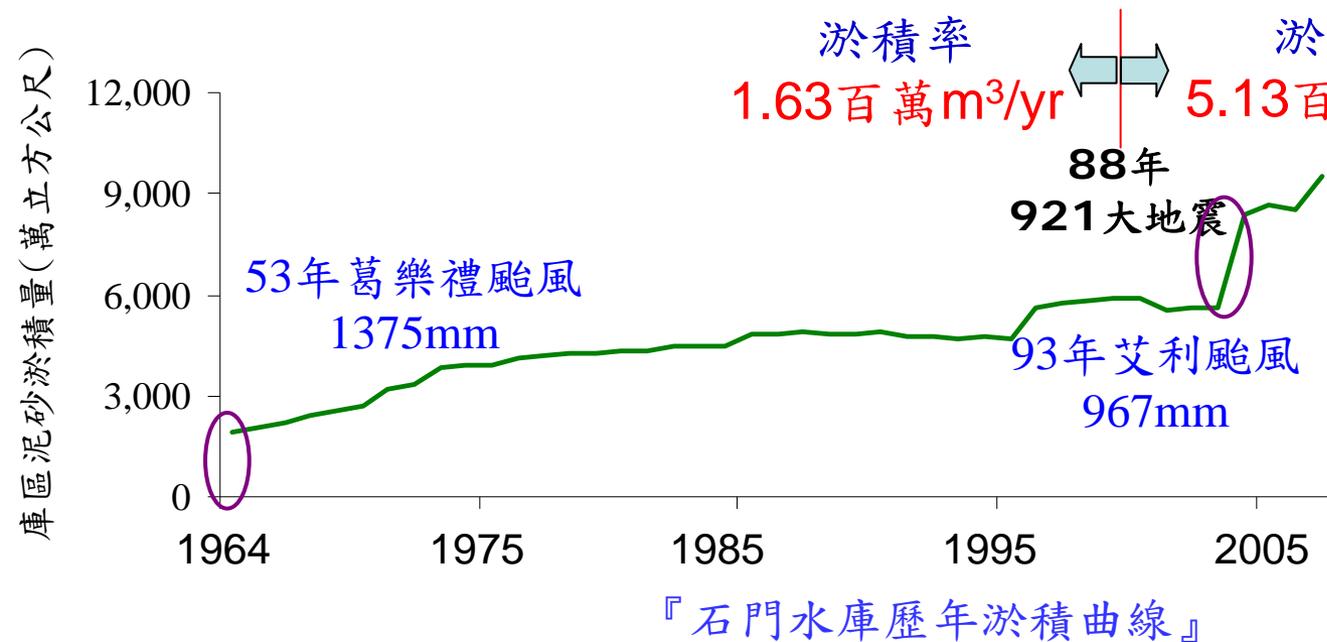


啟用年月:民國52年開始蓄水

功用:農業用水、工業用水及大桃園、板新地區、新竹縣湖口鄉等32鄉鎮約400萬人的民生用水

每年供水量:約達9億5千萬 m^3

庫容有效容量:約2.1億 m^3



『石門水庫歷年淤積曲線』

台灣的水庫平均一年要裝滿3次，而石門水庫一年要蓄滿4.5次才夠用，利用率是全國最高的水庫，颱風時濁度飆高、泥砂淤積會致供水吃緊。

3. 地盤下陷區的治水策略



4.高屏溪流域災後復建

莫拉克颱風後崩塌地分析



崩塌地個數：2,724個
崩塌地面積：10,656公頃
產砂量：5億8百萬立方公尺

立即處理A：150個
優先處理：504個

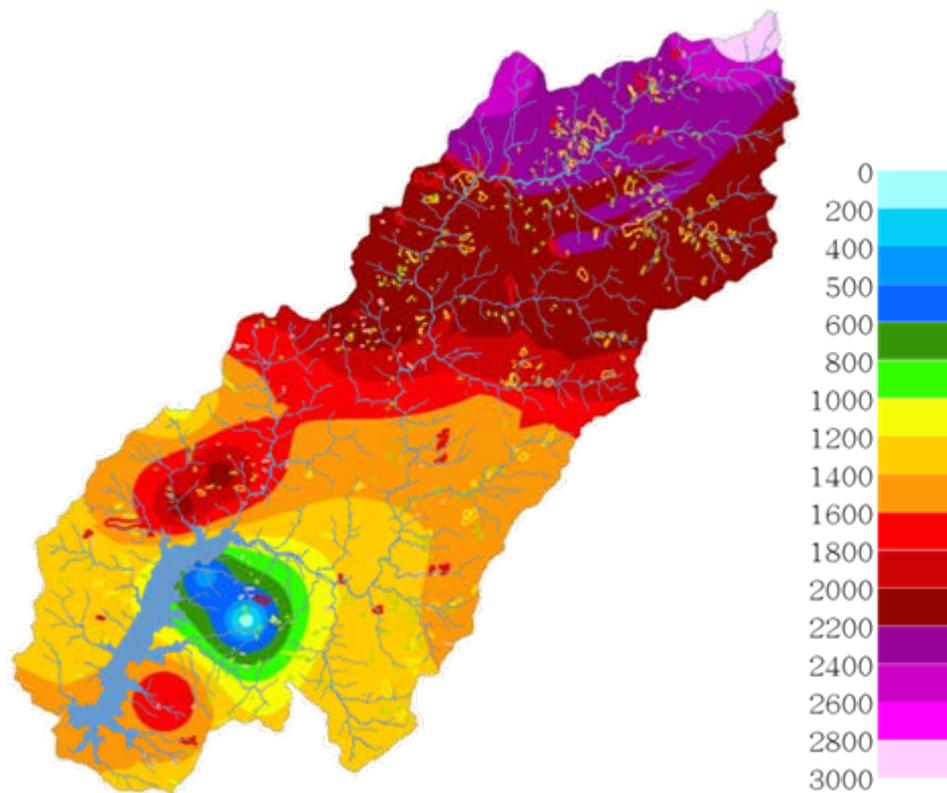
立即處理B：360個
自然復育：1,710個

5. 曾文水庫的風險



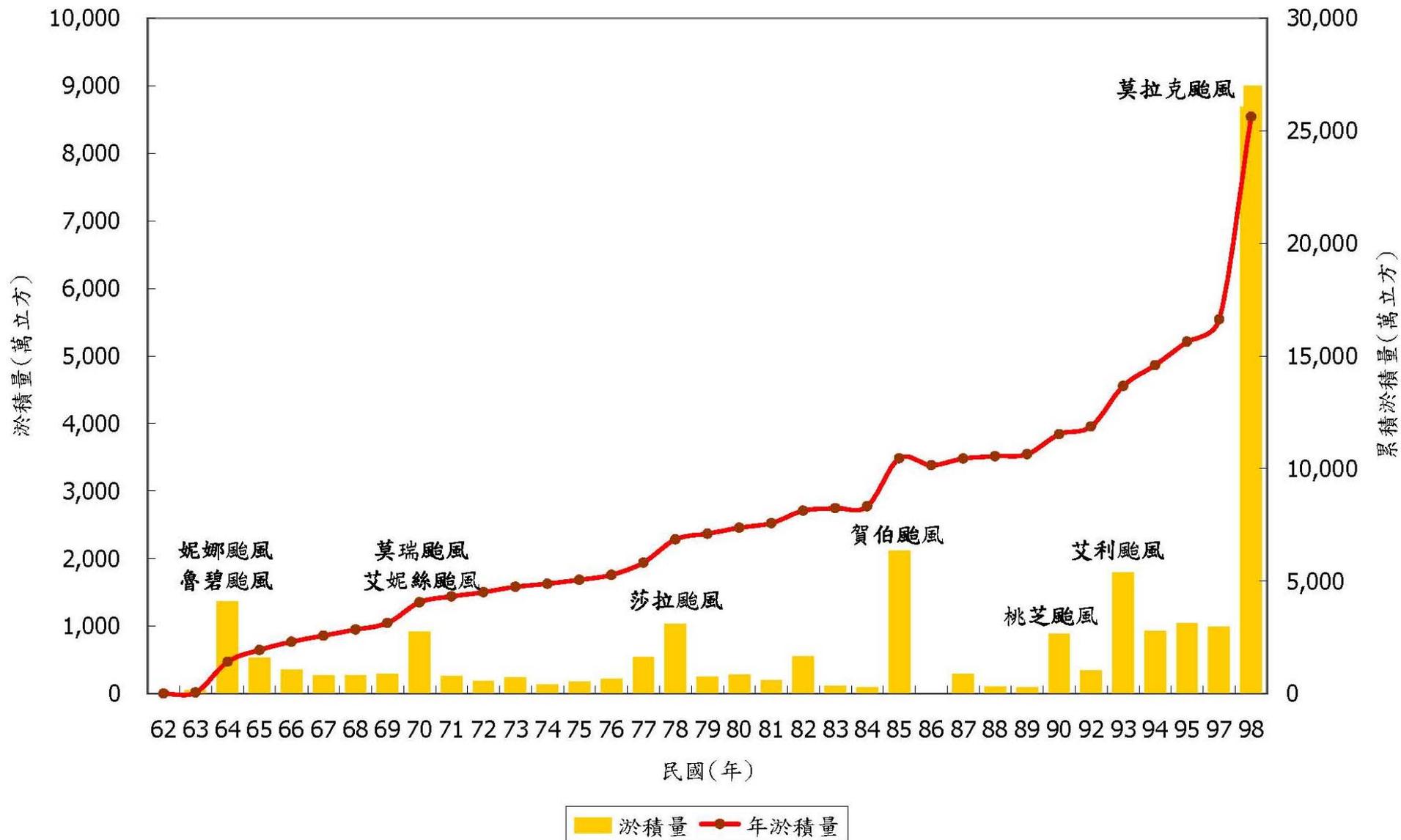
- 曾文水庫集水區近集水區崩塌與土壤沖蝕劇烈，產生的大量淤砂對水庫壽命造成嚴重威脅。
- 莫拉克颱風期間，累積雨量2,045mm，導致1,545公頃崩塌地，崩塌地產砂量1億6千4百萬噸，水庫淤積達9千萬立方米。

莫拉克颱風曾文水庫集水區
累積降雨：2045mm



集水區面積：481平方公里

曾文水庫年歷年淤積量



曾文水庫 vs. 石門水庫



曾文水庫集水區
面積約481平方公里



石門水庫集水區
面積約763平方公里

一 泥砂來源濃度觀測資料



上游集水區只有兩個泥砂濃度觀測站，
分別從91、92年開始觀測，
泥砂來源判定在時間與空間上並不足夠

曾文水庫集水區

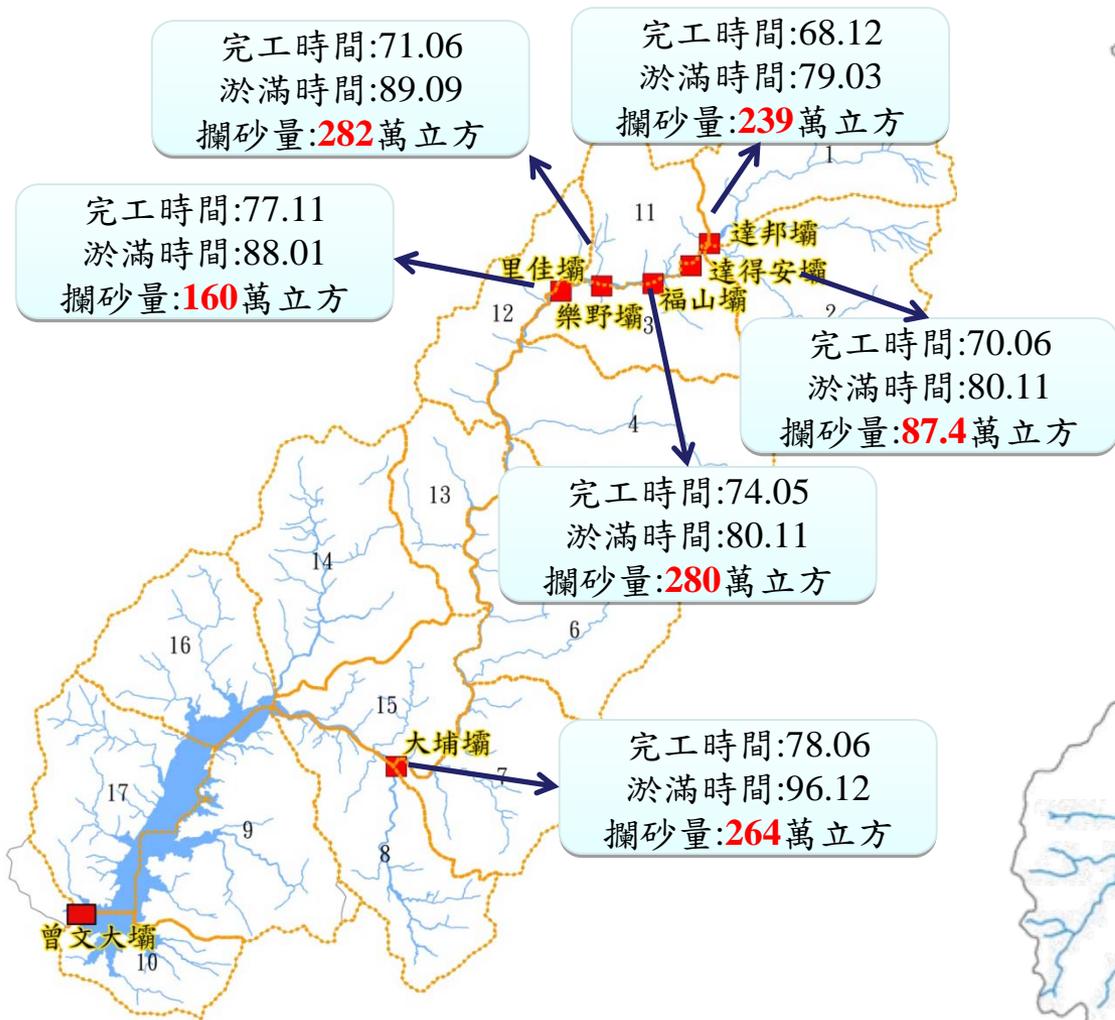
● 桃園大圳缺子站*

共計10個濃度觀測站

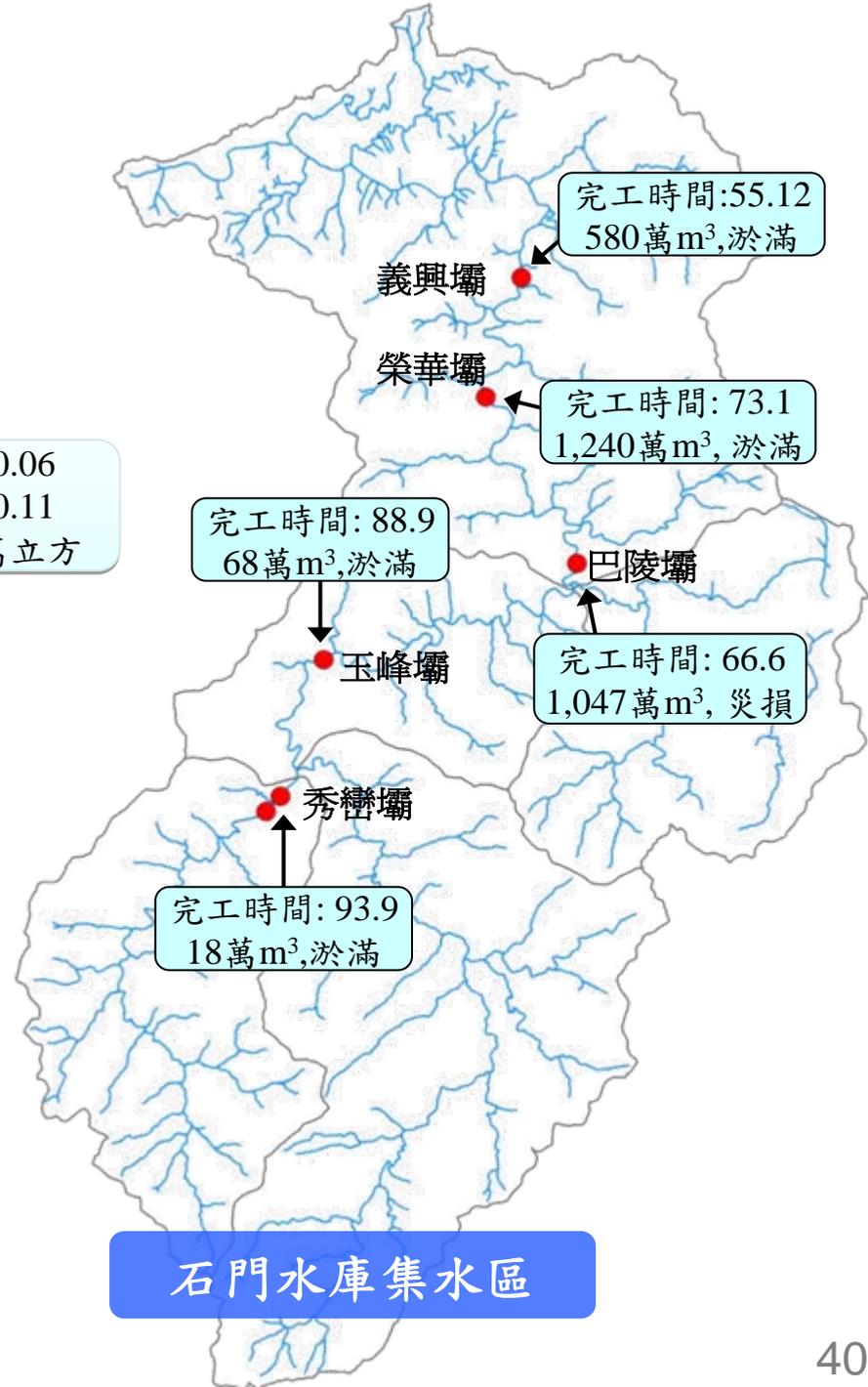


石門水庫集水區

一 攔砂壩淤積調查

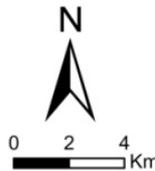


曾文水庫集水區



石門水庫集水區

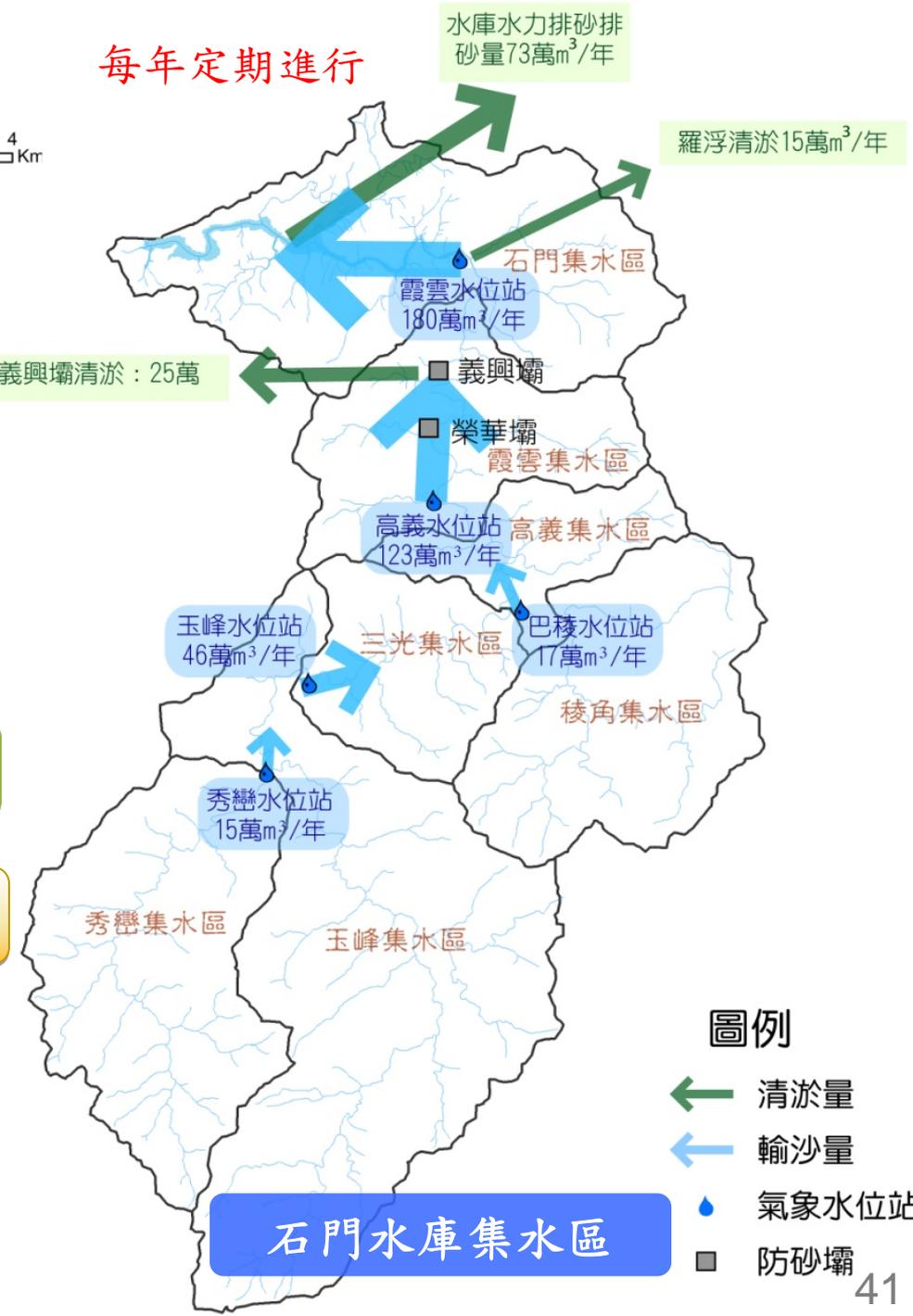
一 泥砂排出與清運量體



只有大埔壩清淤是每年定期進行，其他河道整理為99年度緊急措施。



每年定期進行



圖例

- ← 清淤量
- ← 輸沙量
- 氣象水位站
- 防砂壩

曾文水庫 vs. 石門水庫

	曾文水庫	石門水庫
雨量站	9個	15個
水位站	2個(91年起)	5個(46年起)
泥砂來源濁度監測	2個	10個
防砂壩淤積調查	有	有
河道測量調查	沒有	有
泥砂來源判定	沒有	有
泥砂決策支援系統	沒有	有



治水，問題不在工程技術
而在國土規劃

國土規劃

- 面對未來不可測的氣候災難，最有效根本的防治辦法—國土規劃
- 國土規劃不單是土地的合理開發、分配和利用
- 國土規劃應該是一套涵蓋價值觀念、法令制度、行動實踐以及管理執行的體制
- 最重要的是整體社會價值觀的扭轉，整體價值思維如果不改變，國土復育不可能達到，永續發展永遠只是無意義的專有名詞，不會有具體落實的真正行動

不合理的國土規劃

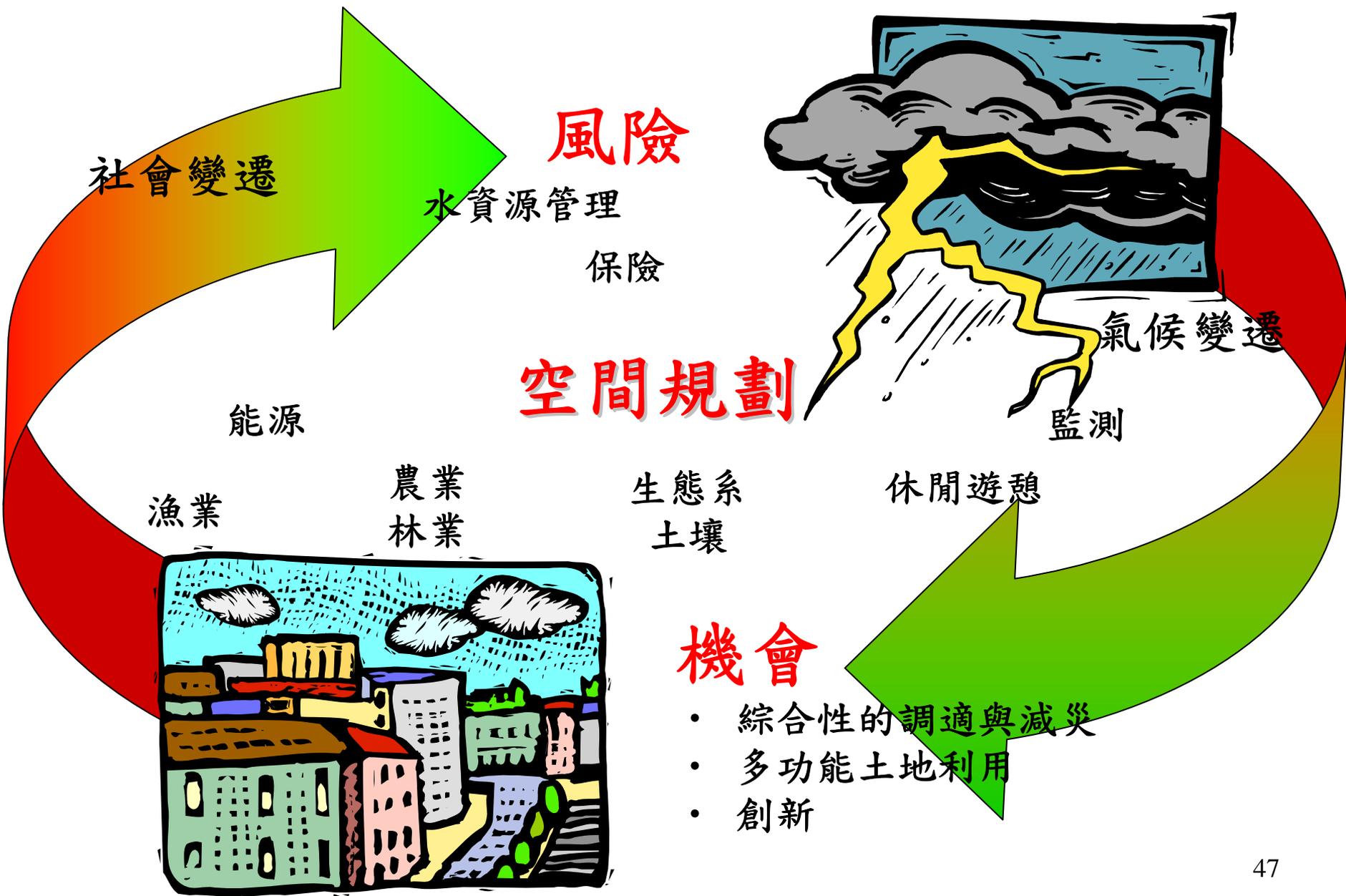
- 相對於全球 50% 的人口住在都市地區，台灣將近 80% 的人口住在都市地區，大約 90% 的人居住在西部海岸平原；對都市周邊地區的生態系統服務造成嚴重耗損
- 北台灣（桃園到基隆）從 1971 年到 2006 年地表複蓋從農業用地轉變為建地的面積，將近 353.3 平方公里；自然地區改變成建地使用的面積也高達 294.83 平方公里，有 648 平方公里，大約是 2.3 個台北市大小的農林用地，因都會區向外展延而變成建地，環境變遷劇烈

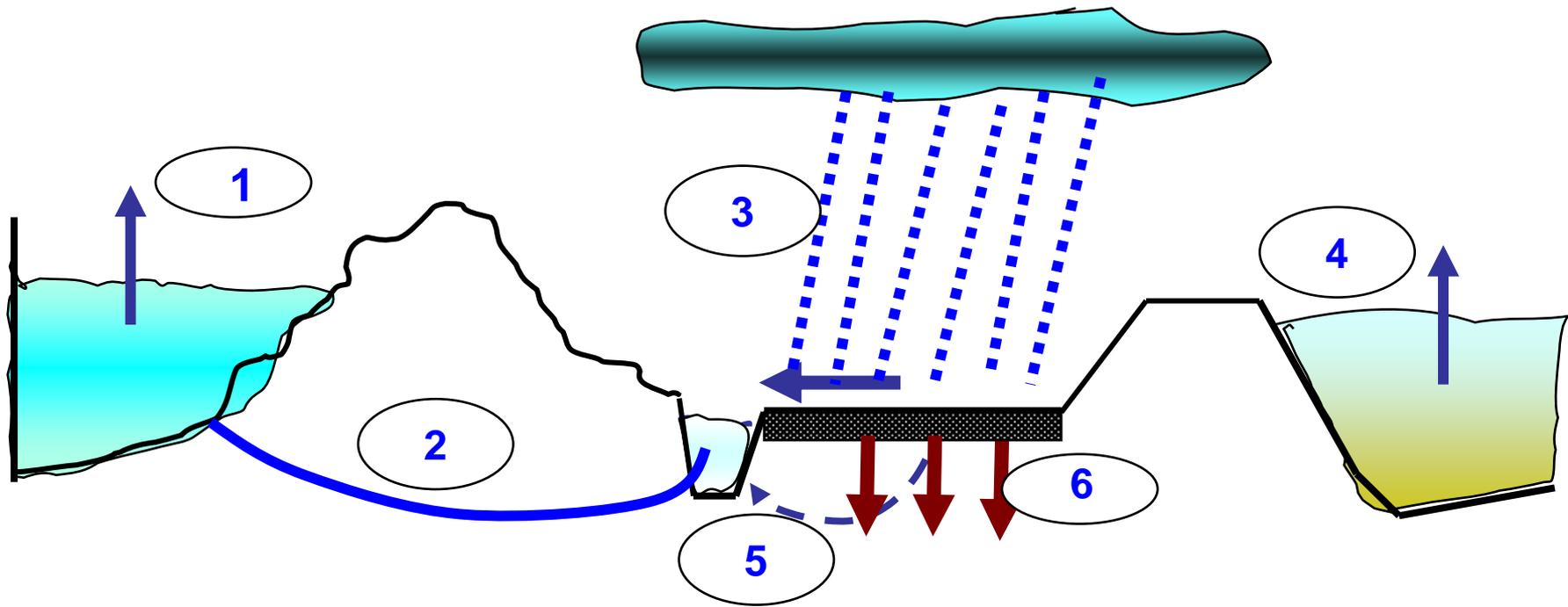
國土空間新機會

讓密度向
西部走廊疏散，
讓水治理有
國家整體
調度資源的
策略空間



氣候變遷的衝擊





氣候變遷對水資源管理之衝擊

1. 海平面上升
2. 土壤鹽化
3. 豪雨增加；乾旱時間更長
4. 冬天河川流量增加，夏天則降低(乾旱)
5. 土壤保水及入滲能力下降
6. 土壤下陷

政府如何得以有效治理？

- 能不能引導城市公民新的認同與價值
- 能不能提供繼續發展成長的環境？
- 能不能提供創新且有效的公共服務？

政府的準確角色是？

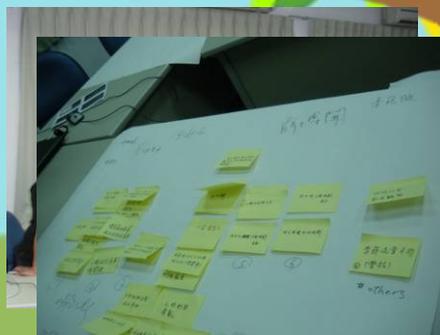
- 公共採購者、買家
- 公共規範制定者
- 公共信任資本提供者

議題剖析

● 樹枝
→ 期望成果



● 樹幹
→ 關鍵課題

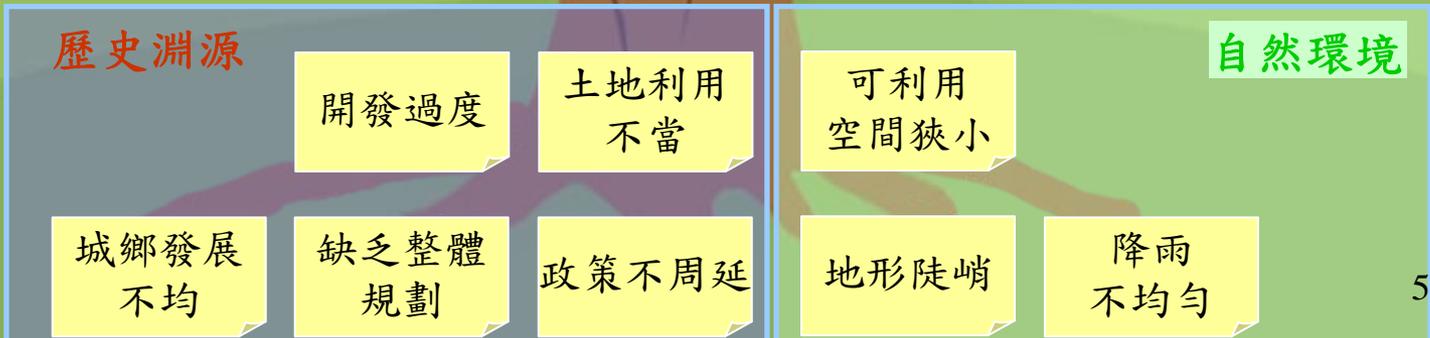


人口與空間
適當分布

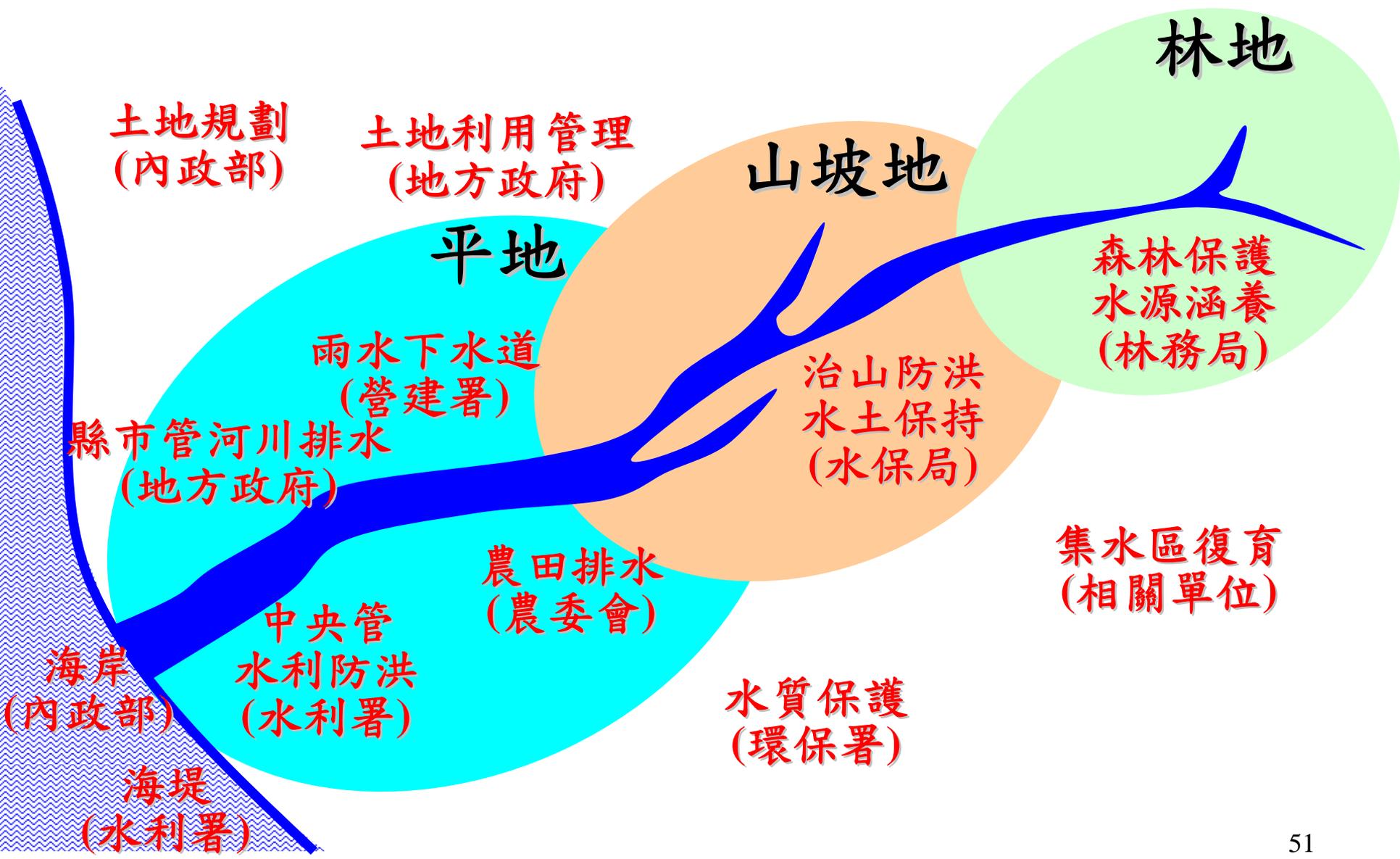
太多人住在
不適當的地方



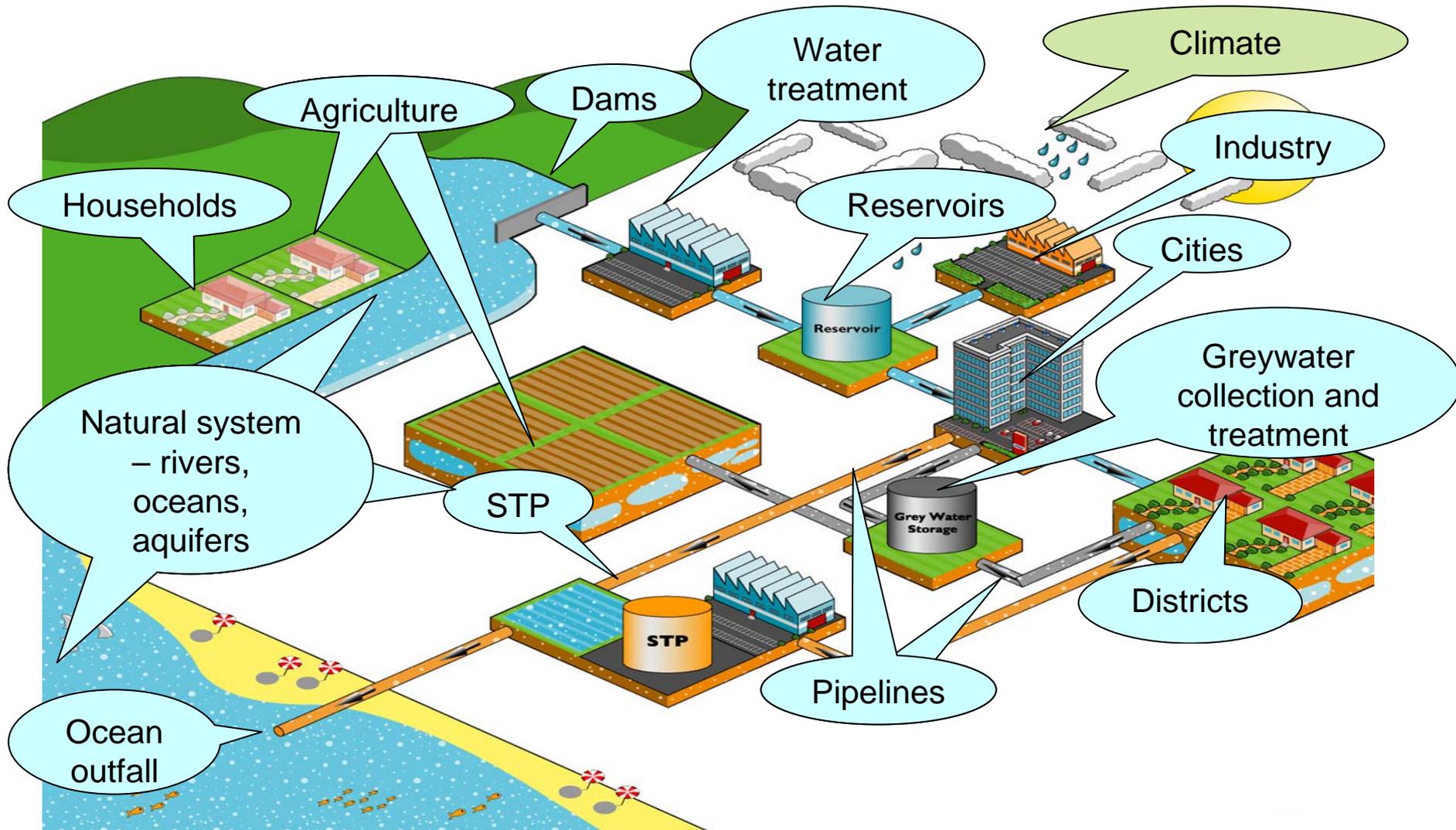
● 樹根
→ 可能成因



流域整體治理之重要問題



Research covers the entire water cycle



科學間之整合

Integration across science

- 供水與需水量
Water Supply and Demand
- 永續都市排水系統及城市雨水利用設計
Sustainable Urban Drainage & Water Sensitive Urban Design
- 自然淨化處理系統
Natural Systems for Treatment
- 分散性廢水處理系統(現地處理系統)
Decentralized Wastewater Systems
- 治理方法、政府機構與金融工具
Governance, Institutions & Financial Instruments

因應對策-綜合治水

- 行政
- 立法
- 工程
- 宣導
- 國土規劃



結論

氣候變遷不是一個簡單的問題在等一個簡單的答案

一個永續發展的氣候變遷策略，不僅需要好的科學研究與良好的溝通，還需要.....

- 值得信任的科學
- 明確的政策
- 有創意的商機
- 公眾參與

我們能做什麼？

快速且不浪費時間

- 改變舊有思想
- 協助解決問題
- 通過啟發性的個案來落實利益大眾的想法
- 創造新的企業及機構規則和文化
 - 改變我們計畫, 設計和決策系統 → 有創意的方式
 - 創造性的夥伴關係：公眾—個人—公民
 - 創造新的領導人精神