

# 巨大災害如何讓日本的社會系統進化？

家田 仁 IEDA Hitoshi

政策研究大學院大學教授 東京大學名譽教授

工學博士、技師(綜合技術管理、營建)

專業領域:交通、都市、國土學

## 目 錄

- 1 · 最近的災害發生動向與近代日本的巨大災害
- 2 · 災害與系統進化～三個進化案例～
- 3 · 防災方面的惱人課題

## 近年發生之天災所引起

**九州北部豪雨** (2017年7月)

最高時雨量：130mm/h

最高總雨量：586mm

罹難/失蹤者：41人

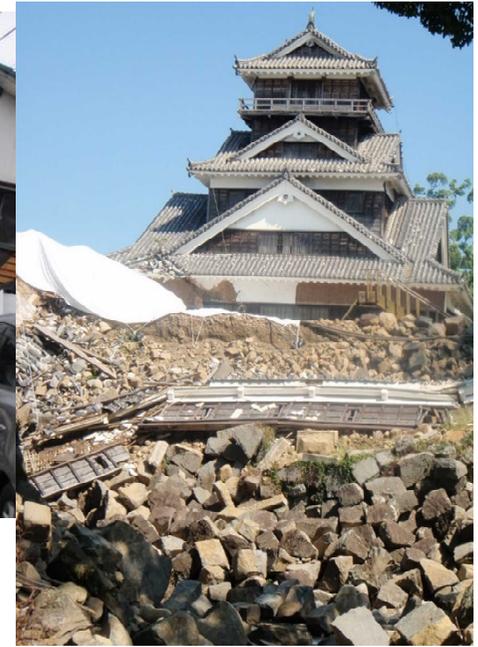


**熊本地震** (2016年4月)

最大震度：7

規模：6.5

罹難者：225人



**御嶽山火山噴發** (2014年)  
罹難者：58人 (登山客)



**廣島土石災害** (2014年)

豪雨引起土石流

最高時雨量：21mm/h

最高總雨量：287mm

罹難者：77人



## 東日本大地震

(2011年3月11日)

伴隨巨大地震的**大海嘯**造成廣大範圍的慘重災情

- 最大震度 7 M9.0
- 海嘯最大高度 40m
- 罹難/失蹤者：  
約18,500人
- 損失總金額：約17兆日圓

# 近代日本的巨大天災(1868年～2016年)

(一般百科全書中也有記載的著名災害)

■發生次數：約90次（**1.7年1次**）

• **地震**(58%)、**洪水/土石災害**(24%)

火山、海嘯、豪雪...

■罹難與失蹤者：約20萬人

• 約50%是關東大地震(1923年)

• 若排除關東大地震，**則為670人/年、1100人/次**

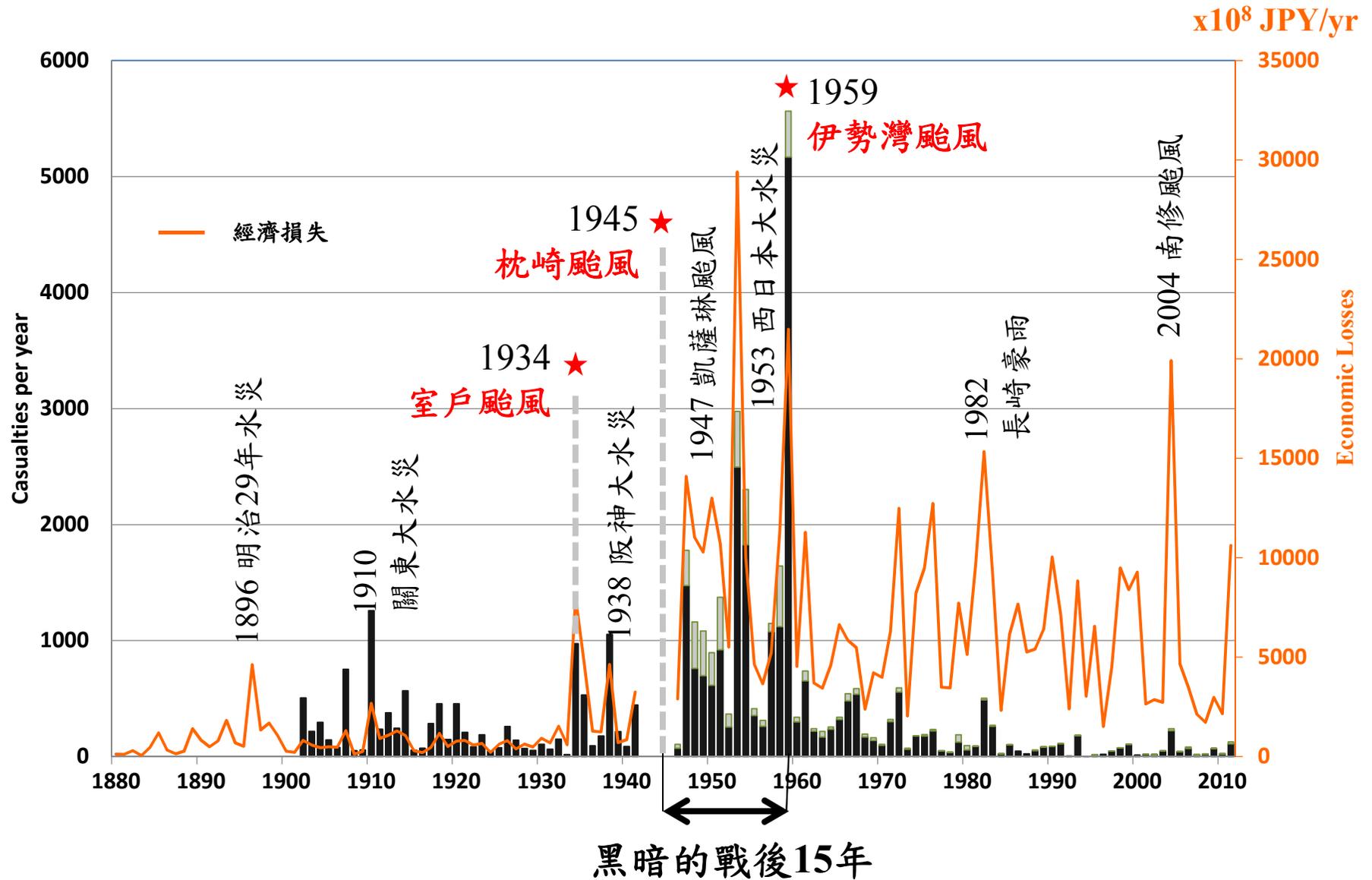
# 近代日本的巨大天災的傷亡規模

罹難/失蹤者

(單位: 100人 取整數)

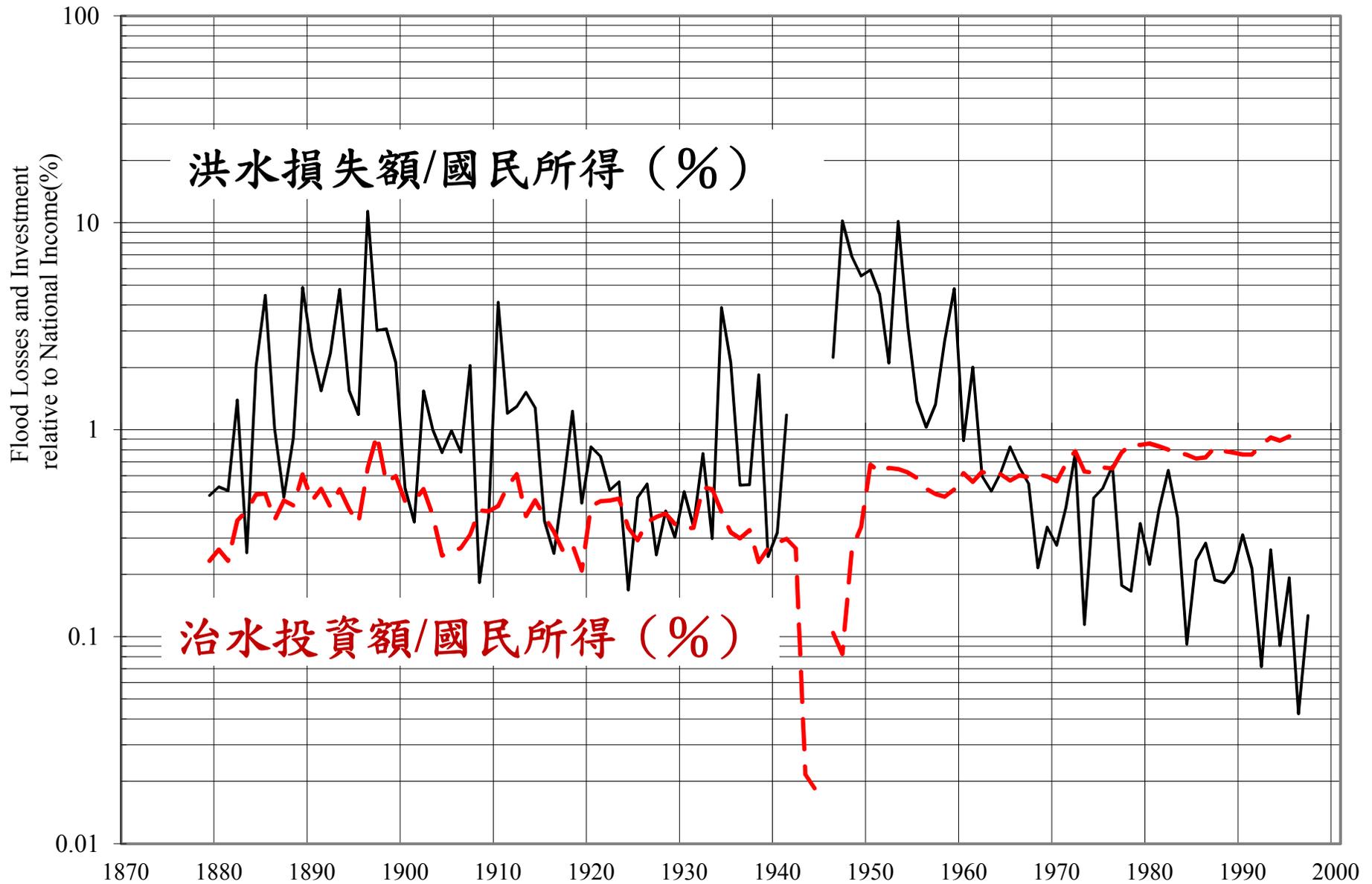
濃尾地震	1891年	72	
明治三陸地震	1896年	220	海嘯災情嚴重
關東大地震	1923年	1050	火災災情嚴重
北丹後地震	1927年	29	
昭和三陸地震	1933年	31	海嘯災情嚴重
室戶颱風	1934年	30	
枕崎颱風	1945年	38	
福井地震	1948年	38	
伊勢灣颱風	1959年	51	風暴潮災情嚴重
阪神淡路大地震	1995年	64	
東日本大地震	2011年	185	海嘯災情嚴重

# 洪水造成的罹難/失蹤人數以及經濟損失金額(2005年價格)



竹內邦良提供: 依據日本政府與國土交通省的資料製成 2013

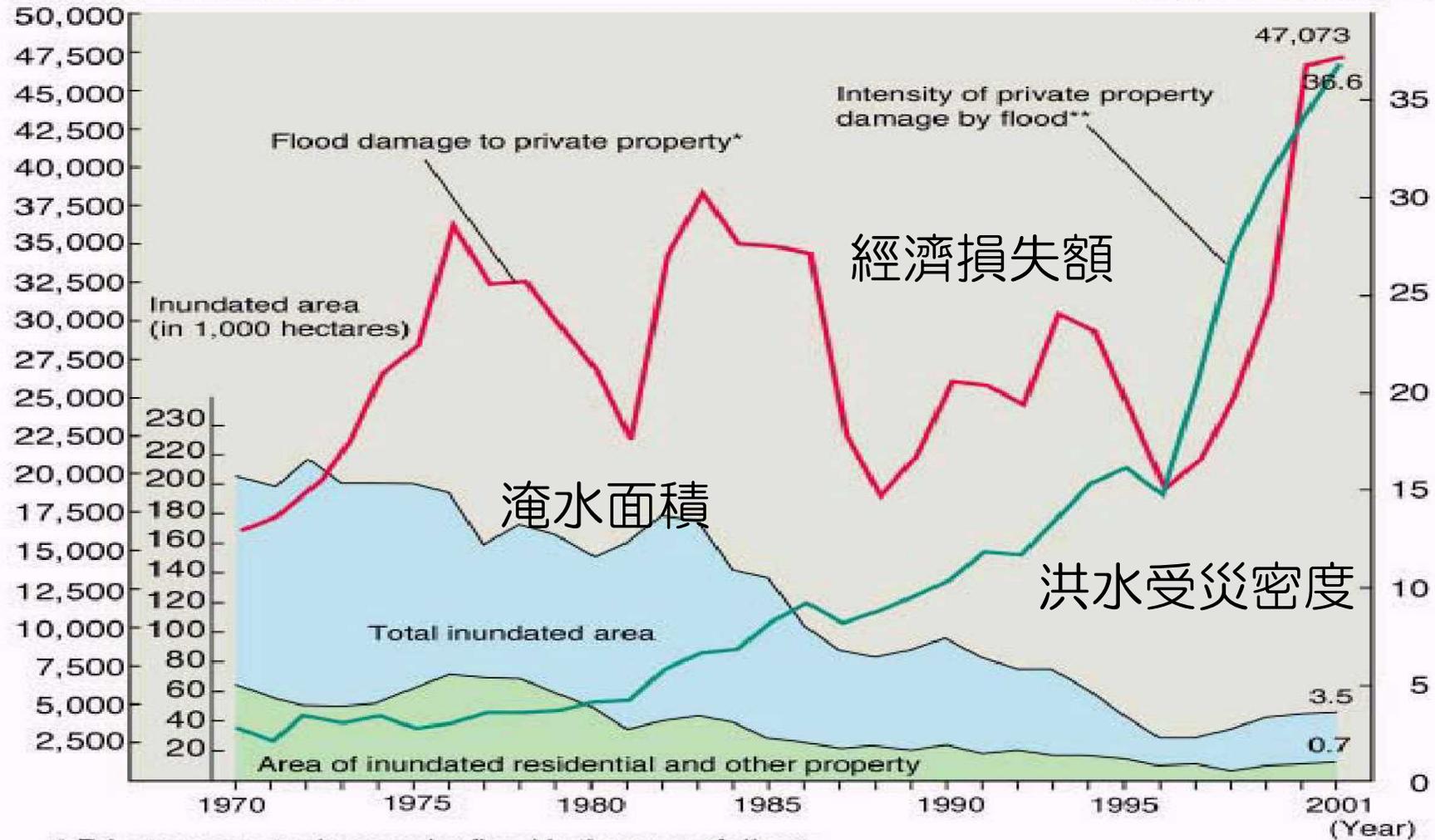
# 洪水損失額與治水投資額的演變



竹內邦良提供: 依據日本政府與國土交通省的資料製成

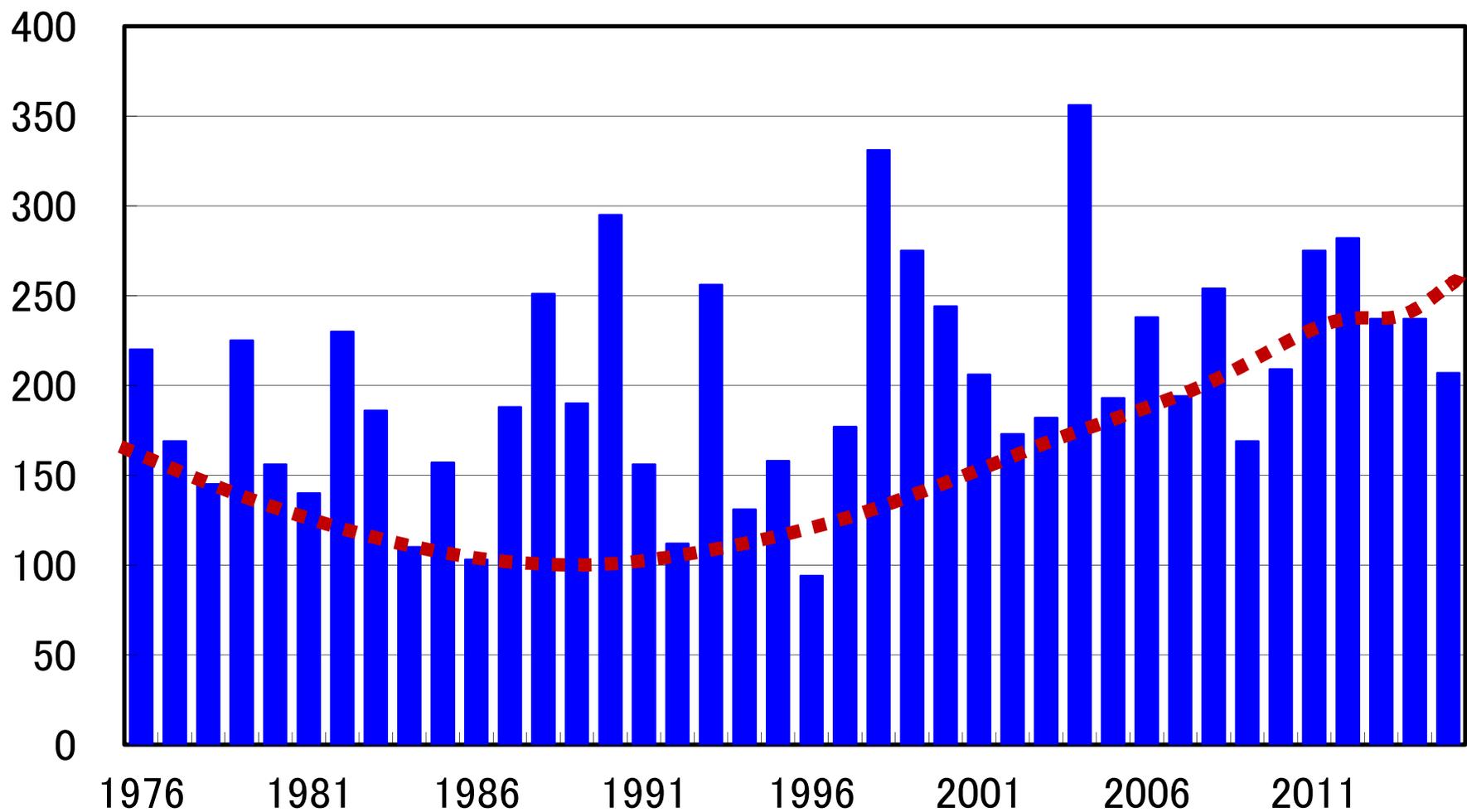
Flood damage density: damage cost / hectare  
(in ¥ 1,000; at 1990 prices)

Total damage (in ¥ billion)



\* Private property damage by flood is the sum of direct damage plus loss due to interruption of business.  
 \*\* Density of private property damage by flood is calculated by dividing the private property damage by the area of inundated residential area.

(次/年) 時雨量超過50mm的大雨的年平均發生件數



以自動氣象數據採集系統AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) 於全國的1000個觀測站為對象

日本政府與國土交通省提供(依據氣象廳資料所製成)

## 以巨大災害為契機導入新的災害對策

- 關東大地震（1923） 營建/都市計畫中的**火災對策**
- 伊勢灣颱風（1959） **風暴潮(海岸防波堤整建)**
- 新潟地震（1964） 砂土地層的**液化對策**、  
**地震保險制度**
- 都市化的進展與洪水的頻繁發生（1970年代）  
**綜合治水對策**
- 宮城外海地震（1978） 結構物的**兩階段設計思維**
- 阪神大地震（1995） **兩階段設計思維**的正式導入
- 廣島豪雨（1999） 因應土石災害的**土地使用管制**
- 中越地震（2004） 地層災害對策、深層崩塌  
**個人住宅的重建支援**
- 東日本大地震（2011） 海嘯對策的**兩階段設計思維**、  
因應海嘯災害的**土地使用管制**  
**路網的防災功能**

## 以巨大災害為契機導入**新的災害對策**

- 關東大地震（1923） 營建/都市計畫中的火災對策
- 伊勢灣颱風（1959） 風暴潮(防波堤整建)
- 新潟地震（1964） 砂土地層的液化對策、  
地震保險制度
- 都市化的進展與洪水的頻繁發生（1970年代）  
**案例3)綜合治水對策**
- 宮城外海地震（1978） 結構物的兩階段設計思維
- 阪神大地震（1995） **案例1)兩階段設計思維的正式導入**
- 廣島豪雨（1999） **案例2)因應土石災害的土地使用管制**
- 中越地震（2004） 地層災害對策、深層崩塌  
個人住宅的重建支援
- 東日本大地震（2011） **案例1)海嘯對策的兩階段設計思維**  
**案例2)因應海嘯災害的土地使用管制**  
路網的防災功能

●大災害也是技術、社會制度、防災思想等「**進化**」的契機。

## 案例1 社會基礎設施的**兩階段設計思維**之導入

1978年 因為宮城外海地震而導入於新建設施中，1995年 因為阪神大地震，包括既有建物的補強在內也正式導入。

在那之前是，

以 $Z$ 為作用外力， $L$ 為預期外力時，

$Z < L \rightarrow$  結構物無受損

**$Z > L$**  : **非預期**(設計上不列入考慮)

特別是在1995年的阪神大地震，直下型地震引起的非預期的強震動，對新幹線等的鐵路以及道路的高架橋造成極嚴重的損害  
→

預期外力：設定 $L_1$  地動 <  $L_2$  地動的兩種情形

$Z < L_1$  → 無受損（**防災**）

$L_1 < Z < L_2$  → 可容易修補之輕微受損（**減災**）

（**兩階段設計法**之導入）

依據新的設計法所新建或修補的結構物，在之後的中越地震（2004年）以及東日本大地震中，都只有輕微的受損，確認是有效的。



1995年 阪神大地震



2011年 東日本大地震

**東日本大地震**(2011年)當時，巨大海嘯越過防波堤，海嘯退潮的力量，使得防波堤從背面崩塌。



# 運用兩階段設計思維於防波堤設計

**L<sub>1</sub> 海嘯：防災**

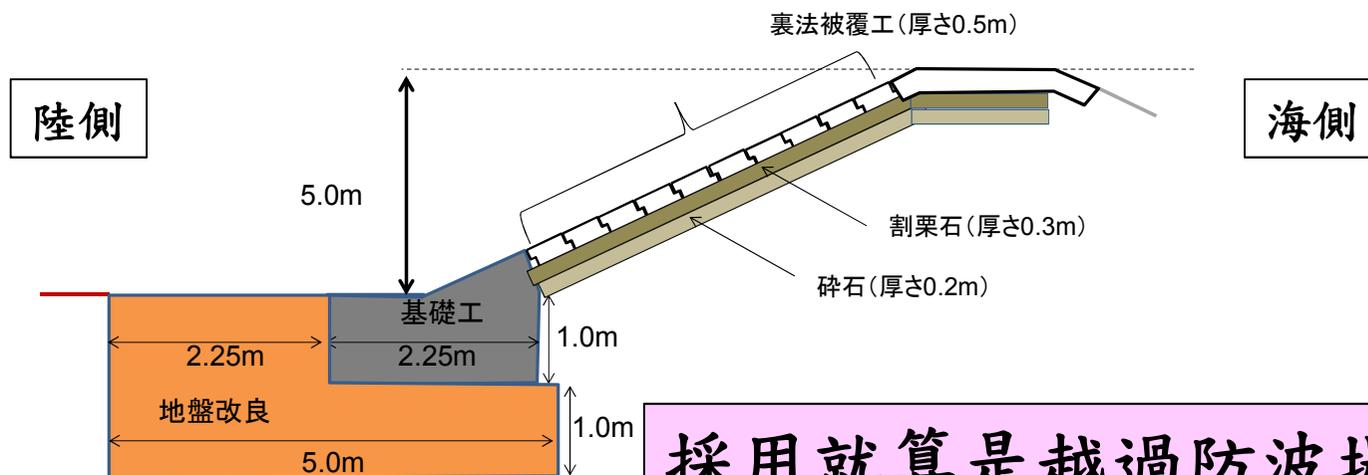
**L<sub>2</sub> 海嘯：允許溢流，減災**

堤內坡趾： 設置與堤內坡面下部合一的基礎工，並對周邊進行地基改良。

堤內坡面被覆工：

- 採用沒有孔洞的石塊，更在其下設置過濾層(減少吸出)
- 留存石塊間的間隙(透氣性、透水性)
- 在向離岸方向的兩端，將敲打出缺口的混凝土塊以類似堆疊斗笠的方式，堆疊出咬合的結構(減少不平情形)

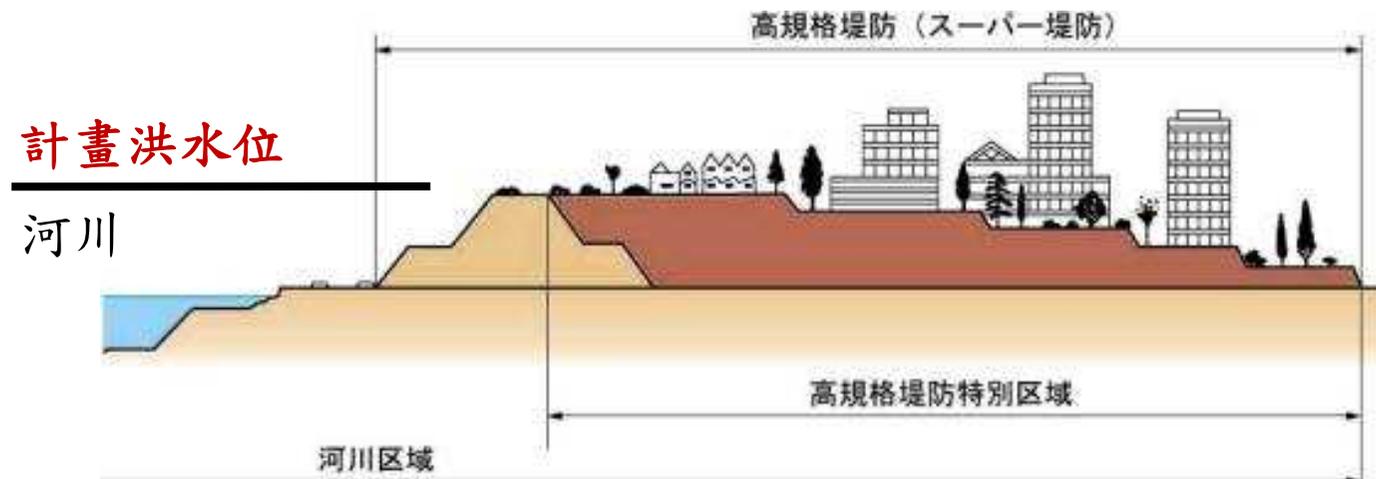
堤頂被覆工： 延伸到堤肩部分，因應壓力降低，由整個堤頂被覆工來抗衡。



採用就算是越過防波堤高度的巨大海嘯，也不易遭破壞的防波堤結構

# 高規格河川堤防（超級堤防）

1987年起慢慢在大都市建造→作為高過設計洪水量因應對策之意義



- 即使溢流也不易崩塌的緩斜率堤防結構
- 堤內的都市開發/打造水岸都市
- 高過計畫洪水位的超過洪水水位因應對策



多摩川的高規格堤防興建案例

## 案例2 於災害危險區域導入土地使用管制



1999年6月 廣島縣吳市的土石流災害

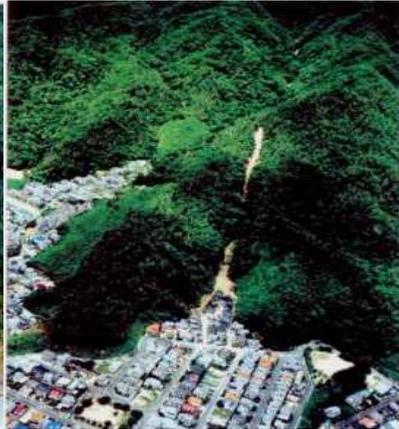
- 國土的70%為森林、山地
- 隨著**市區的擴大**，市區擴大到了土石災害的危險區域以及其周邊
- 以1999年6月豪雨災害(九州、中國地方)為契機  
有**土砂災害防止法**(2000年)的制定



2012年3月新潟縣上越市的地滑災害

過去：**透過砂防工程防護**人居住的地方(因為危險處所多，加上預算限制而窒礙難行)

→ **危險區域的土地使用管制**(兩類危險區域的指定)



陡坡 (山崖)  
Steep Slope  
Failure  
Movement)

土石流 (溪谷)  
Sediment Avalanche  
in gullies

地滑地帶  
Land Slide  
(Slow)



210 thou. areas

120 thou.

4,500



130 thou. areas  
(included)

60 thou.

1

## 土砂災害防止法 (2000年)

### ● 危險區域之指定

 - 警戒區域 (性命、身體的危害)

 - 特別警戒區域  
(對性命/身體的顯著危害、建築物損壞)

### ● 對策

- 藉由砂防工程予以防護
- 開發管制、建築物結構管制、搬遷建議
- 災害地圖、避難活動



## 近代工法的水災對策與其限制

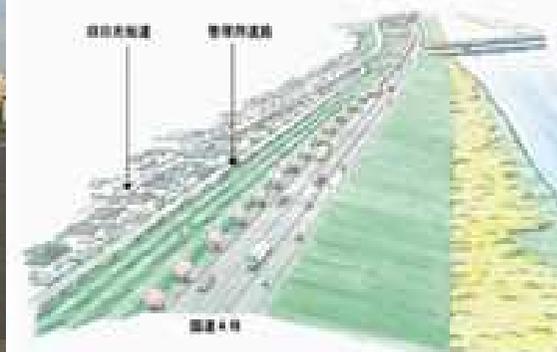


●於上游流域**建造水庫**調整流出



●於中下游流域**確保河川截面與河道的截彎取直**以擴大輸送水流能力

●透過**河川堤防**進行流域(市區以及農地)的防護



## 案例3 包括流域對策在內的**綜合治水對策**之導入

### 近代工法的水災對策之**限制**：

●河川防洪對策追不上流域的急速都市化（**應守護的人口與資產的增大**）

●都市化(建築物與鋪設道路)導致**土地的保水能力**

**降低**→ 降雨時下水道的負荷增大→內水氾濫

降雨集中流入河川

●「應該被守護的市民」同時也是「**肇因者**」

「**流域對策**」之導入(自1980年起)

• 減少降雨的集中流出：

由流域的**都市開發商**整建**調整池**等

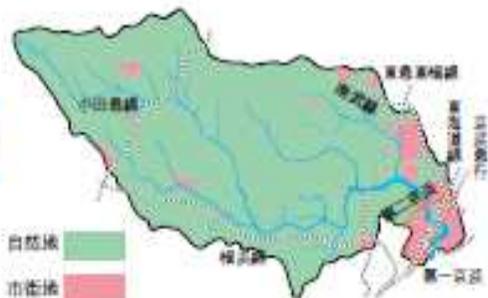
• 採用**不怕淹水的高腳屋結構建築**等

→搭配既有水災對策之「**綜合治水**」

その結果、昭和33年時点で約10%にすぎなかった流域の市街地率は、昭和50年に60%、平成15年には85%に。およそ45年間で75%も増加したことになります。

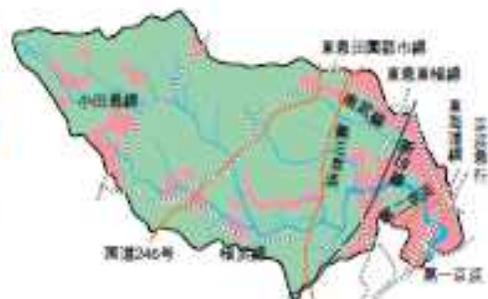
1958

市街地率  
10%



1966

市街地率  
20%



1975

市街地率  
60%



2003

市街地率  
85%

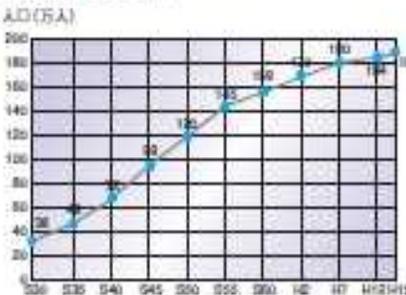


市街化と保水・遊水機能の関係



流域内人口の推移

昭和30年に40万人程度だった流域の人口は、昭和40年代後半には100万人を超え、平成15年現在では約188万に達しています。



この人口増加に伴い、人口密度は8,000人/km<sup>2</sup>で、全国の一級河川中、第1位。

# 鶴見川の都市化

## 戦後の急速都市化(流域の住宅用地化)

①地表保水機能の降低→河川洪水の短時間集中

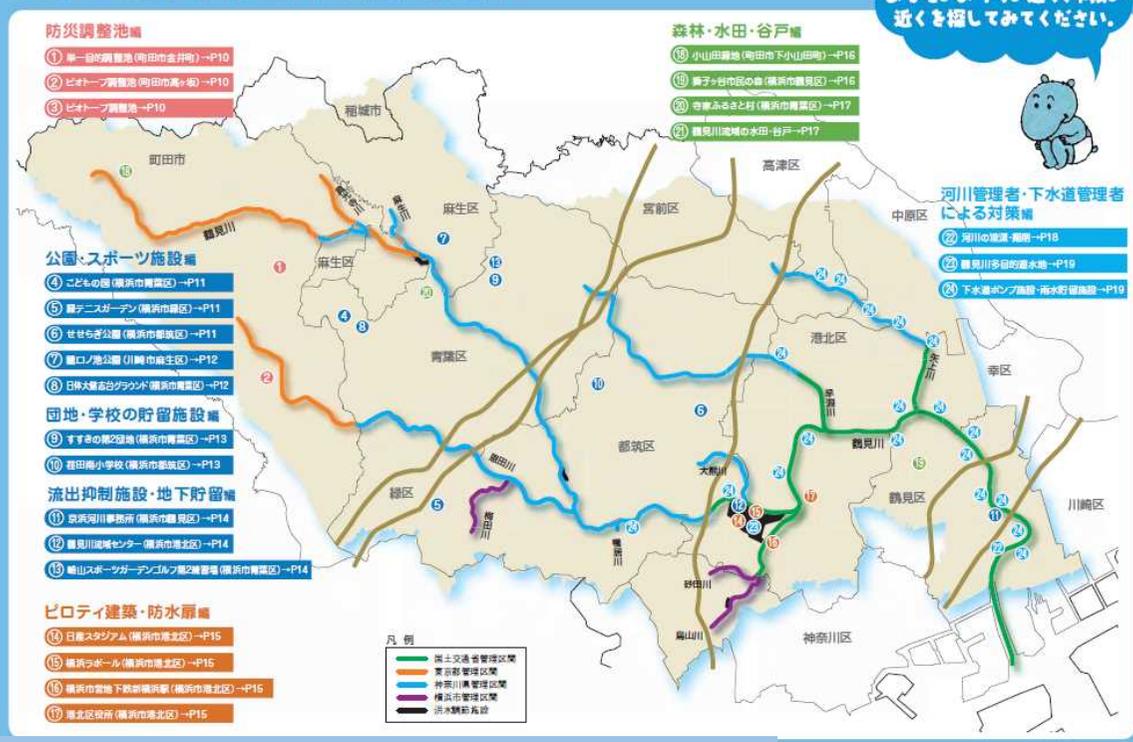
②需要守護的財産以及人命増大

- 災害リスク高漲。
- 只靠河川管理機關無法完全守護。
- 「肇因者付費」制度崩壞。

# 綜合治水對策的登場

- 始於1980年
- 主要針對都市河川，以全國17條河川為對象
- 河川管理機關、下水道管理機關、都市管理機關、開發商、居民
- 綜合對策(雖然法律約束力不強)

## 空から見た鶴見川の流域対策



## 鶴見川綜合治水對策之導入

### 河川管理機關與下水道管理機關的對策

- 提高暫存雨水能力與輸送水流能力

### 都市管理機關、開發商、居民的對策

- 提高暫存雨水的能力
- 因應淹水的建築工法
- 避難、防洪對策

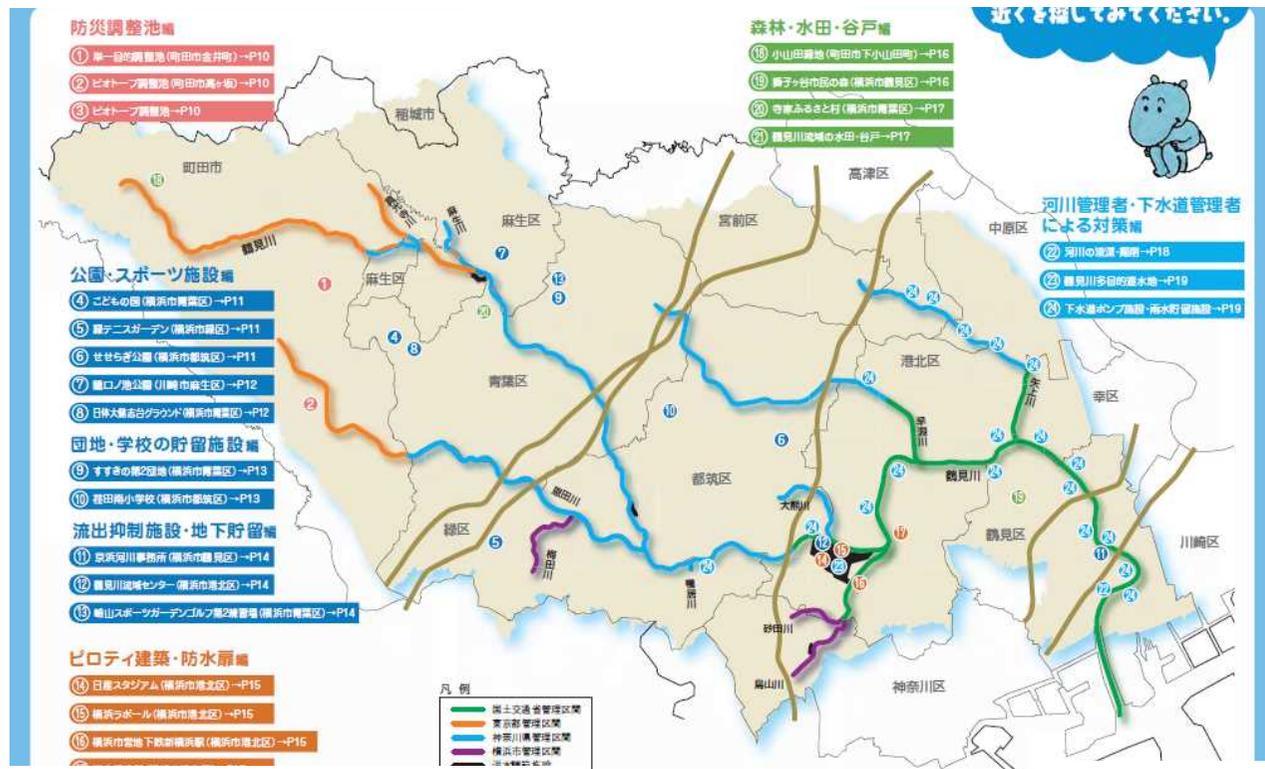


開發商興建調整池

興建公園綠地

強化校園等的雨水儲留功能

下水道管理機關興建滯洪池



## 鶴見川綜合治水 對策之具體案例

地下雨水儲留功能/高腳屋建築

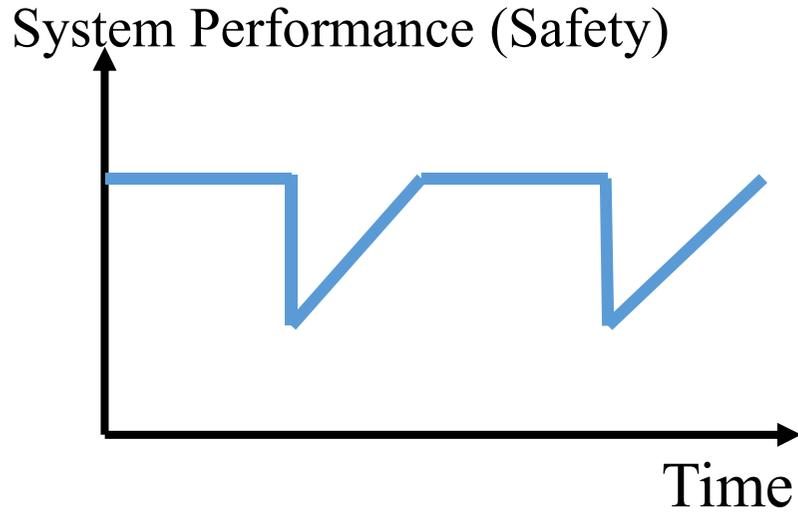
整修河道提升輸送水流能力



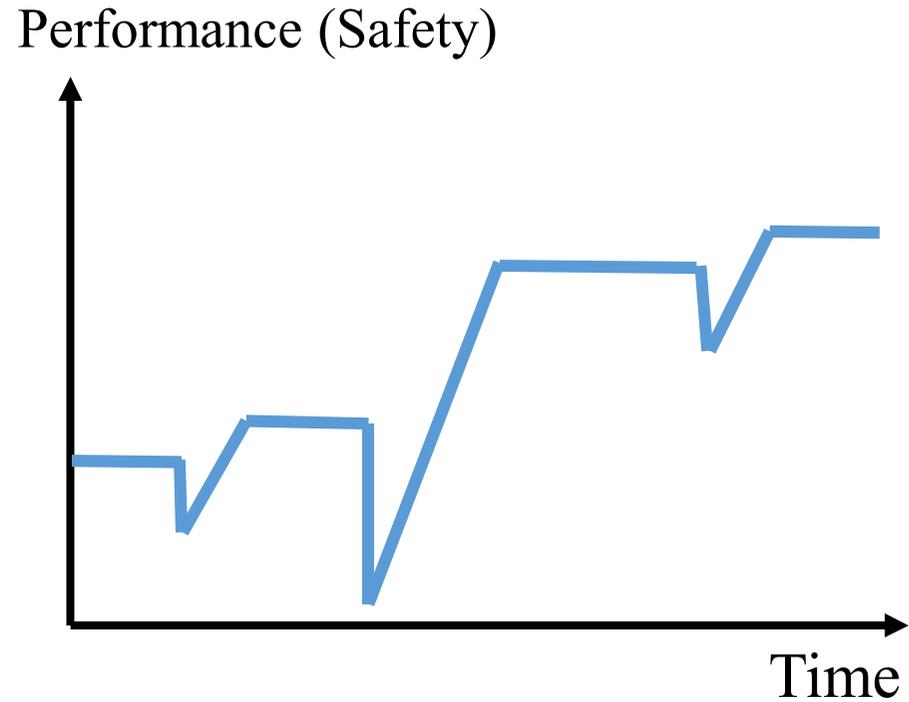
## 彙整案例1~3...

- 以**更多樣的天災**為對象
- 並考量**更大的外力作用**
- 包含減災在內的**更彈性的目標設定**
- 除了工程方法外，還包括土地使用管制以及充實避難體制等，展開**更全面的對策**
- 從市民是天災的受災者，認識到**市民也可能是肇因者**。

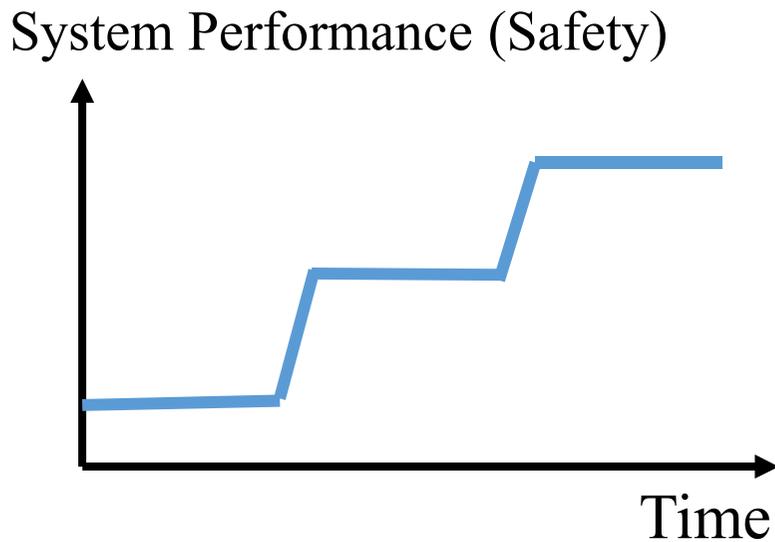
# 災害與系統進化的過程



**Drop / Recovery Model**



**Drop and Jump Model**



**Discrete Jump Model**

## 防災方面的惱人課題

- ① 某些災害對策會帶來別的災害。
- ② 災害對策の實施がシステムの災害脆弱性を増大させる。
- ③ 防災性の向上が人間の頑健性を低下させる。
- ④ 災害復興事業が地域問題の改善と矛盾する面がある。
- ⑤ 災害発生前に「事前復興事業」を行うことの困難
- ⑥ 政治家・マスコミ・国民の災害に対する関心の刹那性
- ⑦ 災害對策が公助に偏重しがち～自助・共助の重要性
- ⑧ 自然科学の進展とともにインフレートしがちな災害對策



## 大河津分渠的興建與新潟海岸的侵蝕

- 日本最長的河川-**信濃川**
- 位於河口的日本海沿岸最大都市—**新潟**
- 興建**大河津分渠**(全長9.1km)以**調洪**(1931年完工)
- 土砂供給量減少導致**新潟海岸**的侵蝕

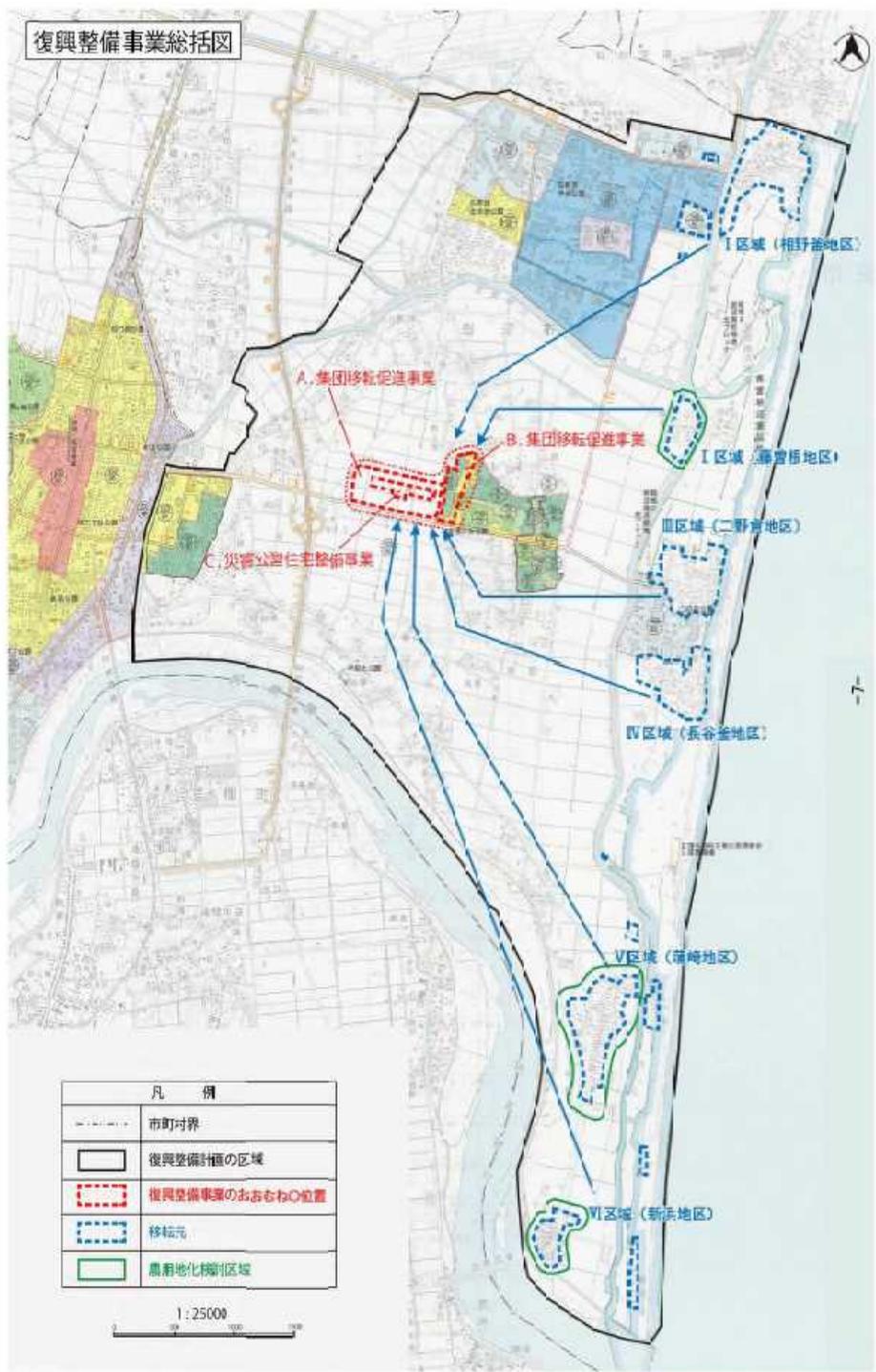




## 「懸河」(Raised Bed Rivers) 的形成

照片:滋賀縣草津市

- 過度砍伐森林：生活/製陶/製鐵/製鹽的燃料、建築資材
- 禿山化、保水能力的降低、土砂流出、洪水/土石災害的發生
- 堤防整建導致河道固定
- 土砂堆積河道導致河床升高→更容易發生洪水/土石災害
- 更進一步加高堤防
- 形成懸河與水災風險的升高



## 宮城縣岩沼市沿岸的重建案例

●6個聚落在海嘯中受災要集體搬遷:鄰近既有的非受災聚落，**集中一處之高地遷移重建**，並要新設商業設施等

●但是，在其他多數的災區，無法集中反而更分散→與因應人口減少的市區**小型化之政策矛盾**