

巨大災害は、日本の社会システムをどのように進化させてきたのか？

家田 仁 IEDA Hitoshi

政策研究大学院大学・教授 東京大学・名誉教授

工学博士・技術士(総合技術管理・建設)

専門分野： 交通・都市・国土学

目 次

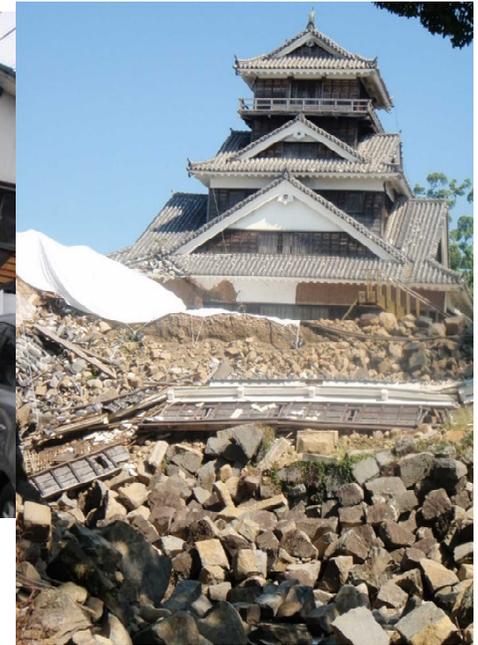
1. 最近の災害発生動向と近代日本の巨大災害
2. 災害とシステム進化～3つの進化事例～
3. 防災に関わる悩ましい課題

近年発生した自然災害より



九州北部豪雨 (2017年7月)
最大時間雨量：130mm/h
最大総雨量：586mm
死者/行方不明者：41人

熊本地震 (2016年4月)
最大震度：7
マグニチュード：6.5
死者：225人



御嶽山噴火 (2014年)
死者：58人 (登山者)



広島土砂災害 (2014年)
豪雨による土石流
最大時間雨量：21mm/h
最大総雨量：287mm
死者：77人



東日本大震災

(2011年3月11日)

巨大地震に伴う**大津波**による
広域的な甚大被害

- 最大震度 7 M9.0
- 津波最大遡上高さ 40m
- 死者・行方不明者：
約18,500人
- 被害総額：約17兆円

近代日本の巨大自然災害(1868年～2016年)

(通常の百科事典にも掲載されている著名災害)

■発生回数：約90回 (1.7年に1回)

- 地震(58%)、洪水・土砂災害(24%)
火山、津波、豪雪...

■死者と行方不明者：約20万人

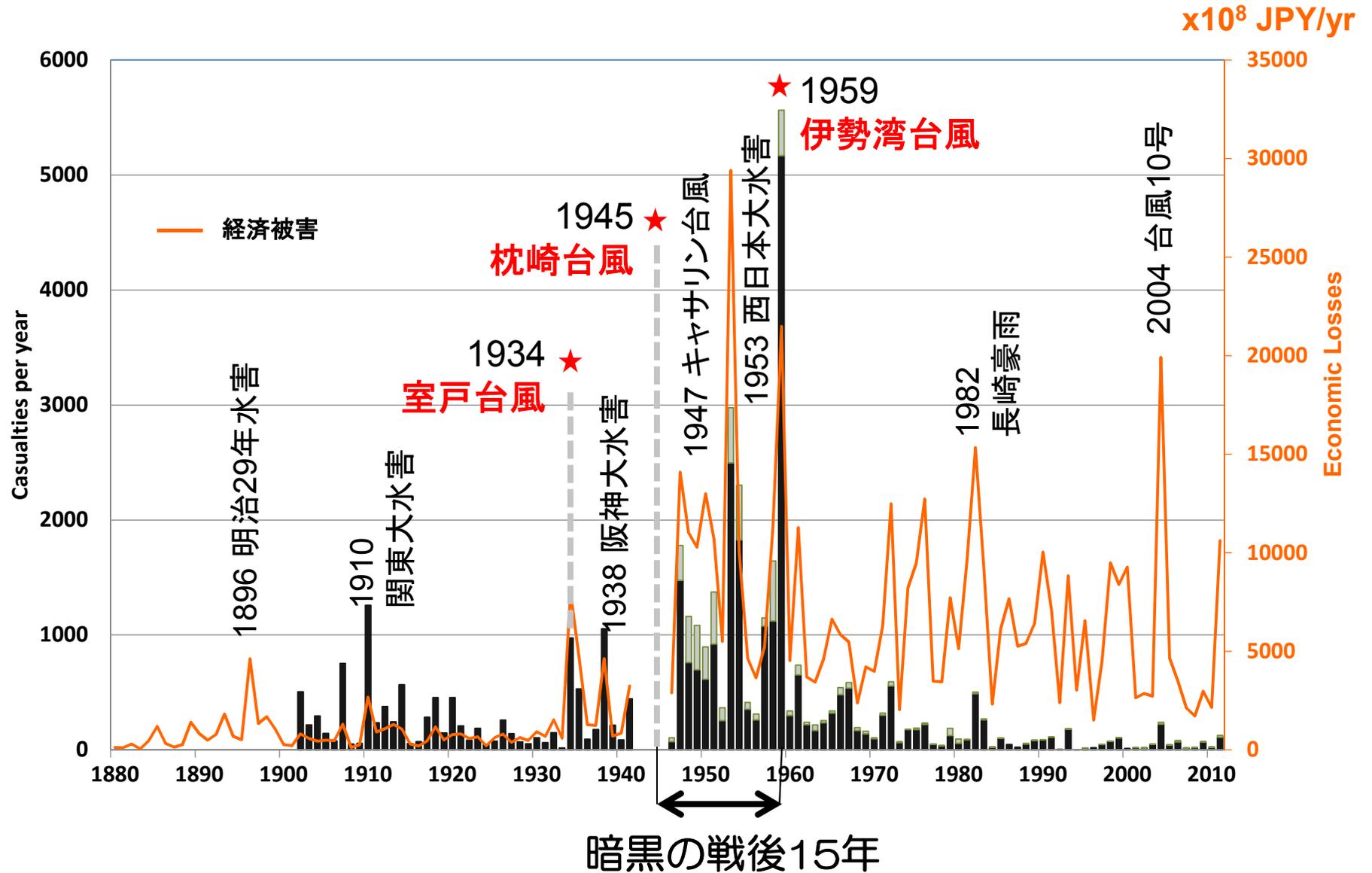
- 約50%が関東大震災(1923年)
- 関東大震災を除外すると、670人/年、1100人/回

近代日本の巨大自然災害における人的被害規模

死者/行方不明者
(単位: 100人 概数)

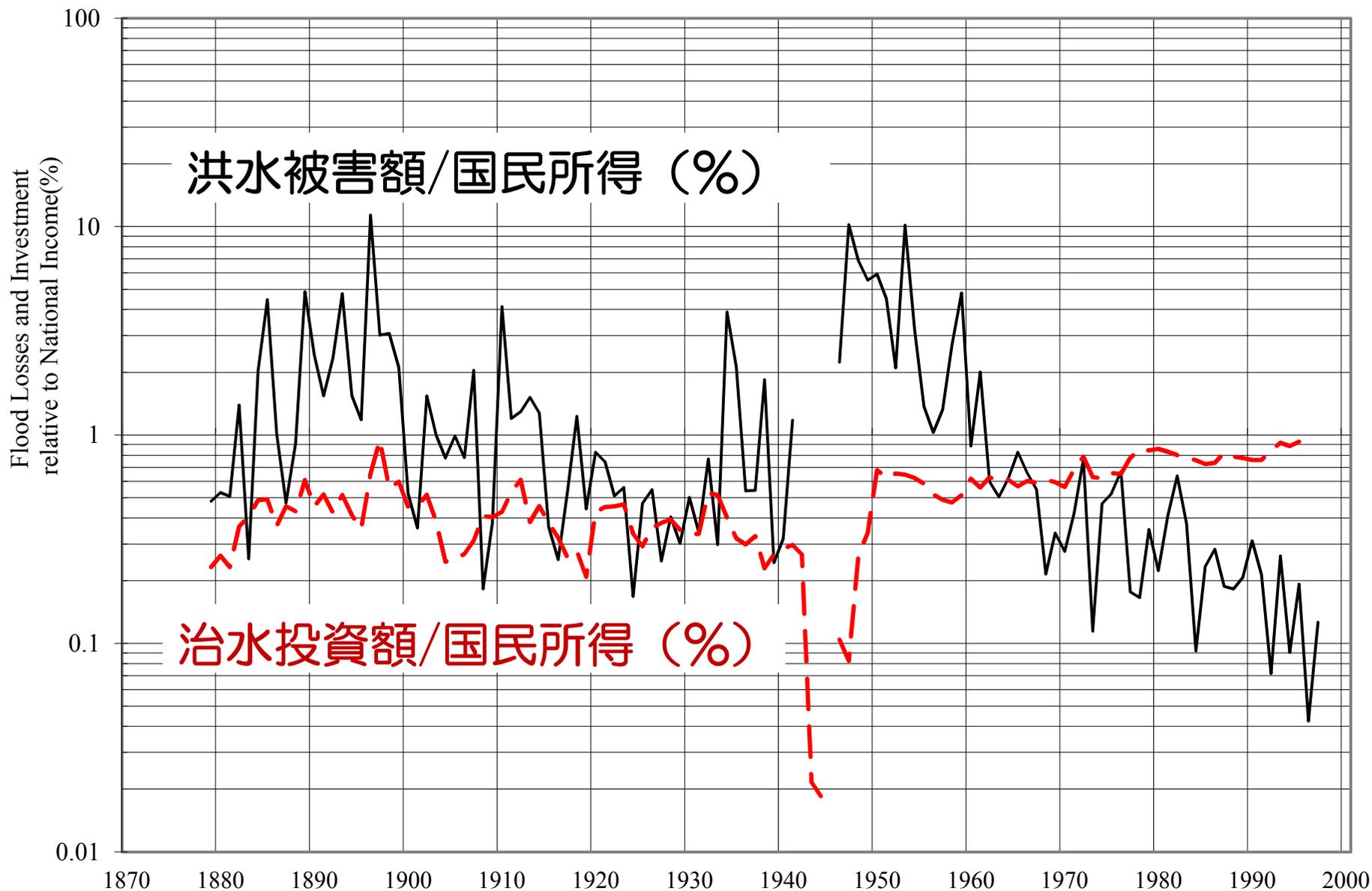
濃尾地震	1891年	72	
明治三陸地震	1896年	220	津波被害が顕著
関東大震災	1923年	1050	火災被害が顕著
北丹後地震	1927年	29	
昭和三陸地震	1933年	31	津波被害が顕著
室戸台風	1934年	30	
枕崎台風	1945年	38	
福井地震	1948年	38	
伊勢湾台風	1959年	51	高潮被害が顕著
阪神淡路大震災	1995年	64	
東日本大震災	2011年	185	津波被害が顕著

洪水による死者・行方不明者及び経済被害額（2005年価格）



竹内邦良氏提供: 日本政府・国土交通省データにより作成 2013

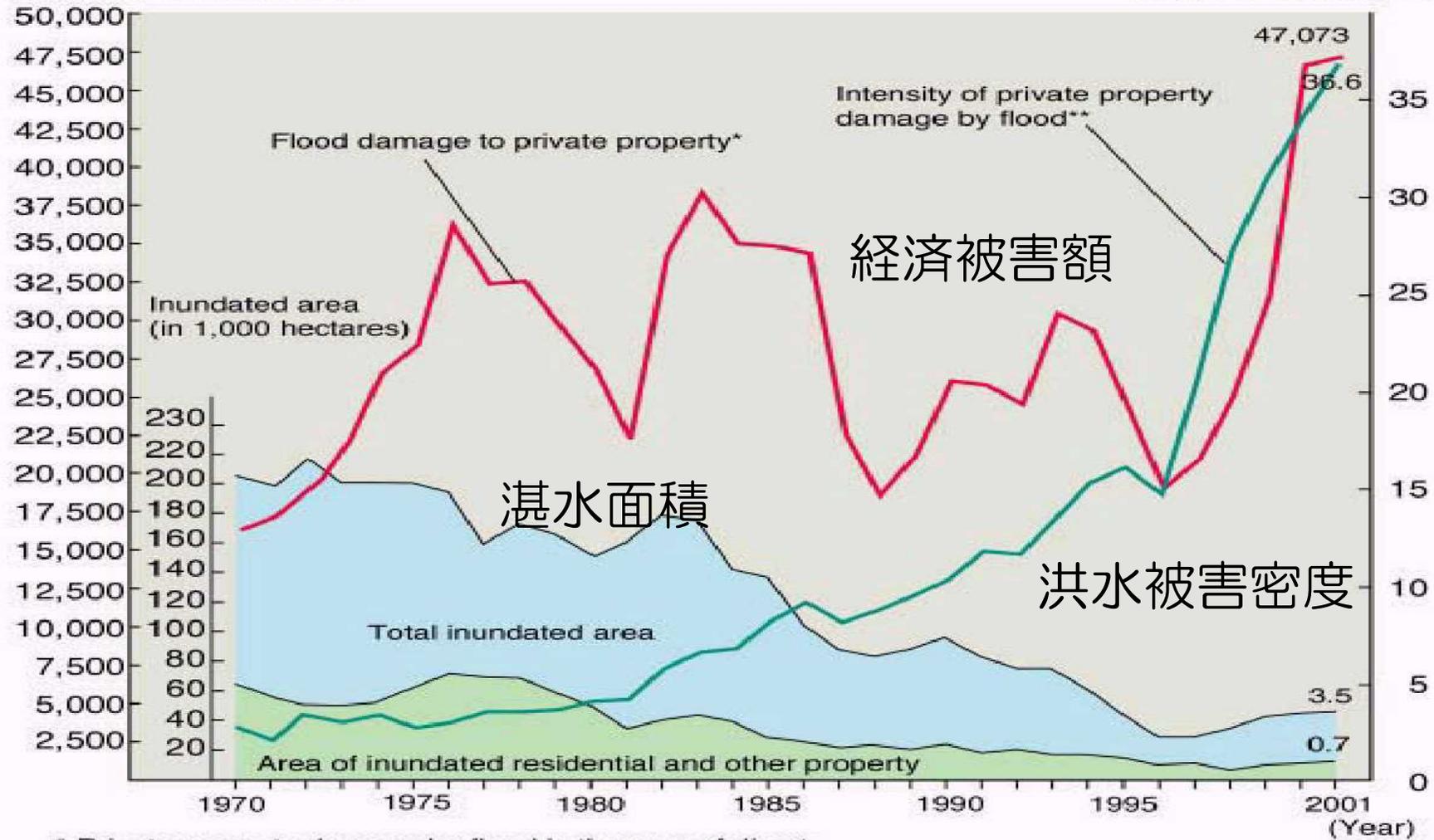
洪水被害額と治水投資額の推移



竹内邦良氏提供 日本政府・国土交通省データによる

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

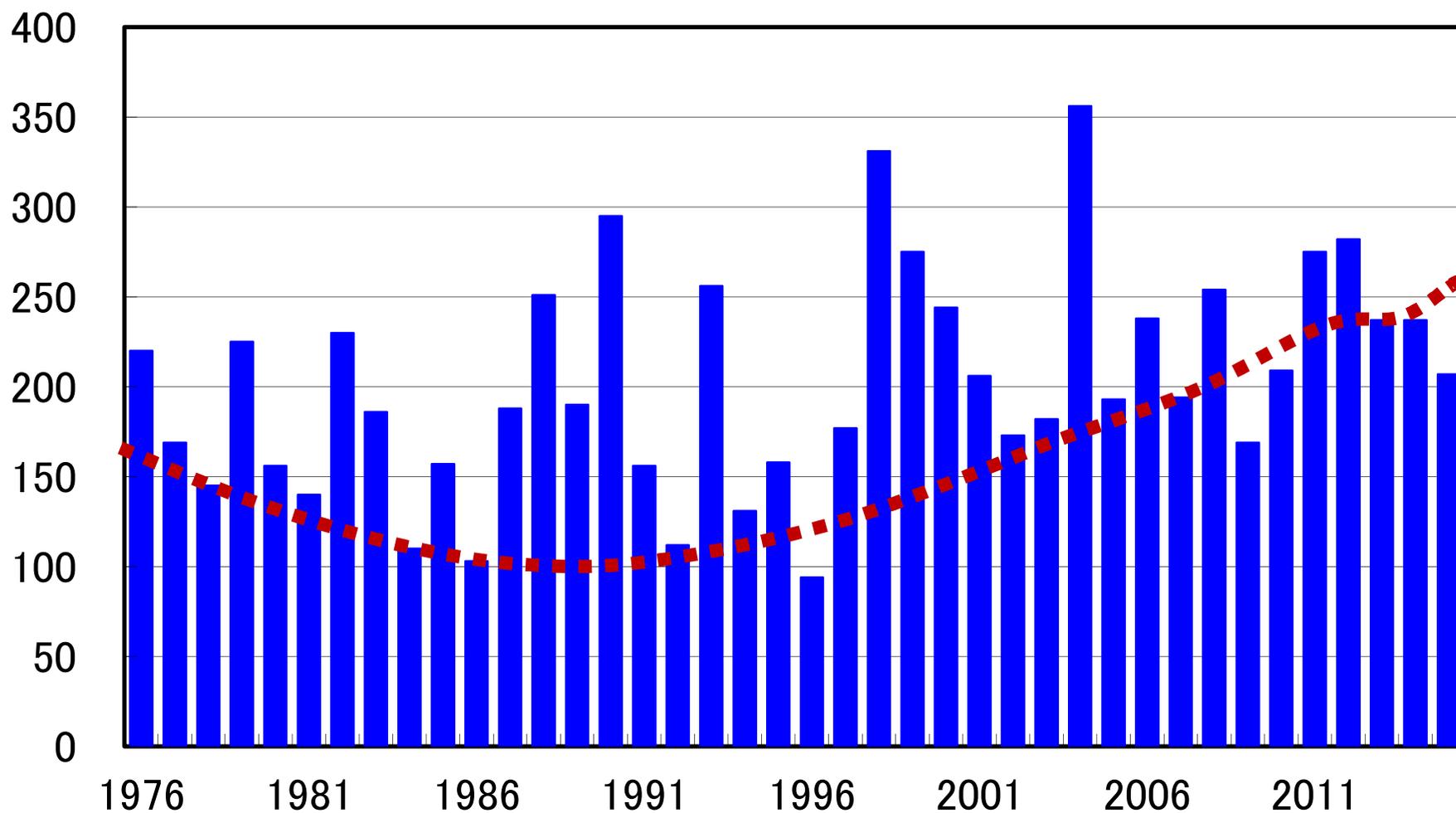
Total damage (in ¥ billion)



* 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.

(回/年) 時間雨量50mm以上の大雨の年間発生件数



地域気象観測システム AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) の全国1000地点を対象

日本政府・国土交通省提供 (気象庁データにより作成されたもの)

巨大災害を契機とする**新たな災害対策**の導入

- 関東大震災（1923） 建築/都市計画における**火災対策**
- 伊勢湾台風（1959） **高潮（海岸防潮堤整備）**
- 新潟地震（1964） 砂地盤の**液状化対策**、**地震保険制度**
- 都市化進展と洪水頻発（1970年代） **総合治水対策**
- 宮城沖地震（1978） 構造物の**二段階設計思想**
- 阪神大震災（1995） **二段階設計思想の本格導入**
- 広島豪雨（1999） 土砂災害への**立地規制**
- 中越地震（2004） 地盤災害対策、深層崩壊
個人住宅の再建支援
- 東日本大震災（2011） 津波対策の**二段階設計思想**、
津波災害での**立地規制**
道路ネットワークの防災機能

巨大災害を契機とする**新たな災害対策**の導入

- 関東大震災（1923） 建築/都市計画における火災対策
- 伊勢湾台風（1959） 高潮（防潮堤整備）
- 新潟地震（1964） 砂地盤の液状化対策、地震保険制度
- 都市化進展と洪水頻発（1970年代）
事例3) 総合治水対策
- 宮城沖地震（1978） 構造物の二段階設計思想
- 阪神大震災（1995） **事例1) 二段階設計思想の本格導入**
- 広島豪雨（1999） **事例2) 土砂災害への立地規制**
- 中越地震（2004） 地盤災害対策、深層崩壊
個人住宅の再建支援
- 東日本大震災（2011） **事例1) 津波対策の二段階設計思想**
事例2) 津波災害での立地規制
道路ネットワークの防災機能

- 大災害は、技術・社会制度・防災思想などが「**進化**」する契機にもなっている。

事例 1 社会基盤建造物の**二段階設計思想**の導入

1978年 宮城沖地震より新規建造物に導入、1995年阪神大震災より既存建造物の補強も含めて本格導入。

それ以前は、

作用外力を Z 、想定外力を L とした時、

$Z < L$ → 建造物は無被害

$Z > L$: **想定外** (設計上考えに入れない)

特に1995年の阪神大震災で、直下地震による想定外の強震動によって新幹線などの鉄道や道路の高架橋に極めて甚大な被害が発生 →

想定外力： L_1 地震動 $<$ L_2 地震動
の2つを設定

$Z < L_1$ → 無被害（防災）

$L_1 < Z < L_2$ → 容易に補修可能な軽微な被害（減災）

（二段階設計法の導入）

新しい設計法に基づいて新設・補修された構造物は、その後の中越地震(2004年)や東日本大震災(2011年)でも、軽微な被害しか発生せず効果確認。



1995年 阪神大震災



2011年 東日本大震災

東日本大震災（2011年）では、巨大な津波が防潮堤を越え、その引き波によって防潮堤が背後から崩されてしまった。



防潮堤設計への二段階設計思想の展開

L₁ 津波：防災

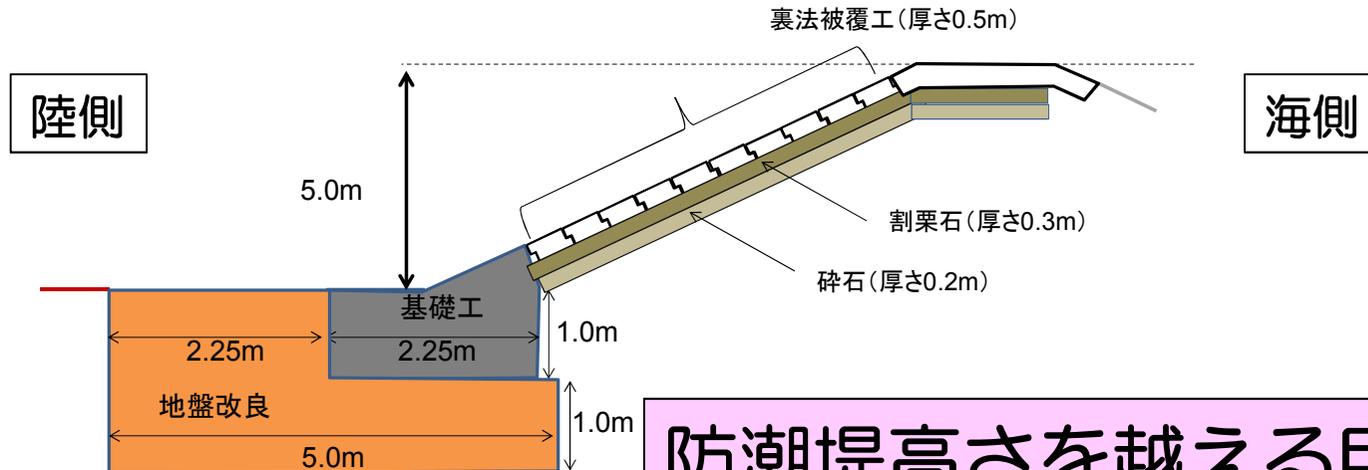
L₂ 津波：越流を許し減災

裏法尻：裏法下部と一体化した基礎工を設けるとともに、その周辺に地盤改良を施す。

裏法被覆工：

- ・孔がないブロックを採用し、さらにその下にフィルター層を設ける(吸い出し抑制)
- ・ブロック間の隙間を存置する(通気性・通水性)
- ・岸沖方向両端に切り欠きを設けたコンクリートブロックを「かさかけ式」にかみ合わせた構造とする(不陸抑制)

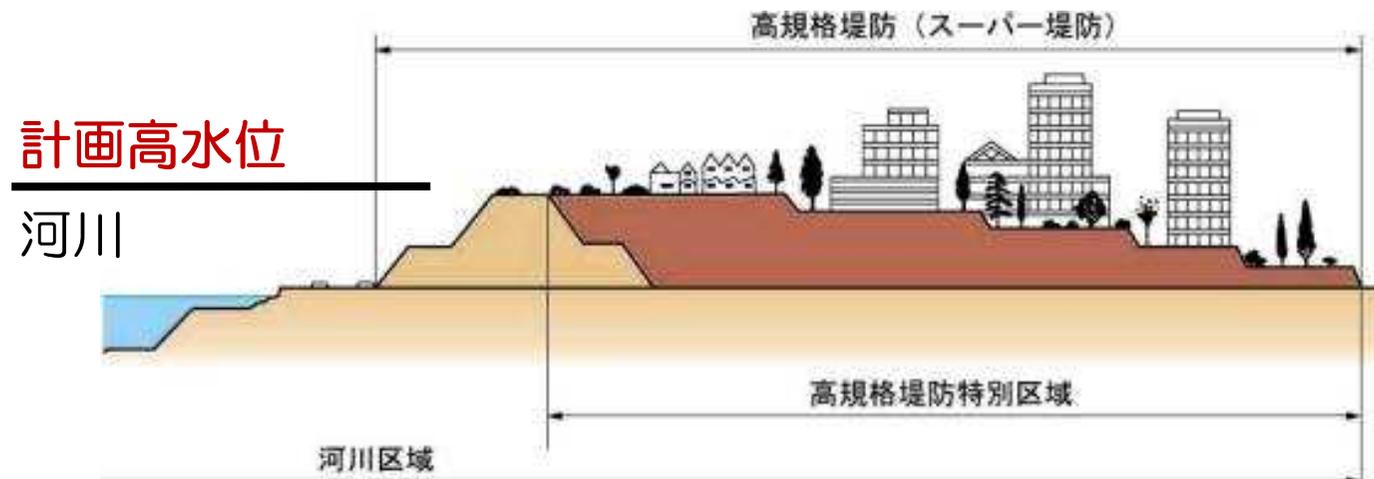
天端被覆工：法肩部分まで延ばし、圧力低下に対して天端被覆工全体で対抗する。



防潮堤高さを越える巨大津波に対しても破壊されにくい防潮堤構造の採用

高規格河川堤防（スーパー堤防）

1987年より徐々に大都市で実現 → 超過洪水対策としての意味



- 越流しても崩れにくい**緩勾配の堤防構造**
- 背面上の**都市開発/水辺都市づくり**
- 計画高水位を超える**超過洪水対策**



多摩川における高規格堤防の建設事例

事例 2 災害危険地域における立地規制の導入



1999年6月 広島県呉市の土石流災害

- 国土の70%が森林・山地
- 市街地の拡大にしたがって、土砂災害の危険地域やその周辺に市街地が拡大
- 1999年6月豪雨災害（九州・中国地方）を契機に
土砂災害防止法（2000年）の制定

3月17日9時頃の写真



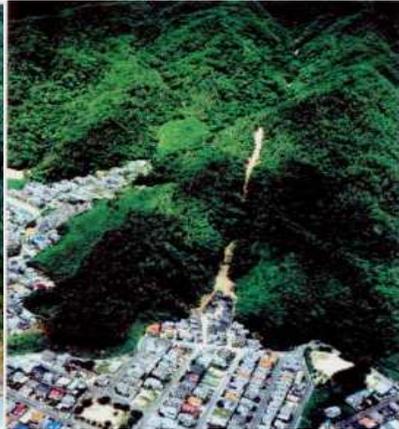
従来：人の住んでいる場所を**砂防工事により防護**（危険箇所多く予算制約もありなかなか進まない）

→ **危険地域における立地規制**を導入
（2種類の危険地域指定）

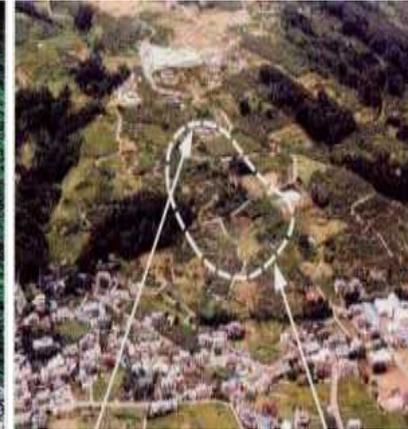
2012年3月 新潟県上越市の地滑り災害



急傾斜地（崖）
Steep Slope
Failure



土石流（沢筋）
Sediment Avalanche
in gullies



地滑り地帯
Land Slide
(Slow Movement)



	210 thou. areas	120 thou.	4,500
	130 thou. areas (included)	60 thou.	1

土砂災害防止法 (2000年)

● 危険な区域の指定

 - 警戒区域（生命・身体
の危害）

 - 特別警戒区域
（生命・身体 of 著し
い危害、建築物損
壊）

● 対策

- 砂防工事による防護
- 開発規制、建築物構造
規制、移転勧告
- ハザード・マップ、避
難活動

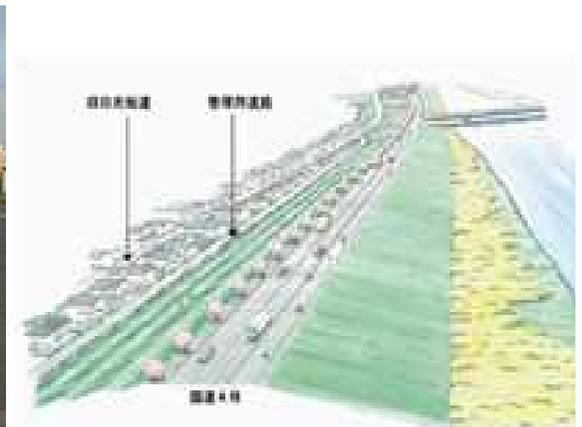
近代的工法による水害対策とその限界



● 上流域における
ダム建設による流
出調整



- 中下流域における河川断面の確保と流路の直線化による流下能力の拡大
- 河川堤防による流域（市街地や農地）の防護



事例 3 流域対策を含めた**総合治水対策**の導入

近代的工法による水害対策の**限界性**：

- 流域の急速な都市化（**守るべき人口と資産の増大**）に河川洪水対策が追いつかない。
- 都市化（建物と舗装道路）によって**土地の保水能力が低下**→ 降雨の下水道負荷増大→内水氾濫
降雨の河川への流出集中
- 「守られるべき市民」と同時に「**原因者でもある市民**」

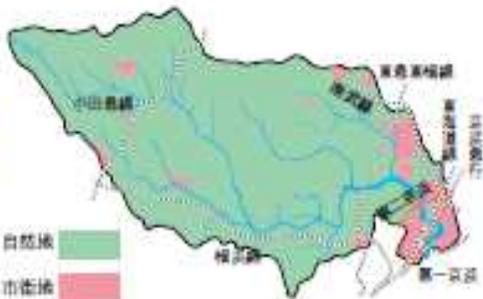
「**流域対策**」の導入（1980年より）

- ・降雨の流出集中の抑制：
流域の**都市開発者による調整池**の整備など
- ・**浸水にも強いピロティ型建築**の採用など
→従来型の水害対策と合わせて「**総合治水**」

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



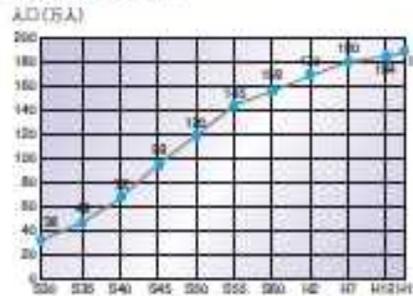
雨水の大半は地中へしみこんで、水田や溜め池のために、川への流入が抑制されます



地面がコンクリートやアスファルトにおおわれたり、森林や田畑、溜め池がなくなることで雨水が川へ流れ込む量が増え、低い地域でははんらん被害の危険が高まりました

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/km²で、全国の一級河川中、第1位。

鶴見川の都市化

戦後の急速な都市化 (流域の宅地化)

①地表の保水機能の低下→河川洪水が時間的集中

②守るべき財産や人命の増大

●災害リスクが増大してきた。

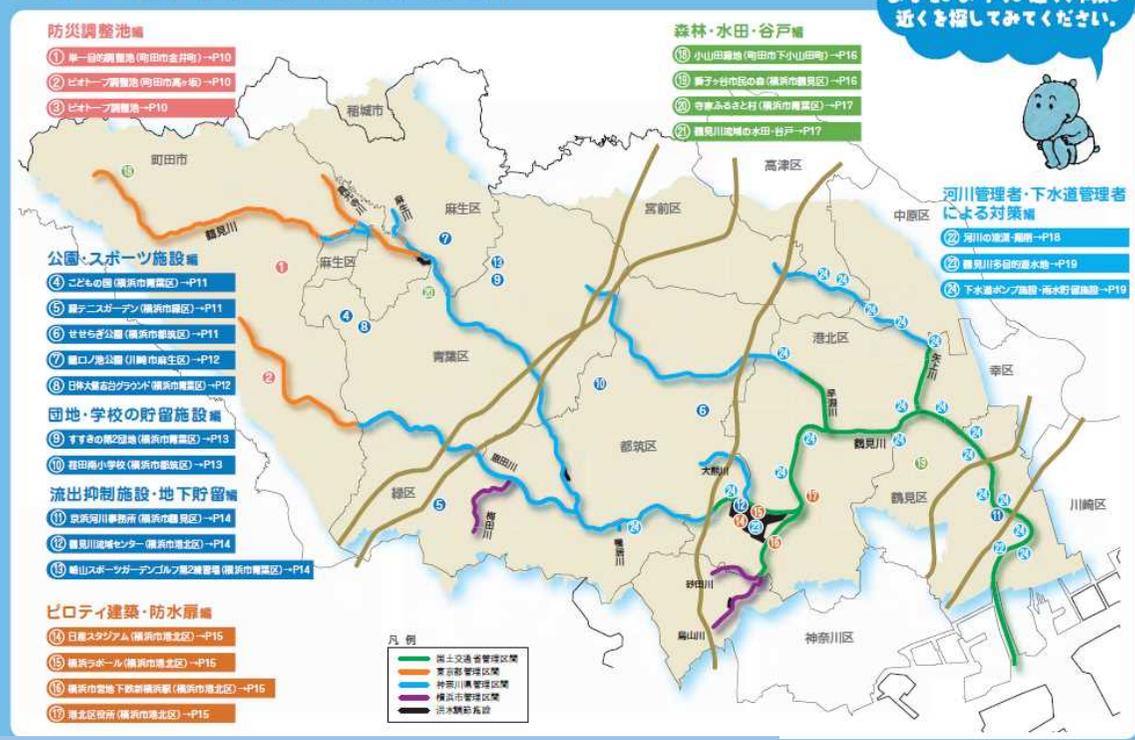
●河川行政のみでは守りきれない。

●「原因者負担」が崩れている。

総合治水対策の登場

- 1980年スタート
- 都市河川を中心に全国17河川が対象
- 河川行政・下水道行政・都市行政・開発者・住民
- 総合的な対策（法的拘束力が強くないが）

空から見た鶴見川の流域対策



鶴見川における総合治水対策の導入

河川管理者と下水道管理者による対策

- 雨水の一時貯留能力の向上と流下能力の向上

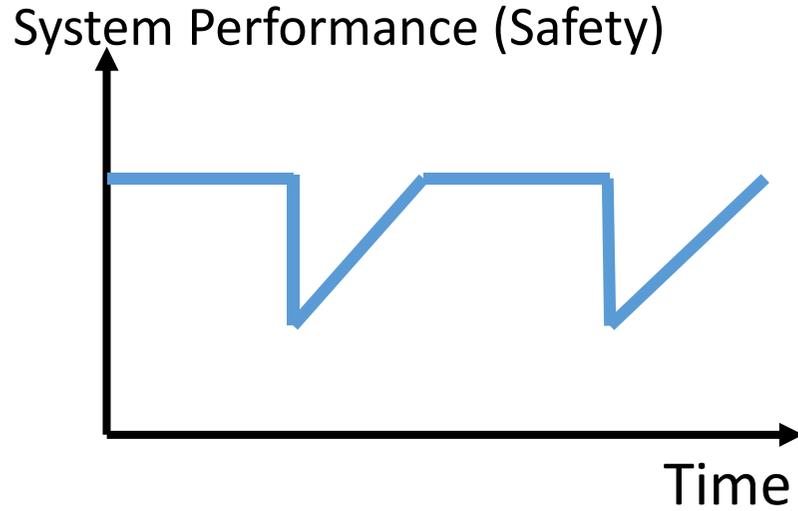
都市行政、開発者、住民による対策

- 雨水の一時貯留能力の向上
- 浸水に対応した建築工法
- 避難・水防対策

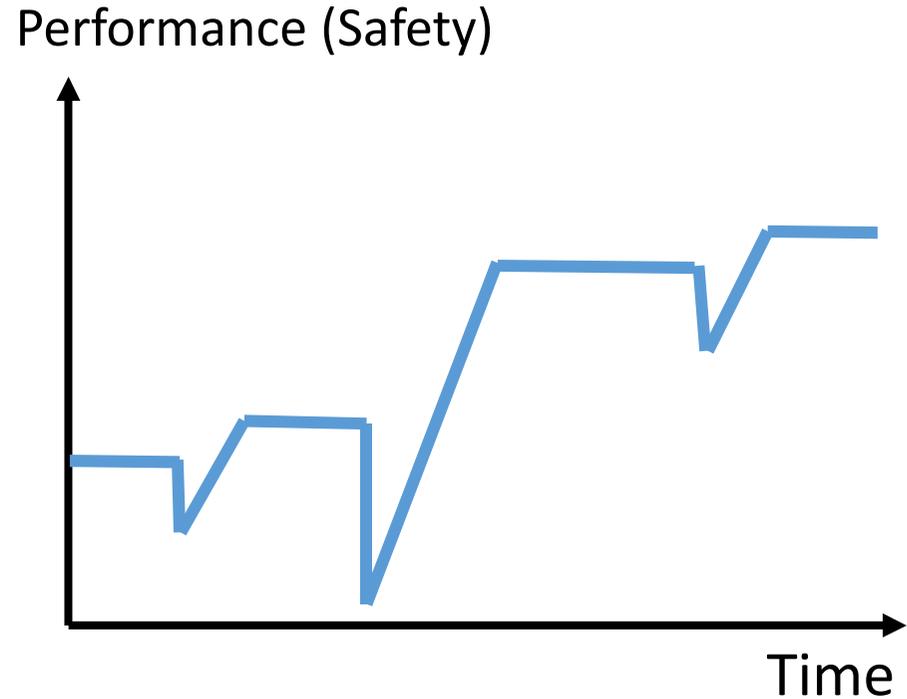
事例 1～3 をまとめると…

- より多様な自然災害を対象に
- より大きな外的作用も視野に
- 減災を含めてより柔軟な目標設定
- 工学的方法に加え、立地規制や避難体制充実などを含めてより総合的方策へ
- 自然災害の被災者としての市民から、**原因者ともなりうる市民**という認識へ

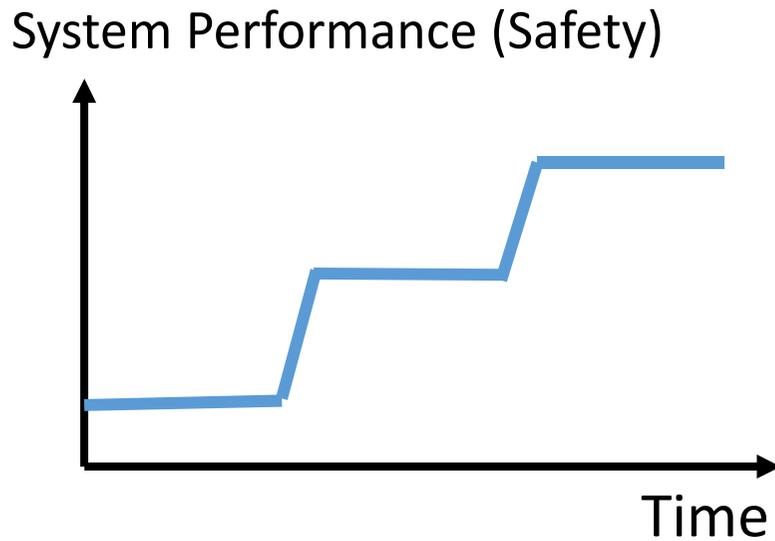
災害とシステム進化 のプロセス



Drop / Recovery Model



Drop and Jump Model



Discrete Jump Model

防災に関わる悩ましい課題

- ① ある災害対策が別の災害をもたらす。
- ② 災害対策の実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 災害対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ションしがちな災害対策



大河津分水の建設と新潟海岸の浸食

- 日本最長の河川・**信濃川**
- 河口に位置する日本海沿岸の最大都市・**新潟**
- **大河津分水**（延長9.1km）の建設による**洪水調節**（1931年事業完成）
- 土砂供給量の減少による**新潟海岸の浸食**

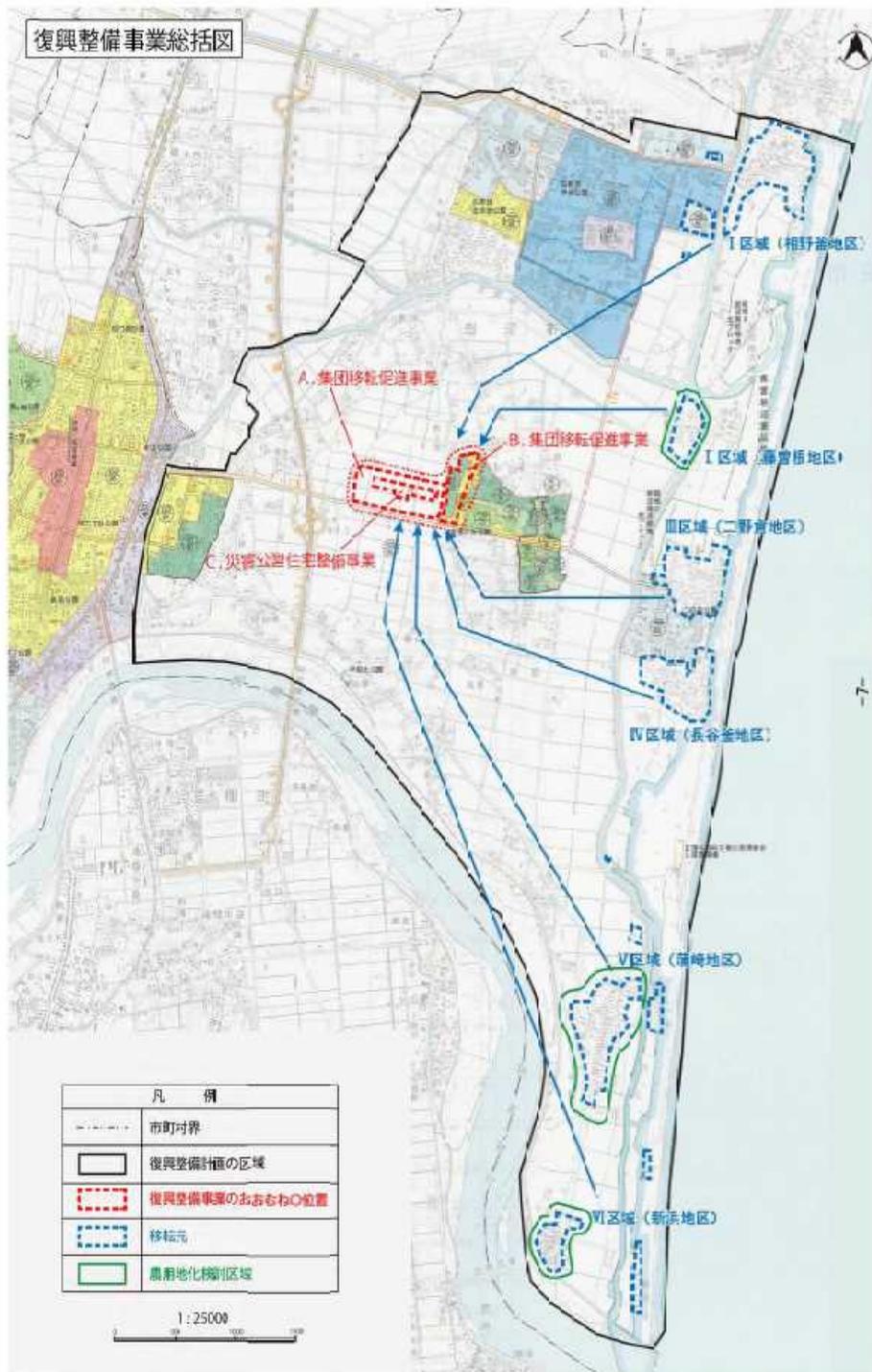




「天井川」 (Raised Bed Rivers) の形成

写真：滋賀県・草津市

- 過度の**森林伐採**：生活・製陶・製鉄・製塩の燃料、建築資材
- 禿山化、保水能力の低下、**土砂流出**、**洪水/土砂災害**の発生
- **堤防整備**による**流路固定**
- 土砂の河床堆積と**河床上昇**→さらに**洪水/土砂災害**の発生
- さらなる**堤防嵩上げ**
- 天井川の形成と**水害リスクの上昇**



宮城県岩沼市沿岸部の復興事例

● 6集落の津波被災とその集約的集団移転：既存の非被災集落に隣接して1箇所に**集約して高地移転復興**、商業施設などを新設

● しかし、他の多くの被災地では、集約化がなされずより分散化が進んでいる→人口減少に対応した市街地の**コンパクト化の政策と不整合**