

title

# Forum 8 Design Festival 2014

---

## 都市の洪水リスク解析 その現状と課題

---

守田 優

芝浦工業大学工学部土木工学科

# 神田川の内水氾濫



文京区江戸川橋交差点付近(1981年7月)

# 内容

---

1. 洪水リスクマネジメントについて
2. 洪水リスクアセスメント
3. 洪水リスクアセスメントの応用
  - (1) 治水・雨水排水計画の最適水準の決定
  - (2) 気候変動による洪水リスク増加の予測
  - (3) 雨水排水プロジェクトによるリスク軽減効果
4. 洪水リスクの評価
  - リスク・インパクト・ファクターの導入
5. 洪水リスクの不確実性
6. まとめ と 今後の課題

# 洪水リスクマネジメントについて

洪水リスクマネジメントへの導入(1), (2), (3)

リスクマネジメントについて(1), (2)

マクロ理論とミクロ理論

洪水リスクマネジメントの枠組み

# Introduction (1)

## 防災

高度経済成長期の概念。災害を起こさないことが基本。  
しかし、公共投資の縮小と近年の多雨傾向で方向転換を余儀なくされる。

## 減災

計画レベルの施設が完成しても、それを超える豪雨は防げない。  
計画レベルに向かって建設中で、まだ完成していない。  
→ 防災(災害を起こさないという概念)は実質的に不可能!

## 洪水リスクマネジメント(リスク管理)

洪水リスクの定量化を行い、行政と住民の役割分担、ハード・ソフト

# Introduction (2)

## 流出解析モデルの歴史

---

1. 河川計画(下水道計画)のためのモデル **60年代以前**  
合理式など
  2. 土地利用を組み込めるモデル **70~80年代**  
物理モデル、都市化と流出機構の変化
  3. 2次元浸水氾濫モデル **90年代**  
浸水予測のためのモデル  
(例えば、ハザードマップの作成)
- 
4. 浸水被害予測モデル  
浸水のみならず被害額も計算するモデル
  5. リスクマネジメントへの応用  
治水計画(排水計画)決定支援システム

# Introduction (3)

## リスクに関する用語の定義

---

### Risk

the possibility of something bad happening at sometime in the future

**Hazard** “hazard”はperilからの損害の可能性をもたらし、また増加させる状態

A thing that can be dangerous or cause damage

### Damage/Loss

**Peril** 損害をもたらす偶然事件、あるいは損害の原因

the fact of something being dangerous or harmful

# リスクマネジメントについて（その1）

リスクマネジメントにおいて、リスクとは、被害を及ぼす事象が社会に及ぼすインパクトとその生起確率の積である。

In risk management, the risk of a hazardous event is generally quantified by multiplying the occurrence probability of the event by its impact (National Research Council, 1989).

$$\text{Risk} = \text{Damage} \times \text{Probability}$$

Damage: 豪雨(洪水)によって生じる浸水被害(額)

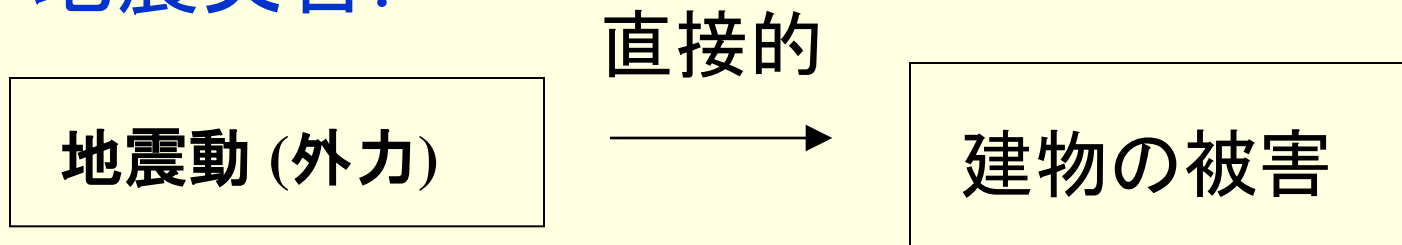
Probability: 豪雨(洪水)の生じる確率



# リスクマネジメントについて (その2)

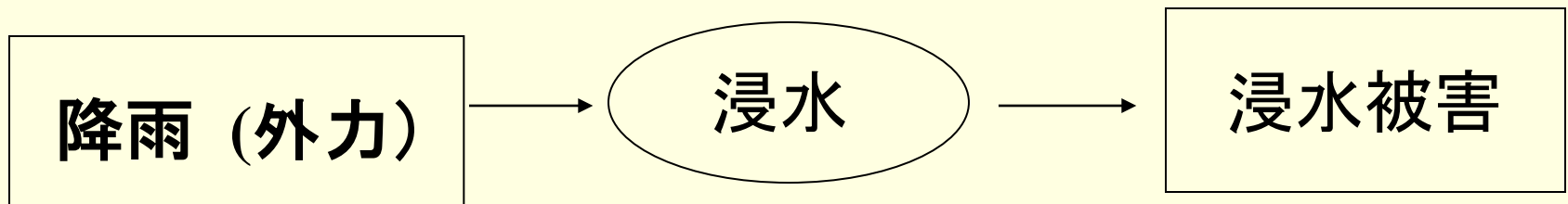
## 地震災害 vs. 水害

地震災害:



水害:

どんなに激しい豪雨でも浸水氾濫がなければ被害は生じない。



リスクアナリシスにおいて、降雨と被害を結びつけるには浸水氾濫解析が不可欠となる。

# マクロ／ミクロ理論

---

## マクロ理論とは？

洪水に対して、行政は流域全体としてどのような治水・雨水排水計画を決定し、実施するか。 計画論／経済評価

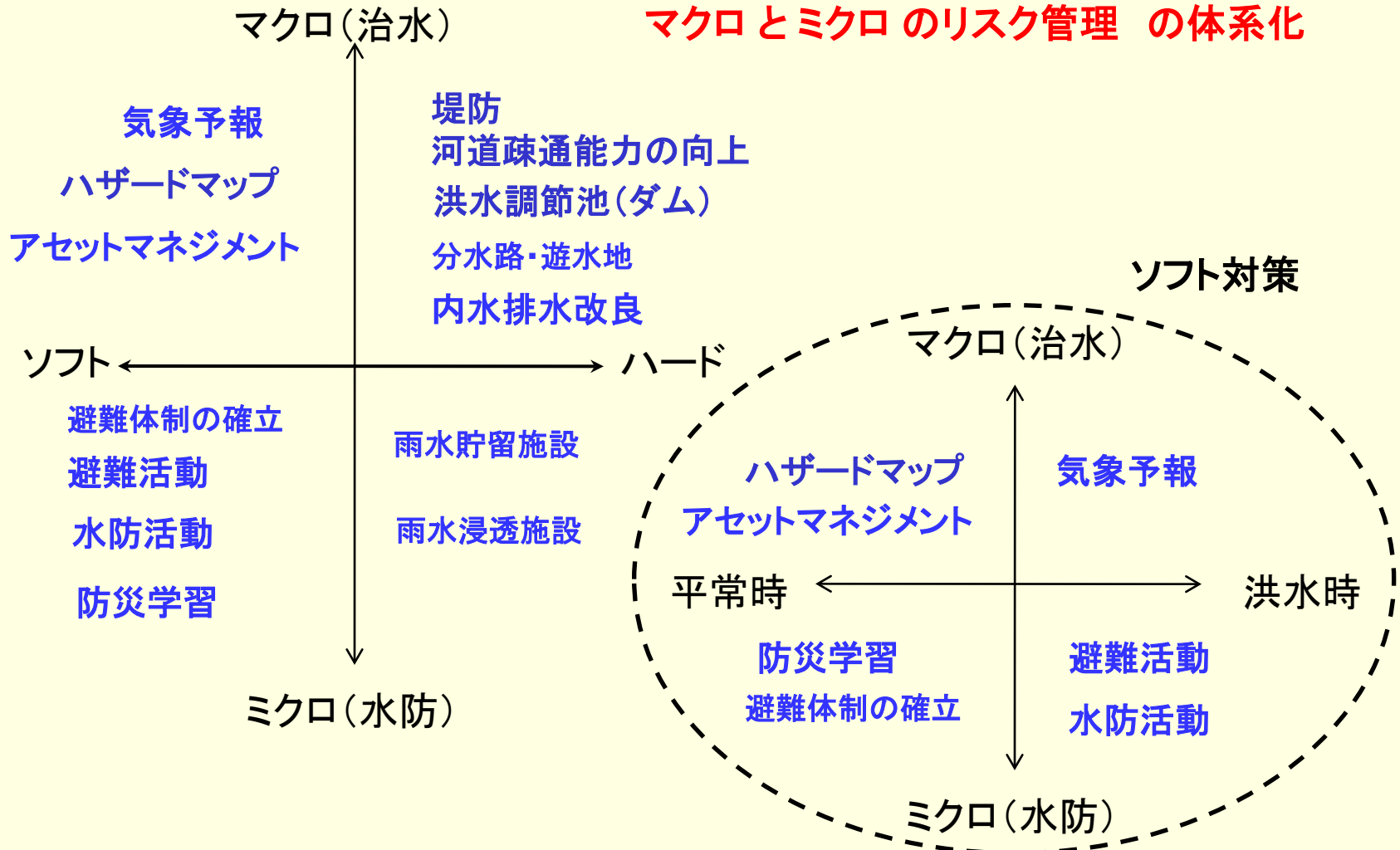
## ミクロ理論とは？

洪水に対して、行政や住民がどのような行動をとるか。

行政行動論／住民行動論

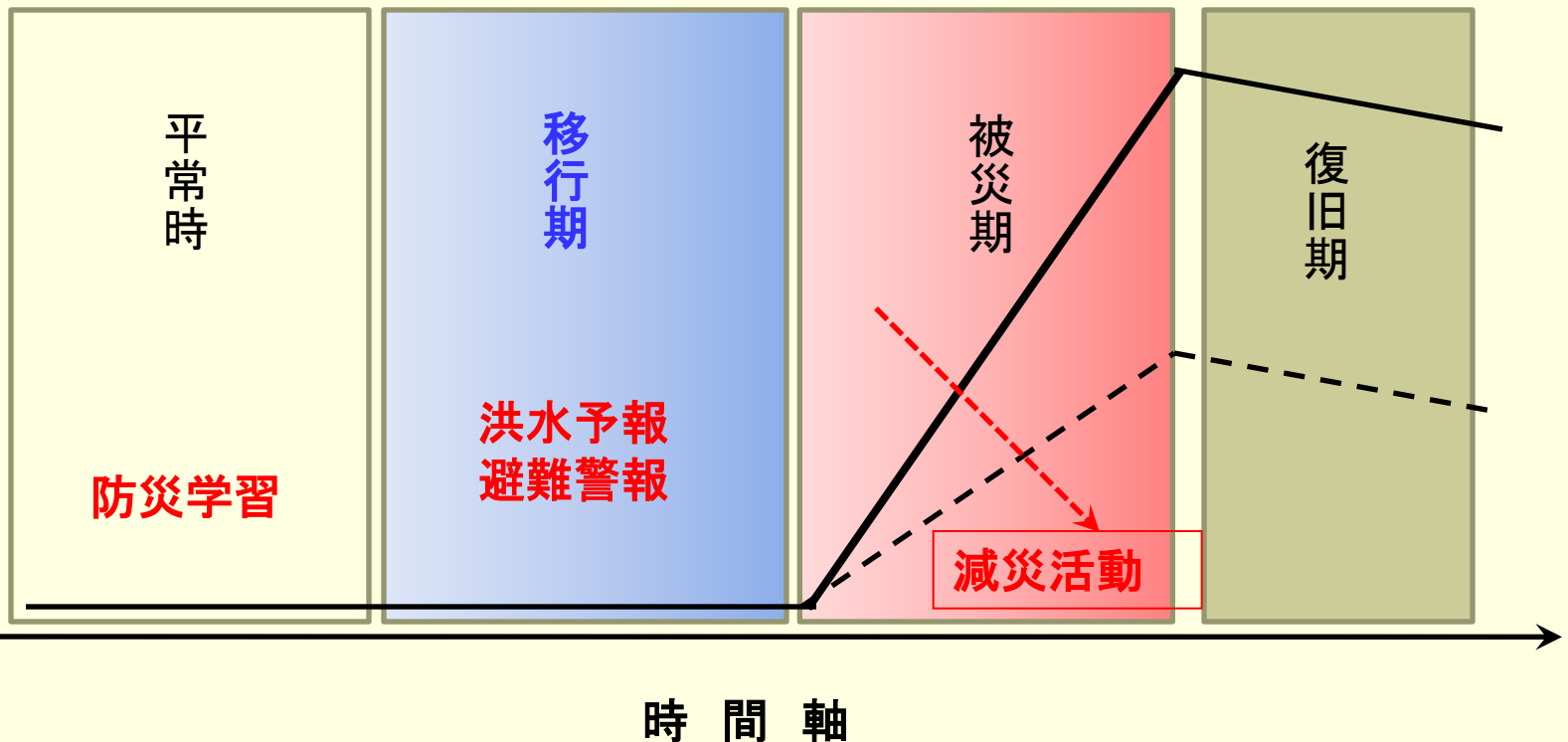
# リスクマネジメントの座標軸

## マクロとミクロのリスク管理の体系化



# ミクロ理論の応用

## 豪雨期間



\* 行動の選択がいかに被害を少なくするか、を心理学的・行動学的に明らかにする。

# マクロ理論の応用

---

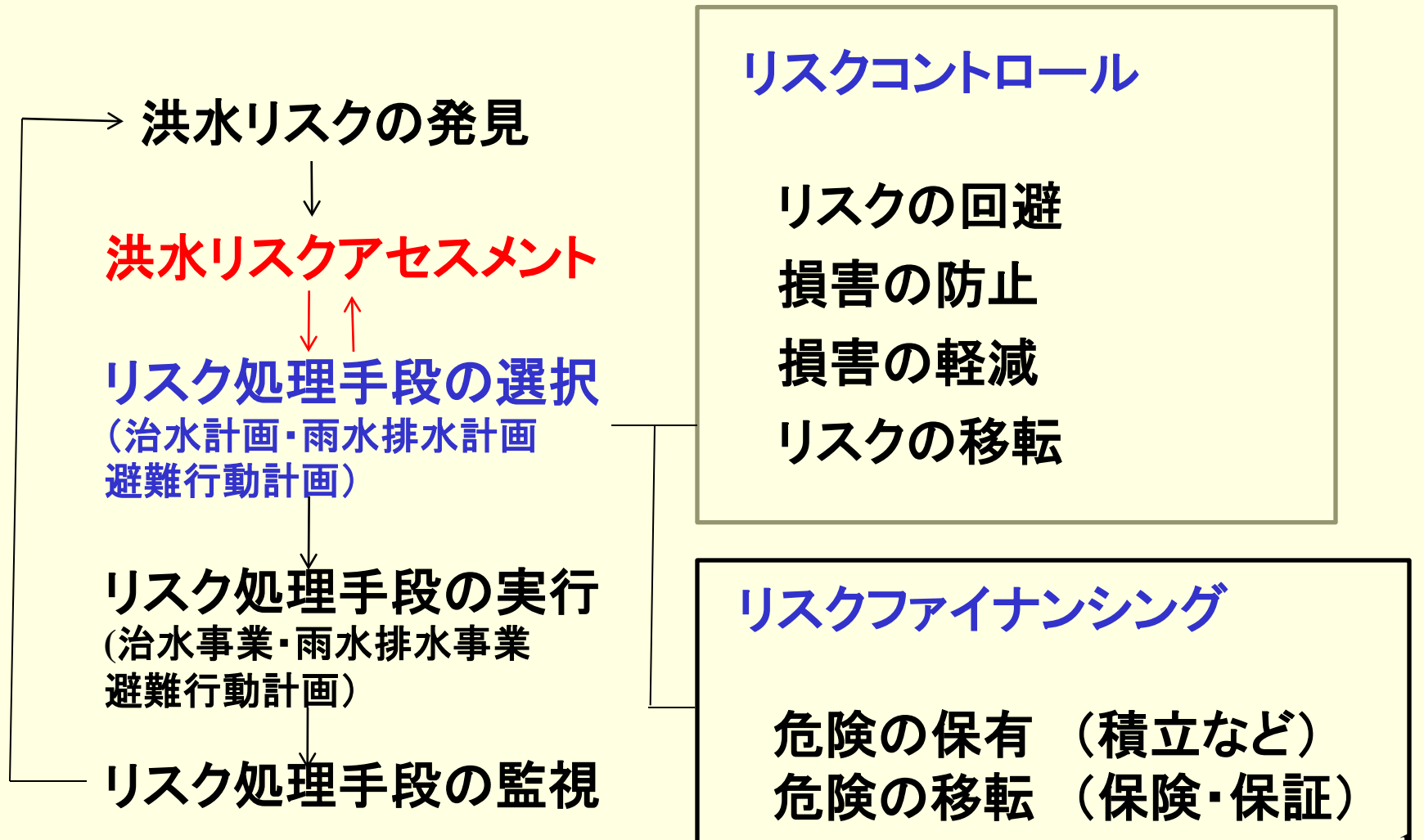
水害の社会的費用の定量的分析

雨水排水計画の意思決定支援

都市計画における洪水リスク評価

気候変動によるリスク評価

# 洪水リスクマネジメントの枠組み



# 洪水リスクアセスメント

洪水リスクアナリシス  
洪水リスクの定義

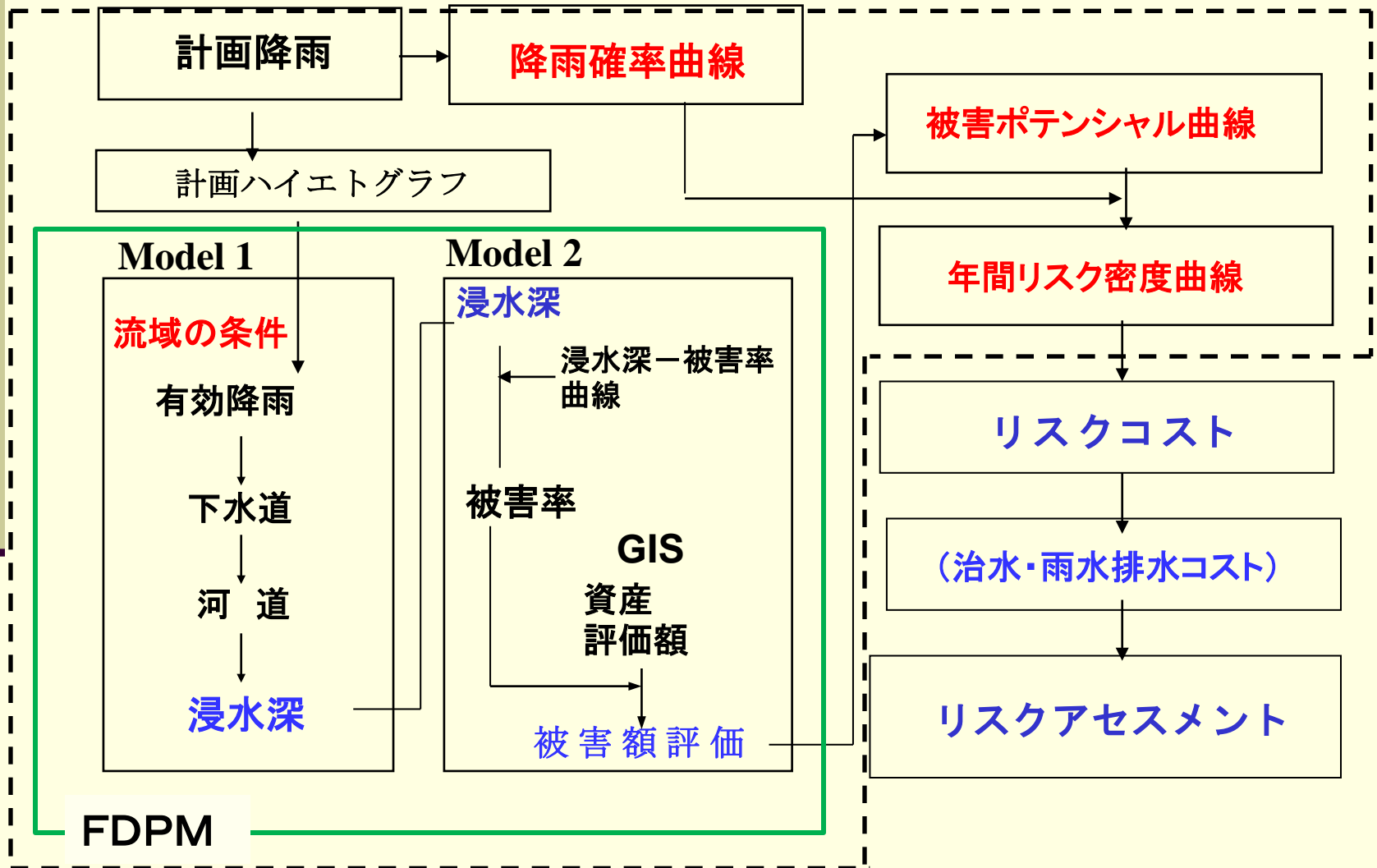
降雨確率曲線

被害ポテンシャル曲線

年間リスク密度曲線

# 洪水リスクアセスメントの枠組み

(Outline of Flood Risk Assessment)



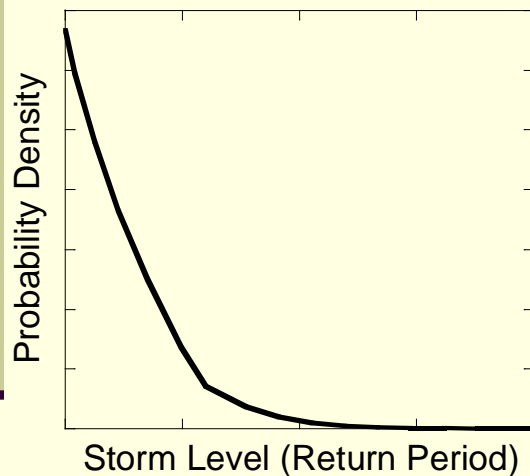


# 洪水リスクアナリシス

(Outline of Flood Risk Analysis)

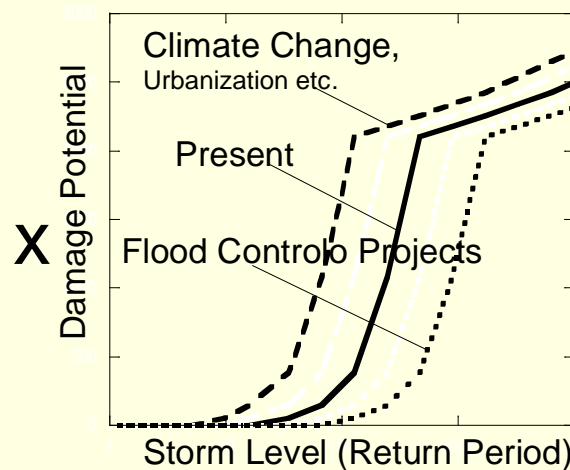
**Damage X Probability = Risk**

洪水リスクは、定義により、浸水被害ポテンシャルとその生起確率の積である。



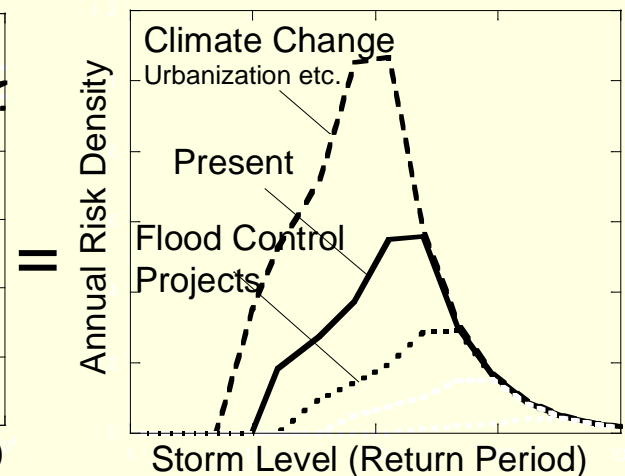
降雨確率曲線

Storm Probability Curve



被害ポテンシャル曲線

Damage Potential Curve



年間洪水リスク曲線

Risk Density Curve

# 降雨確率曲線

## Storm probability curve

Storm  
Curve

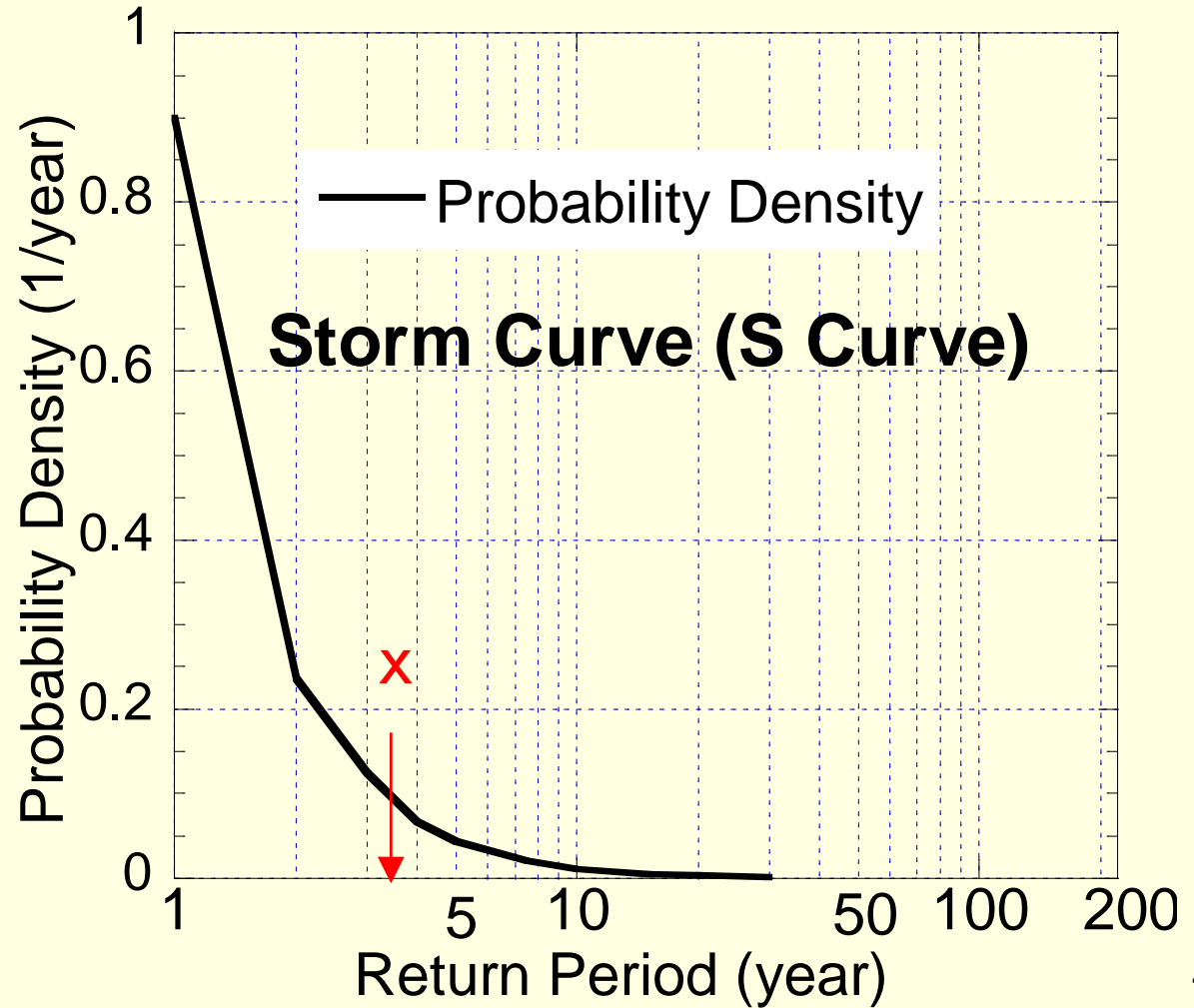
**S Curve**

Return period

3-year 50 mm/hr

15-year 75 mm/hr

70-year 100 mm/hr



# 浸水被害予測モデル

## FDPM (Flood Damage Prevention Model)

**Model 1** calculates flood inundation depths.

XPSWMM is used to simulate 1-D sewer and channel flows and 2-D inundation.

**Model 2** estimates flood inundation damages.

**Inundation-Damage Rate Curve**

Direct Damage = Asset Valuation of Building × Damage Rate

Valuated by the Tax Bureau of the  
Tokyo Metropolitan Government

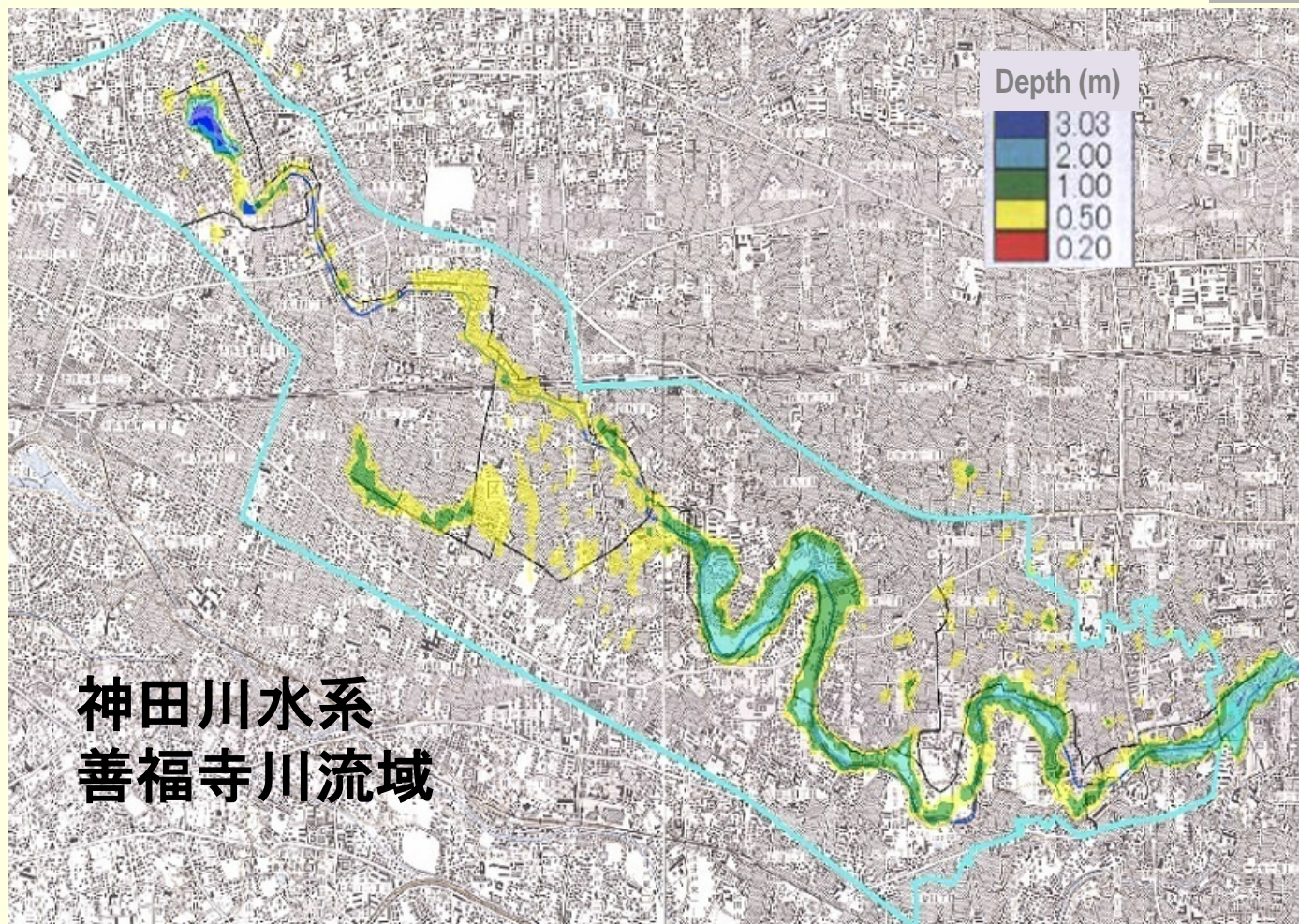
**GIS**

50m by 50m mesh

# XPSWMMによる浸水計算結果(1)

with GIS data superposed

by Model 1



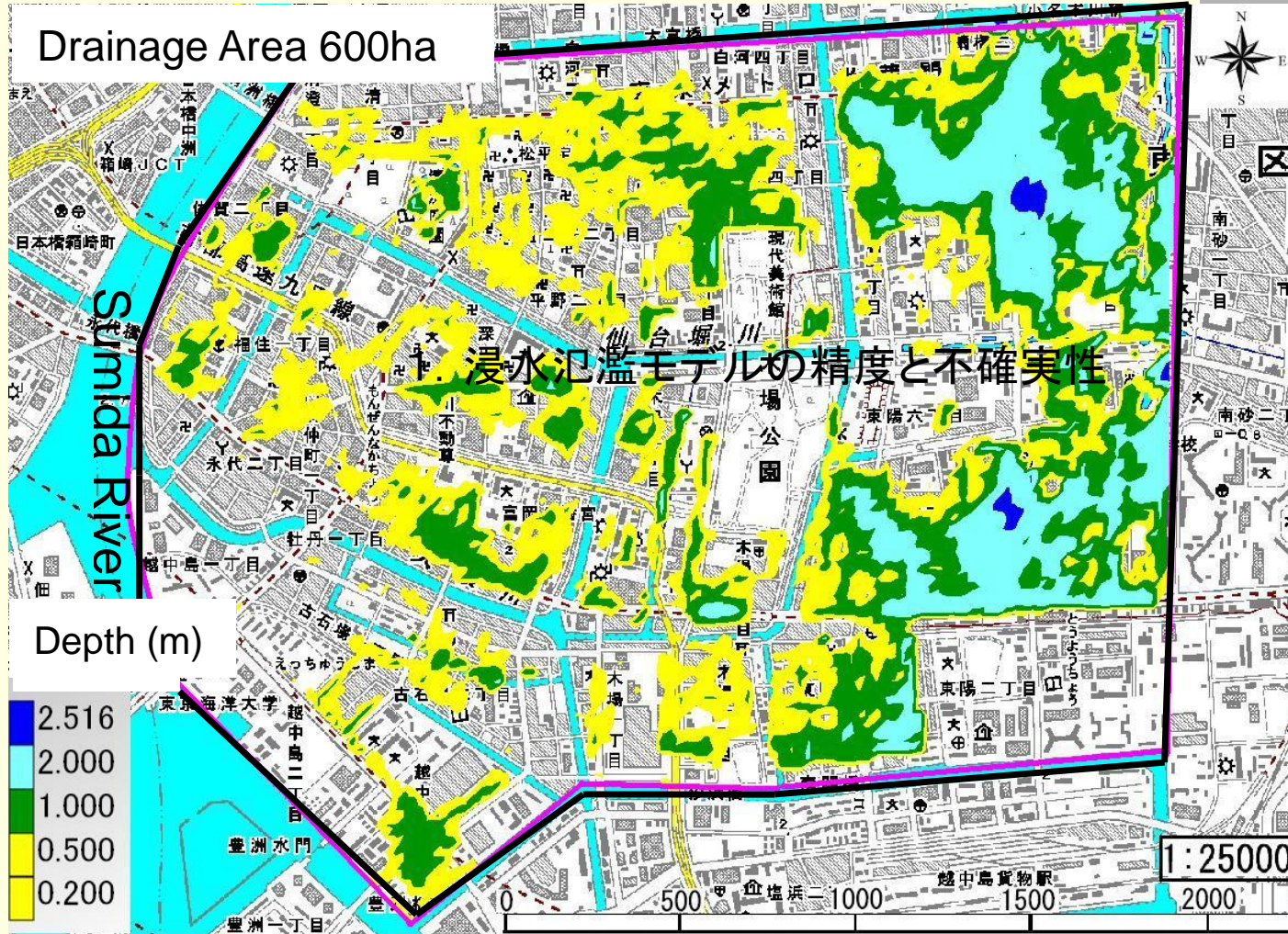
50m X 50m  
grid

**Plan A0**

under 70-year return period storm



# XPSWMMによる浸水計算結果(2) with GIS data superposed



50m X 50m  
grid

江東区  
木場排水区

under15-year return period storm

# 浸水深一被害率曲線

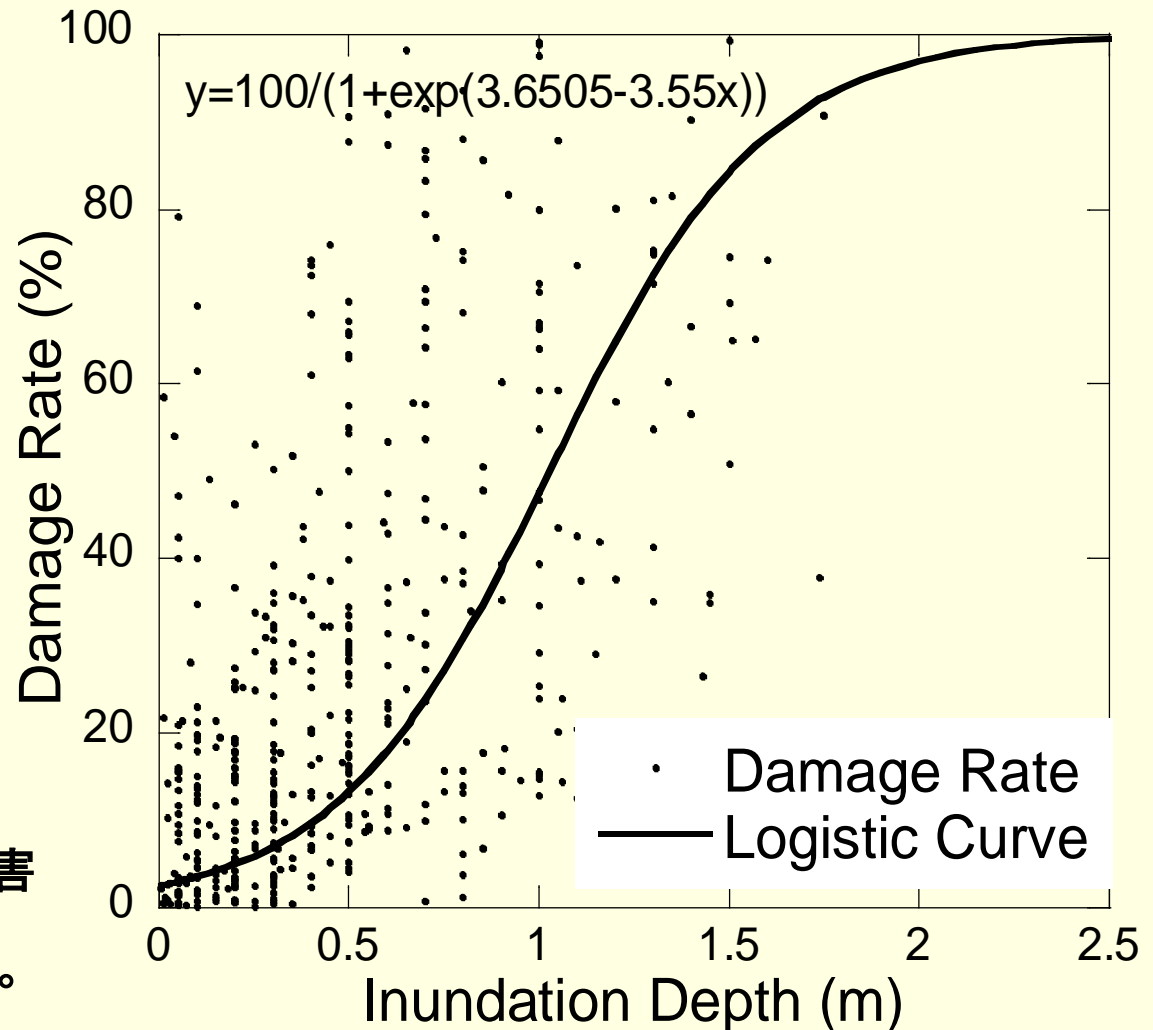
## Inundation depth-damage rate curve

住宅の家庭用品

ロジスティック曲線を  
当てはめた

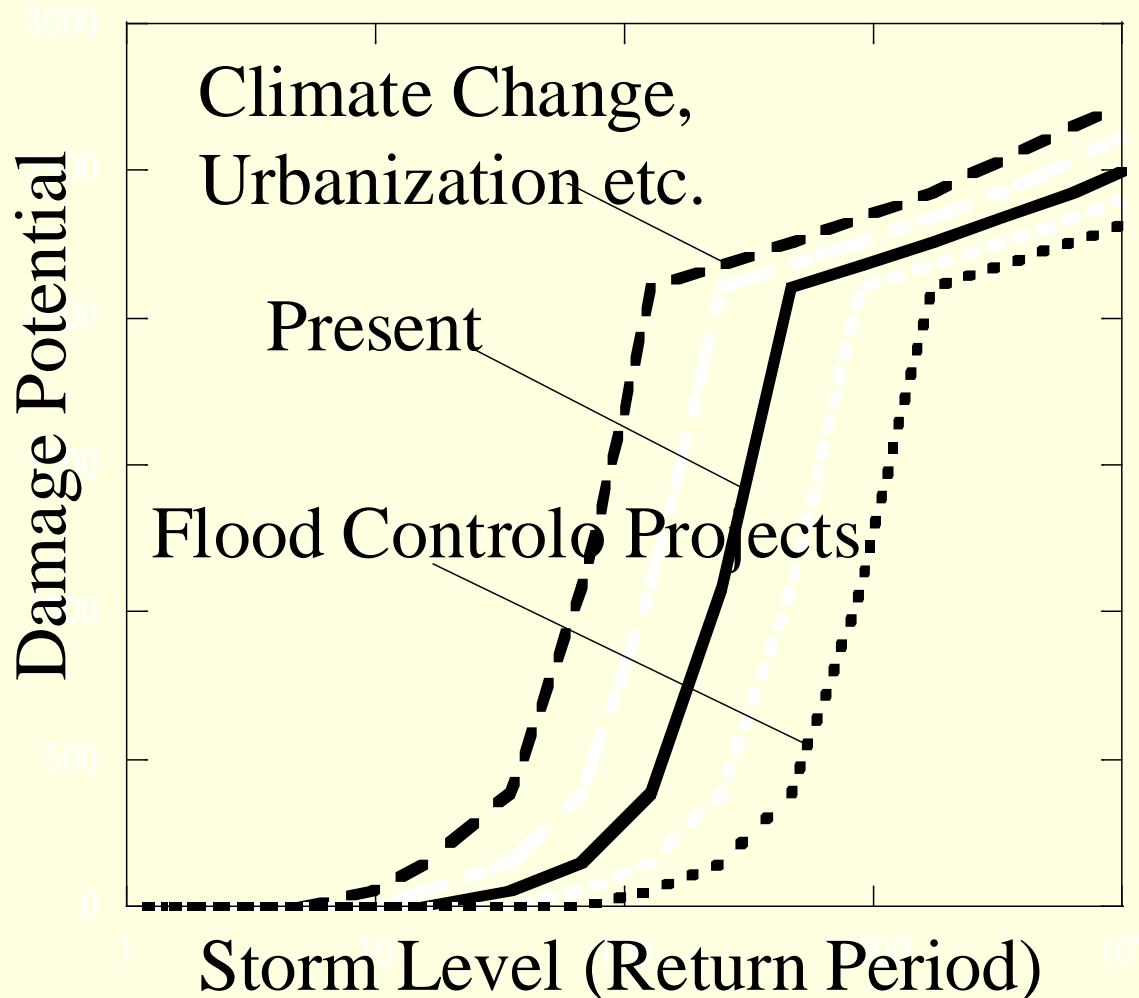
被害対象に対応して  
11種類の浸水深一  
被害率曲線を用いる

建設省土木研究所の浸水被害  
調査データ(1995)を用いた。



# 被害ポテンシャル曲線

## Damage Potential Curve



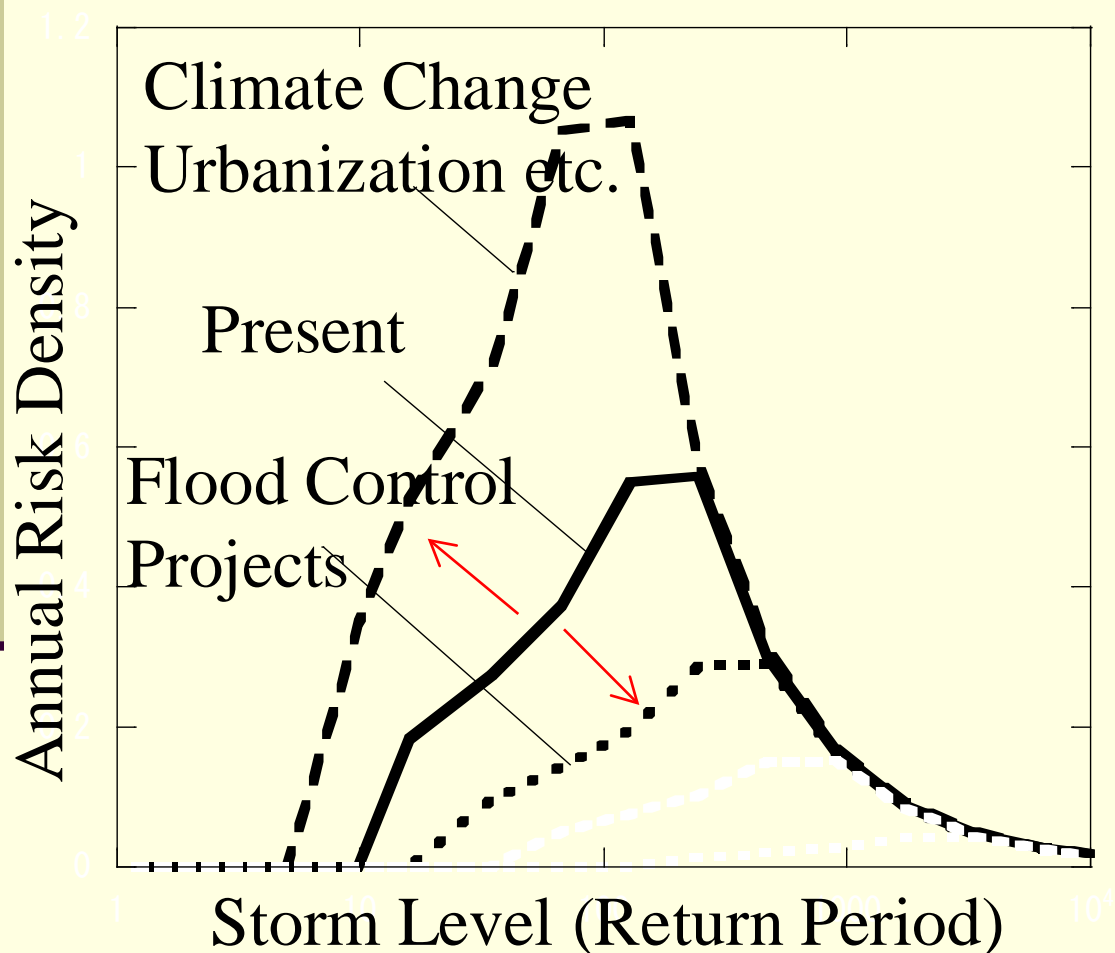
Model 1 (XPSWMM) によって計算された浸水深をもとに、

Model 2を用いて被害額を計算する。

Model 1には、さまざまな確率年 (Storm Level) の計画降雨を入力する。

# 年間リスク密度曲線

## Annual Risk Density Curve

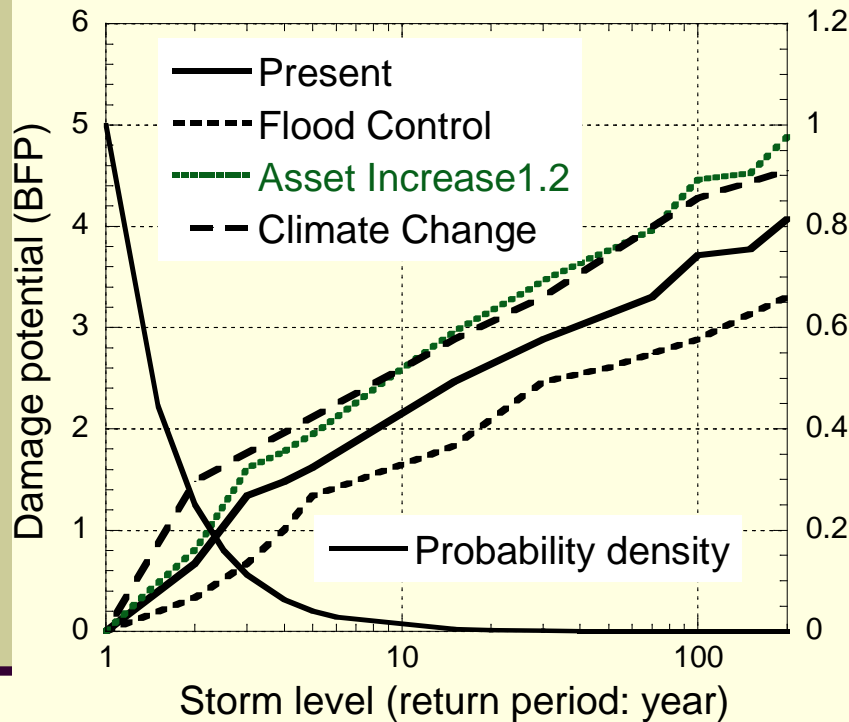


年間リスク密度曲線を積分することにより、年間洪水リスクコストを計算することができる。

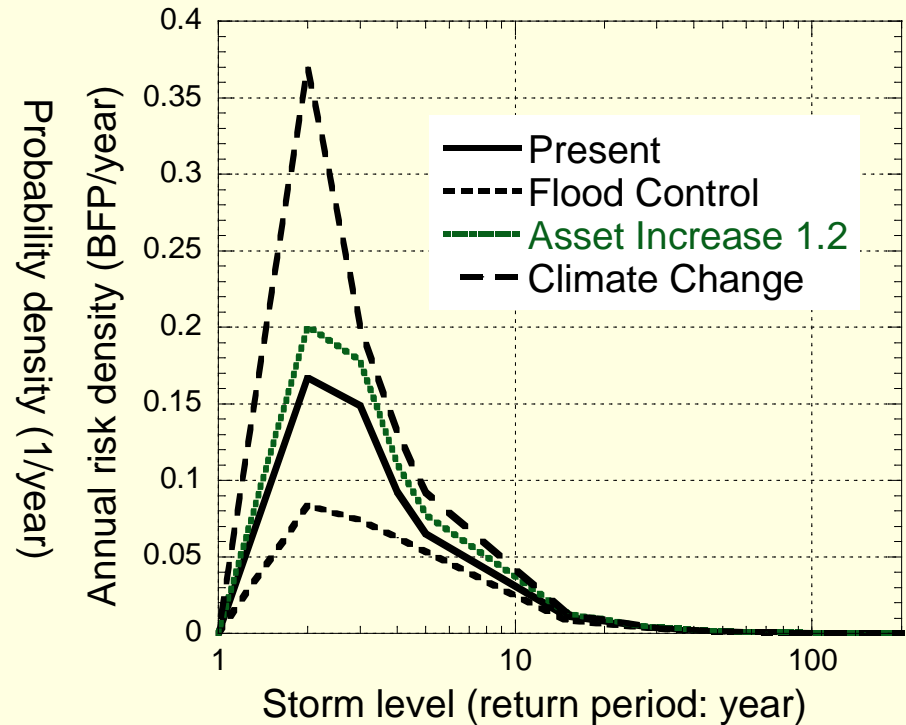
年間洪水リスクコストとは、1年間に支払わなければならない洪水被害額の期待値である。



# 洪水リスクアナリシスの計算例



被害ポテンシャル曲線



年間リスク密度曲線

(現在の状態 / 治水事業 / 資産の増加 / 気候変動)

東京都江東区 木場排水区の計算例

# 洪水リスクアセスメントの応用

最適計画水準の決定

気候変動による洪水リスクの評価

治水プロジェクトのリスク軽減効果

# リスクアセスメントの応用(1)

Application of Risk Assessment (1)

---

## 最適治水・雨水排水計画水準の決定

Optimal Flood Protection Level Decision

# 最適治水・雨水排水計画水準決定 のための 3つの曲線

## リスクコスト曲線

リスク密度曲線を積分して求める

## リスクコスト軽減曲線

現在のリスクコストと

計画水準によるリスクコストの差

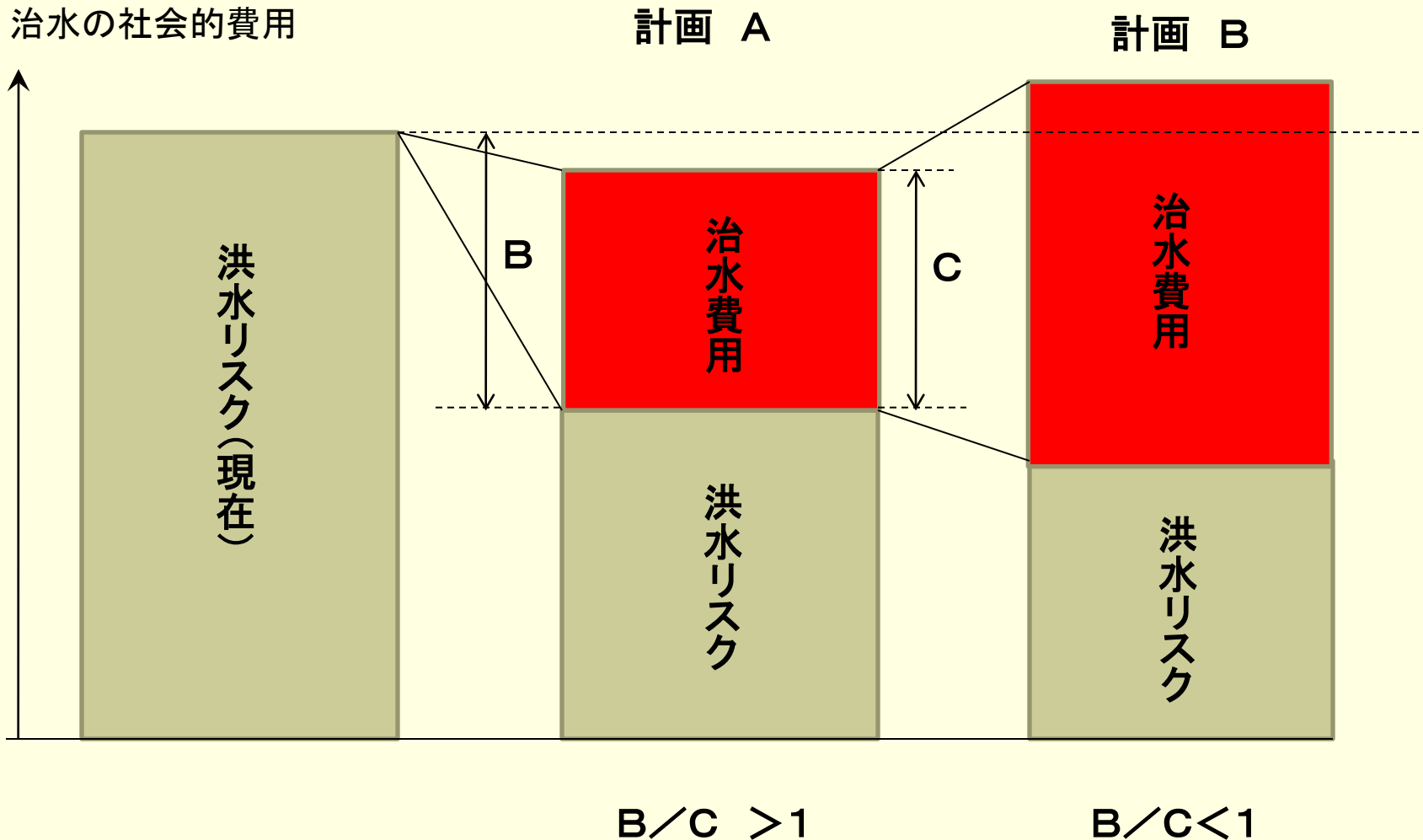
## 資本コスト曲線

治水計画水準に対応するコスト

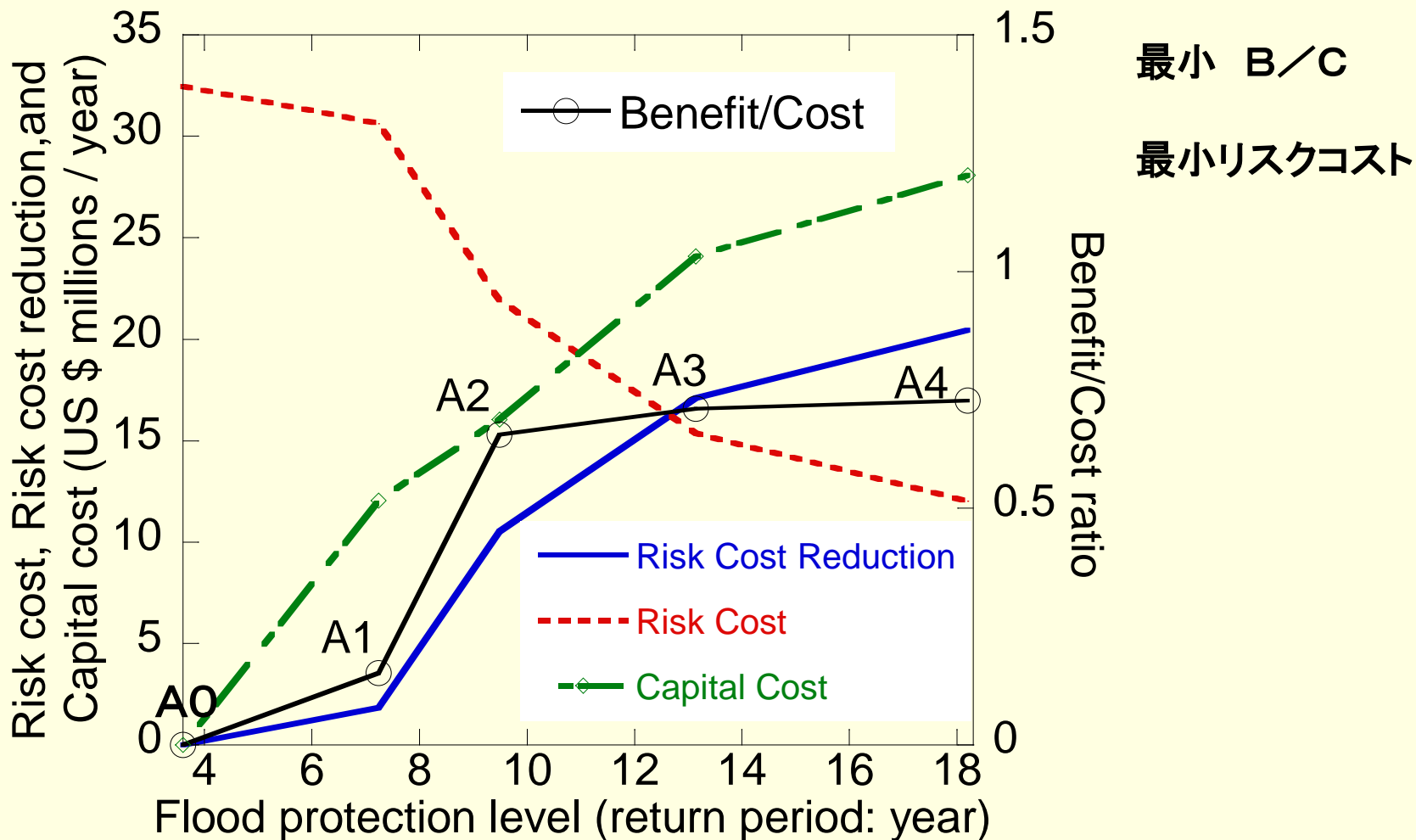
\* リスクコストは、水害のための年平均のコスト。資本コストと同じ座標軸で評価できる。

# 治水の社会的費用の検討

\* 年間ベースで、治水費用+補償費用 を検討する。



# 最適治水計画水準決定のための 費用－便益分析（洪水調節池）



# リスクアセスメントの応用(2)

Application of Risk Assessment (2)

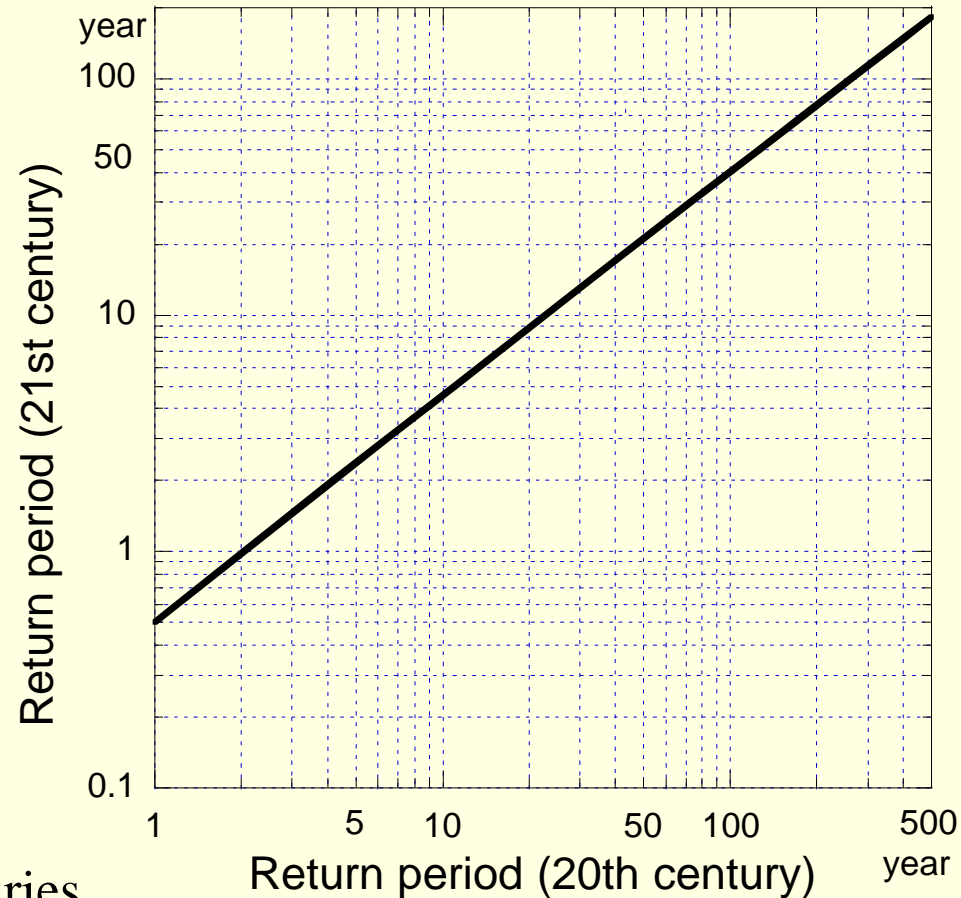
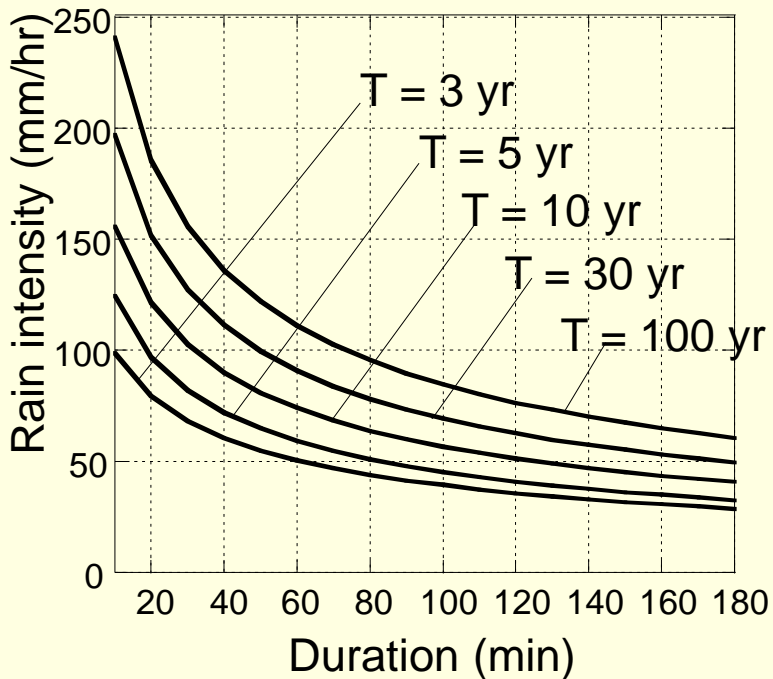
---

気候変動による治水・雨水排水リスクの評価

Risk Assessment for Global Climate Change

# 気候変動の評価=IDFカーブの変化

## Change in Storm Characteristics owing to Global Warming

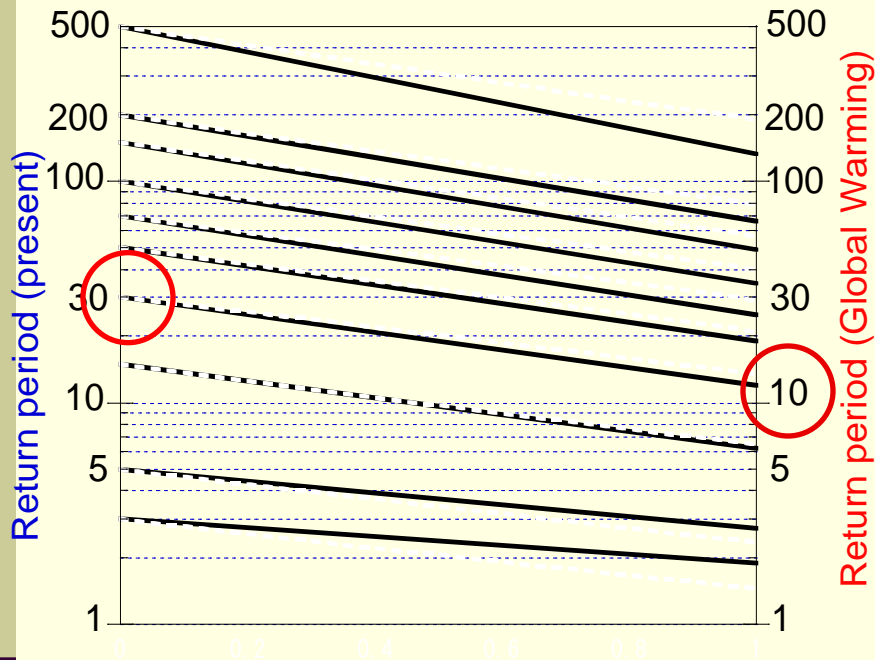


Return Periods for 20th and 21st Centuries

(Saita 2005 and Oki 2006)

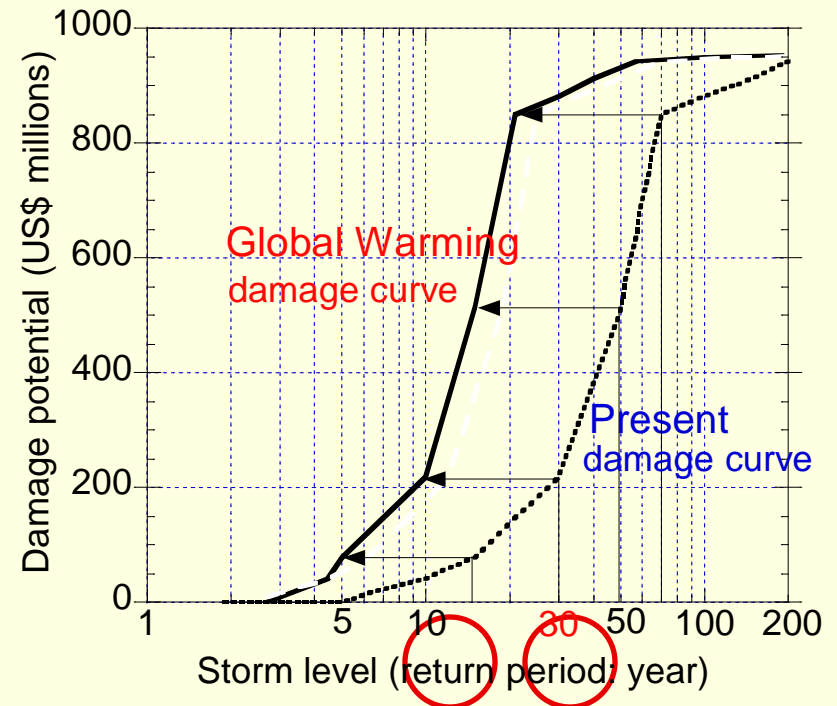


# Return Period Shift (RPS) Method

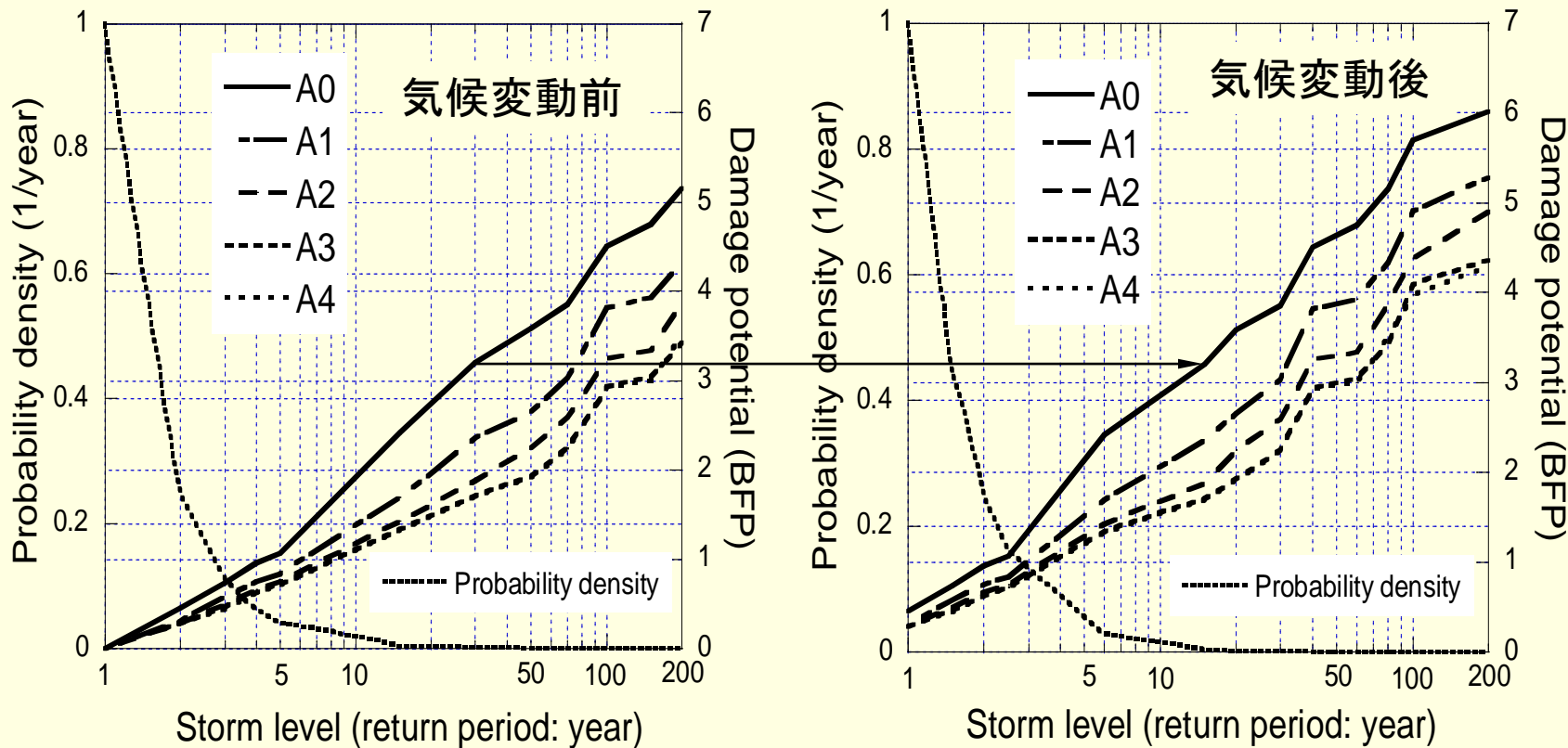


確率年30年の降雨は、気候変動後は確率年10年の降雨に相当する。

気候変動前の確率年30年の浸水被害は、気候変動後の確率年10年の浸水被害に相当する。



# 気候変動による被害ポテンシャル 曲線のシフト (RPS methodの適用)



Storm Levels: 1, 2, 3, 4, 5, 15, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 500-year return period  
 The two damage potential curves for the 20th and 21st centuries.

# リスクアセスメントの応用(3)

Application of Risk Assessment (3)

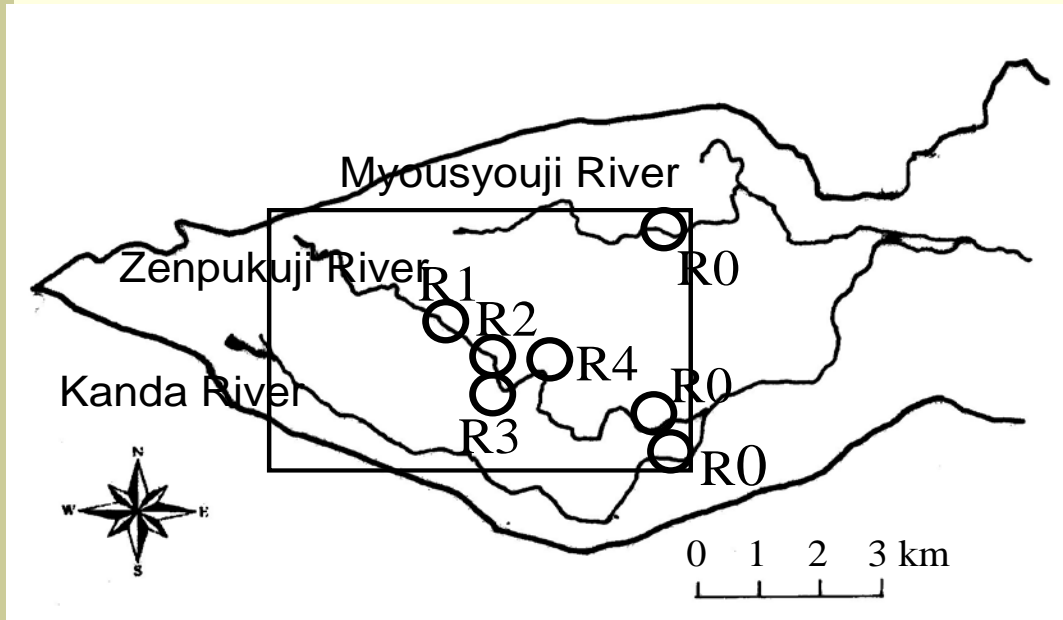
---

治水・雨水排水プロジェクトのリスクの評価

Risk assessment for Flood Control projects

# 治水プロジェクトのリスクアセスメント

## Risk Assessment for Flood Control Projects



R0: Loop-7 Reservoir completed in 2006.

洪水調節池を建設する

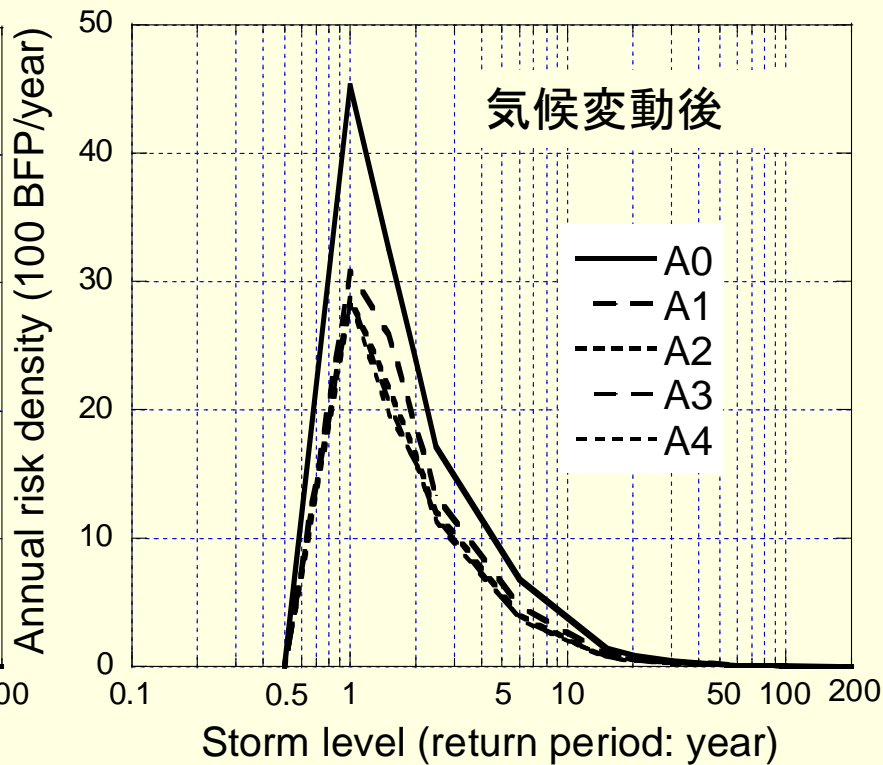
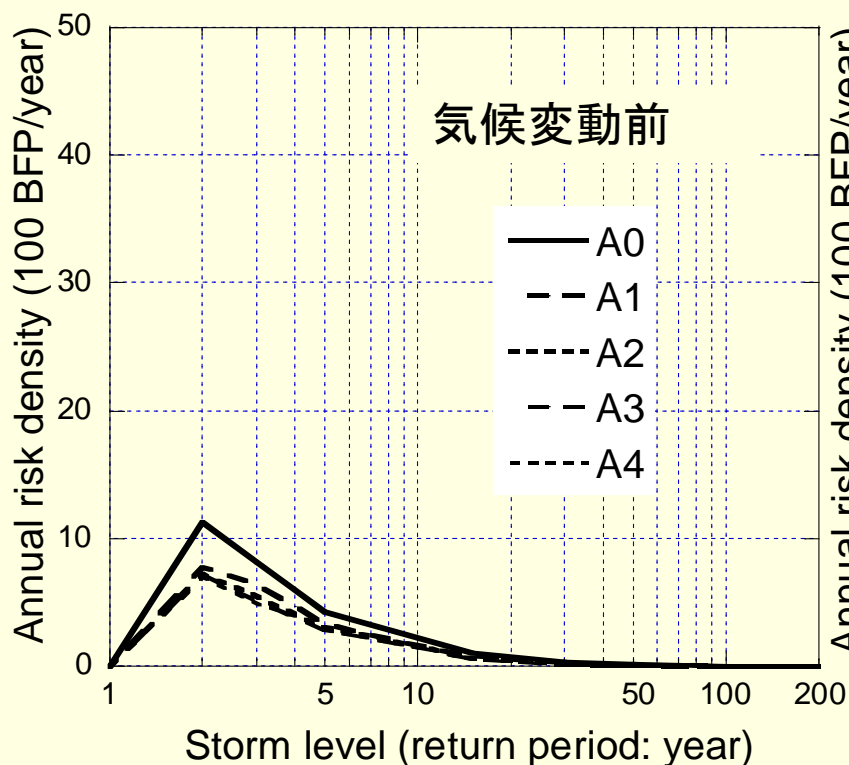
A1からA4の治水計画

## Flood Control Plans

Hypothetical Flood Control Reservoirs: **R1,R2,R3,R4**

Plan	Flood control reservoirs				
	R0	R1	R2	R3	R4
A0	✓				
A1	✓	✓			
A2	✓	✓	✓		
A3	✓	✓	✓	✓	
A4	✓	✓	✓	✓	✓

# 気候変動の前後におけるリスク密度曲線の変化 (Annual Risk Density Curve)

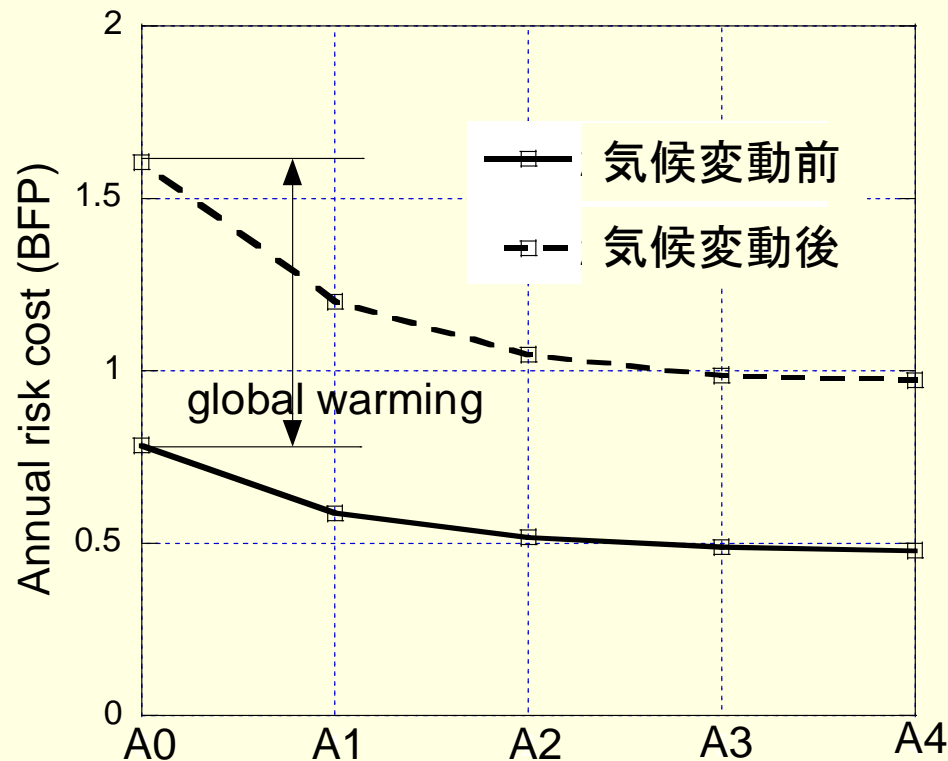


Annual risk density curve for global warming.

Global warming causes a marked increase not only in flood damage potential but also in flood risk. The peaks move to the lower return periods .

# 気候変動と治水プロジェクトの効果

## Annual Risk Costs considering Climate Change



洪水調節池が増加するとリスクコストは減少する。  
しかし、気候変動によってその効果は減殺される。

To evaluate future flood risk, we have to consider not only flood control projects but also global climate change.

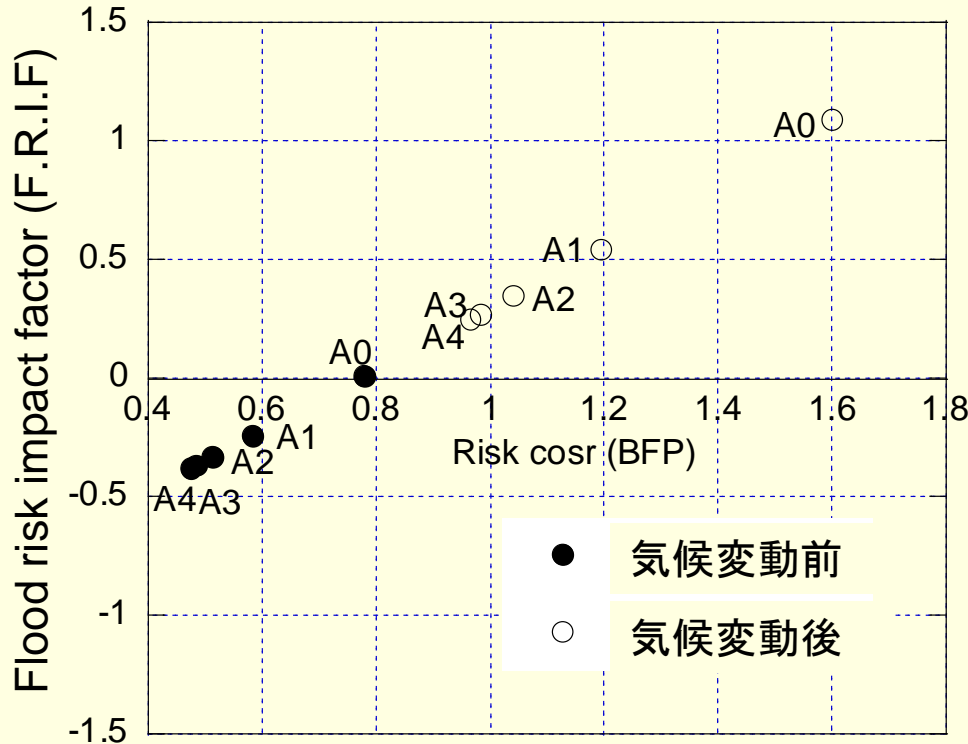
# 洪水リスクの評価

洪水リスク・インパクトファクター

洪水リスク・ダイヤグラム

# 洪水リスク・インパクト・ファクター

## Flood Risk Impact Factor (F.R.I.F)



$$F.R.I.P = (RC - RC_0) / RC_0$$

$RC_0$  : 現在のリスクコスト

現在のF.R.I.Fは0である。

気候変動により、F.R.I.Fは1.1に増加する。つまり、リスクコストは2倍になる。

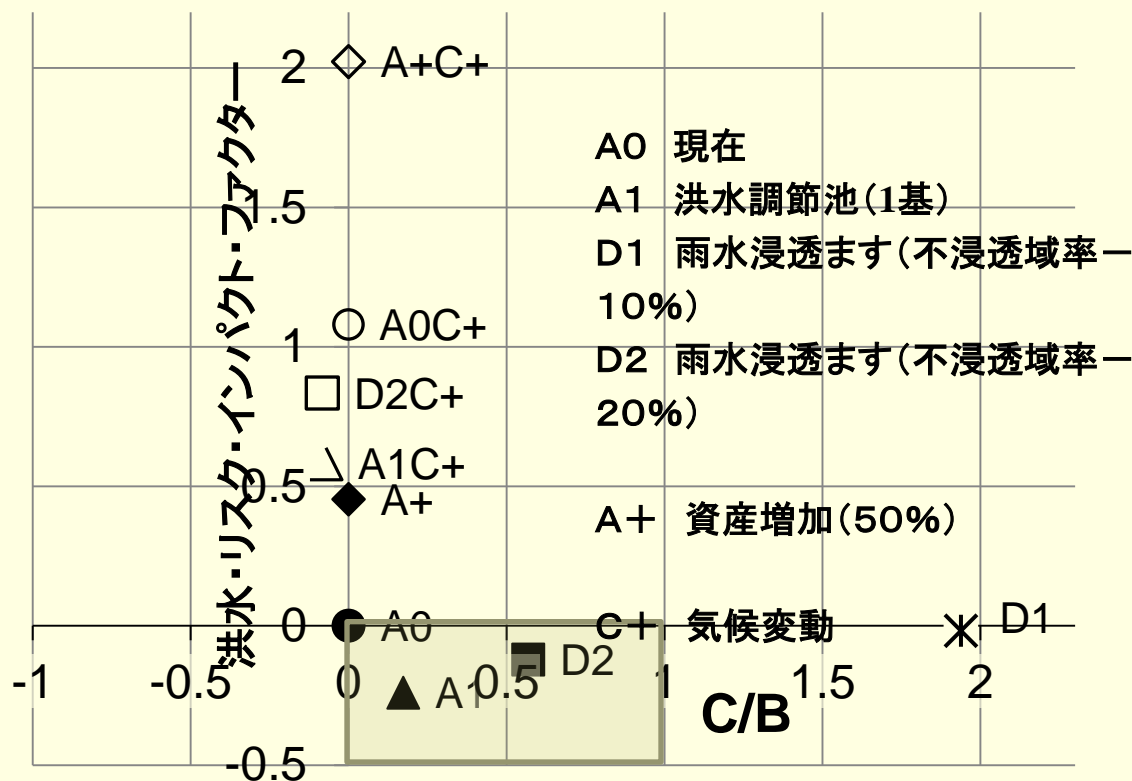
治水事業は、F.R.I.Fを負の値にする。

With global warming, the F.R.I.P value changes to the positive. The increased risk from global warming on the flood control infrastructure could overbalance the risk-reducing effect of flood control projects.



# 洪水リスク・ダイヤグラム

## Flood Risk Diagram



洪水リスクの変動要因  
によるリスク変化 と

洪水リスク低減対策による  
リスク低減 を

ひとつの図によって表現

縦軸は、洪水リスク・イン  
パクトファクターを表示

横軸は、治水事業などの  
C/Bを表示

洪水リスクアセスメントの結果をひとつの図によって総合的に表現する。

# 洪水リスクの不確実性

洪水リスク・インパクトファクター

洪水リスク・ダイヤグラム

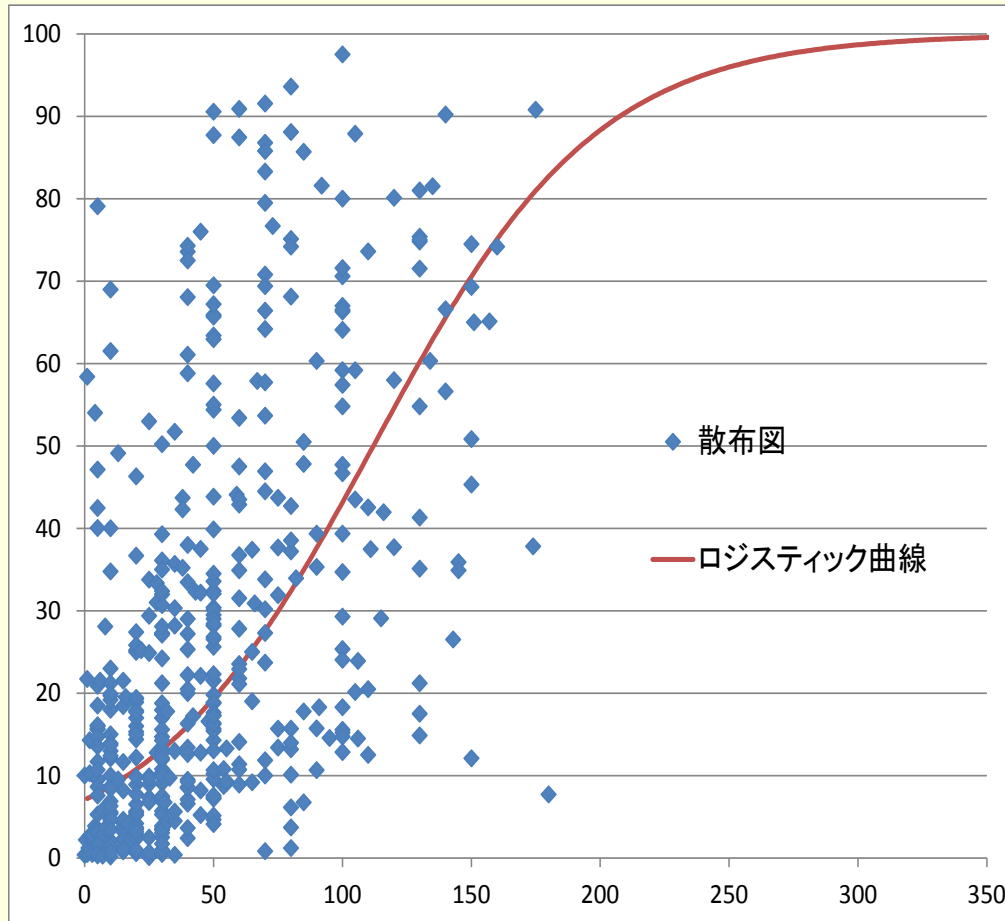
# 不確実性 Uncertainty

私たちが将来起こることを予測しようとするとき、正確に予測できない原因として二つの要素がある。変動性と不確実性である。変動性とは、自然現象が本来的にもっているランダムな変動をさす。

不確実性は、不十分な情報、不十分な知識による不確かさである。

治水計画を意思決定のプロセスと考えると、想定する計画降雨、流出解析モデルのパラメータ、計算に使用する経験式(水位—流量曲線など)などは不確実性をもっており、計算した洪水流量、洪水位のみならず、さらに事業評価のB/Cで用いる年平均被害額期待値(EAD)の低減にいたっては不確実性を考慮しないわけにはいかない。

# 被害算定の不確実性



## 家庭用品の 浸水深－被害率曲線

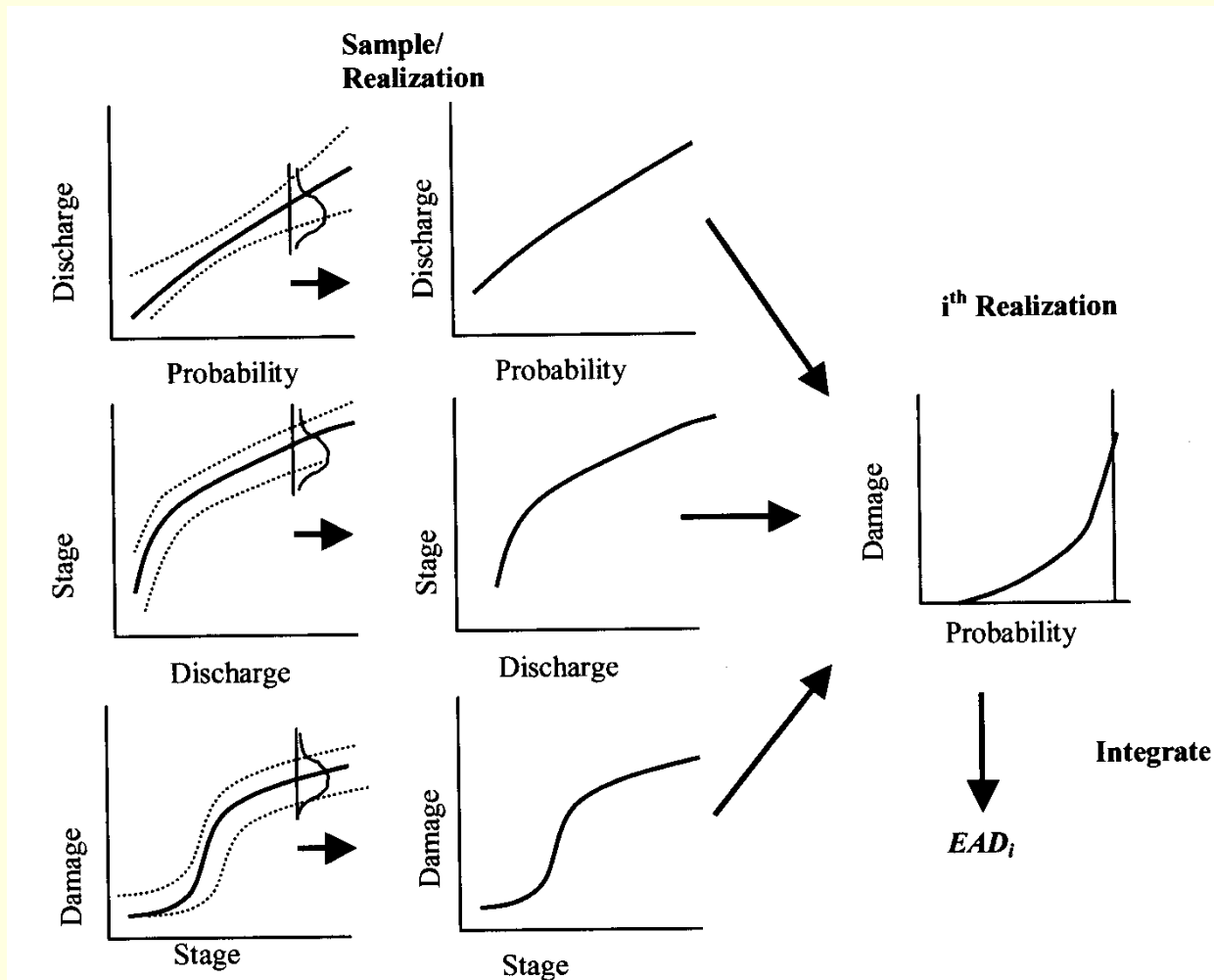
洪水リスクアセスメントにおいて被害額を計算する。

被害額の計算では、左の浸水深－被害率曲線を用いるが、あまりにもバラツキが大きい。

1本の曲線で洪水リスクを計算し、B/Cなどの評価を行うことにはリスクがある。

不確実性を定量化する方法はないか？

# モンテ・カルロ・シミュレーションという方法



計算に用いる曲線は不確実性を含むものであるため、

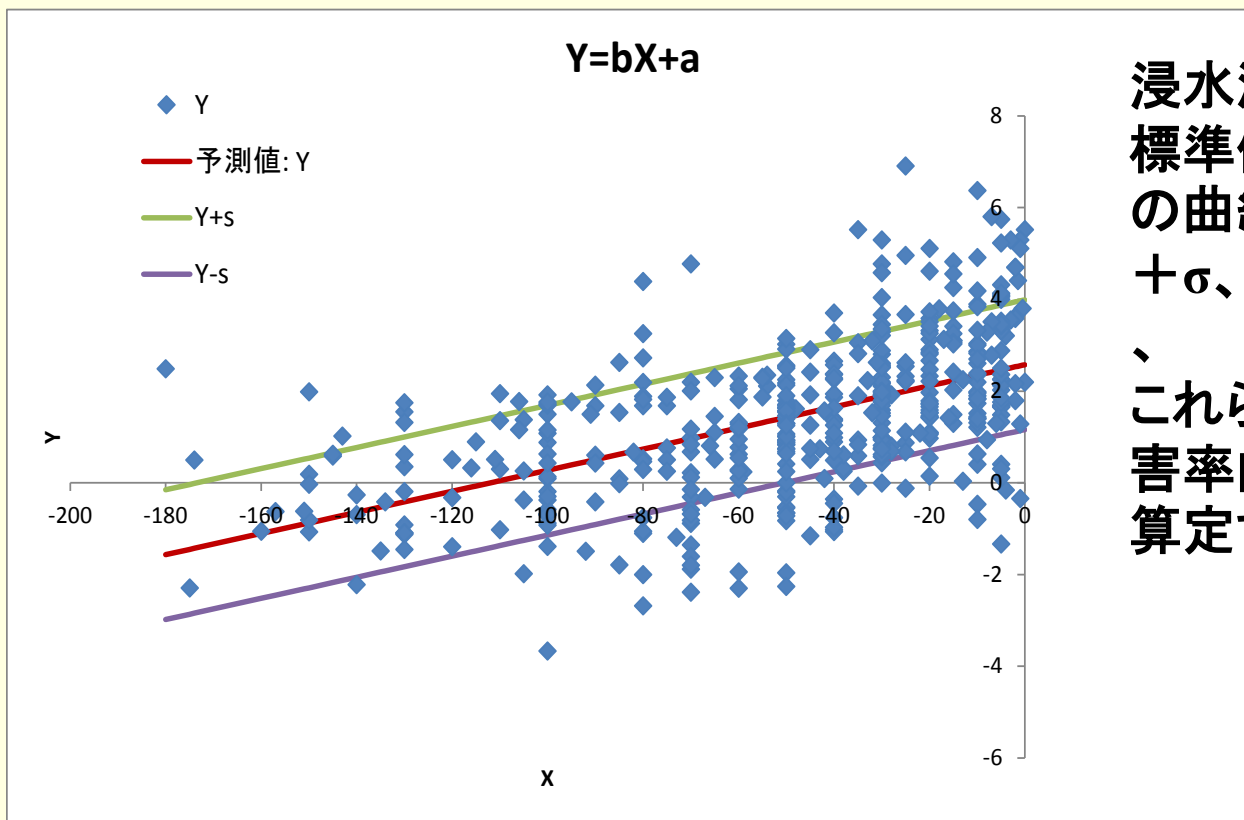
各曲線のパラメータの値を確率分布として表現する。

乱数を発生させ、それらの確率分布を反映したパラメータを選択する。

モンテ・カルロ・シミュレーションにより、試行を繰り返し、年平均被害額期待値 (EAD) を求める。

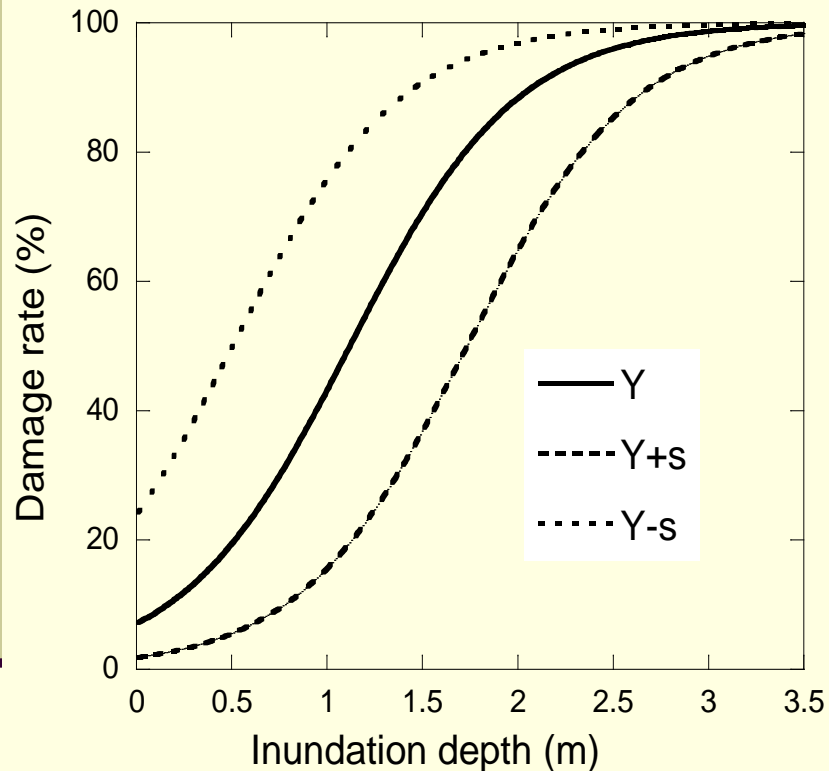
# 都市浸水氾濫においては？

都市の浸水氾濫は2次元の浸水深と多数の物件の被害を扱うため、モンテ・カルロ・シミュレーションは直接適用できない。そこで、ひとつの方法として..

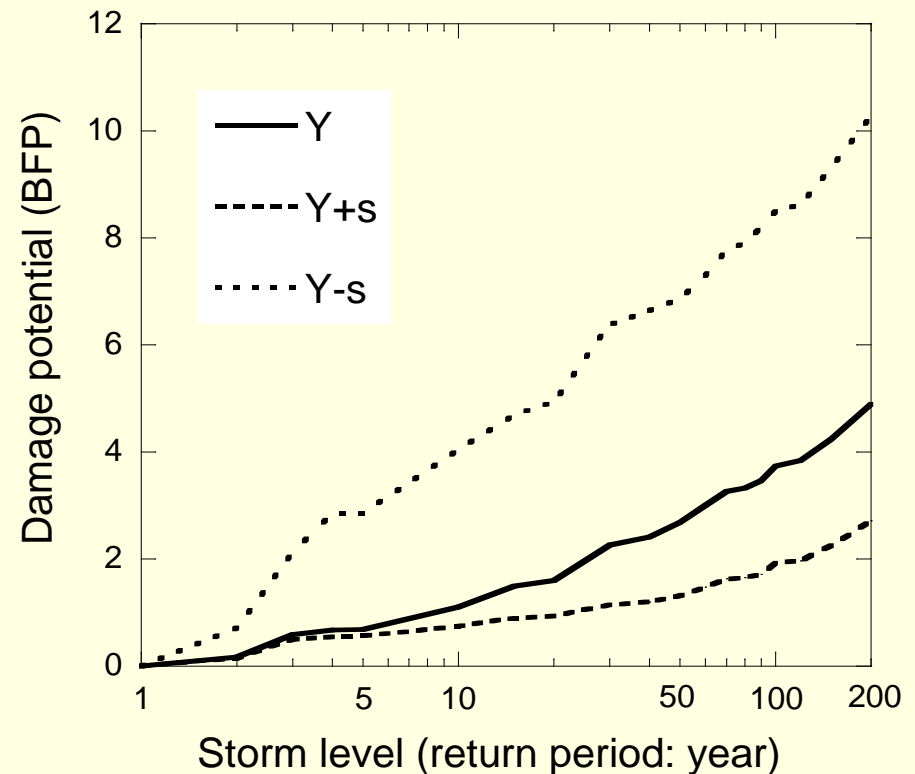


浸水深－被害率曲線の標準偏差を求め、平均値の曲線とともに、 $+\sigma$ 、 $-\sigma$ の曲線も求めて、これら3本の浸水深－被害率曲線で浸水被害を算定する。

# 不確実性を考慮した洪水リスクへの試み



浸水深－被害率曲線



被害ポテンシャル曲線

浸水深－被害率曲線の不確実性を考慮し、決定論ではなく確率論的に洪水リスクを算定する手法の開発が今後の課題である。

# 最後に ～今後の課題

---

1. 計画降雨の設定（極値としての扱い）
2. インフラ被害の評価
3. 気候変動による豪雨変動予測
4. 洪水時の住民行動に関する研究
5. 浸水被害の算定方法の適正化
6. 洪水リスク評価における不確実性