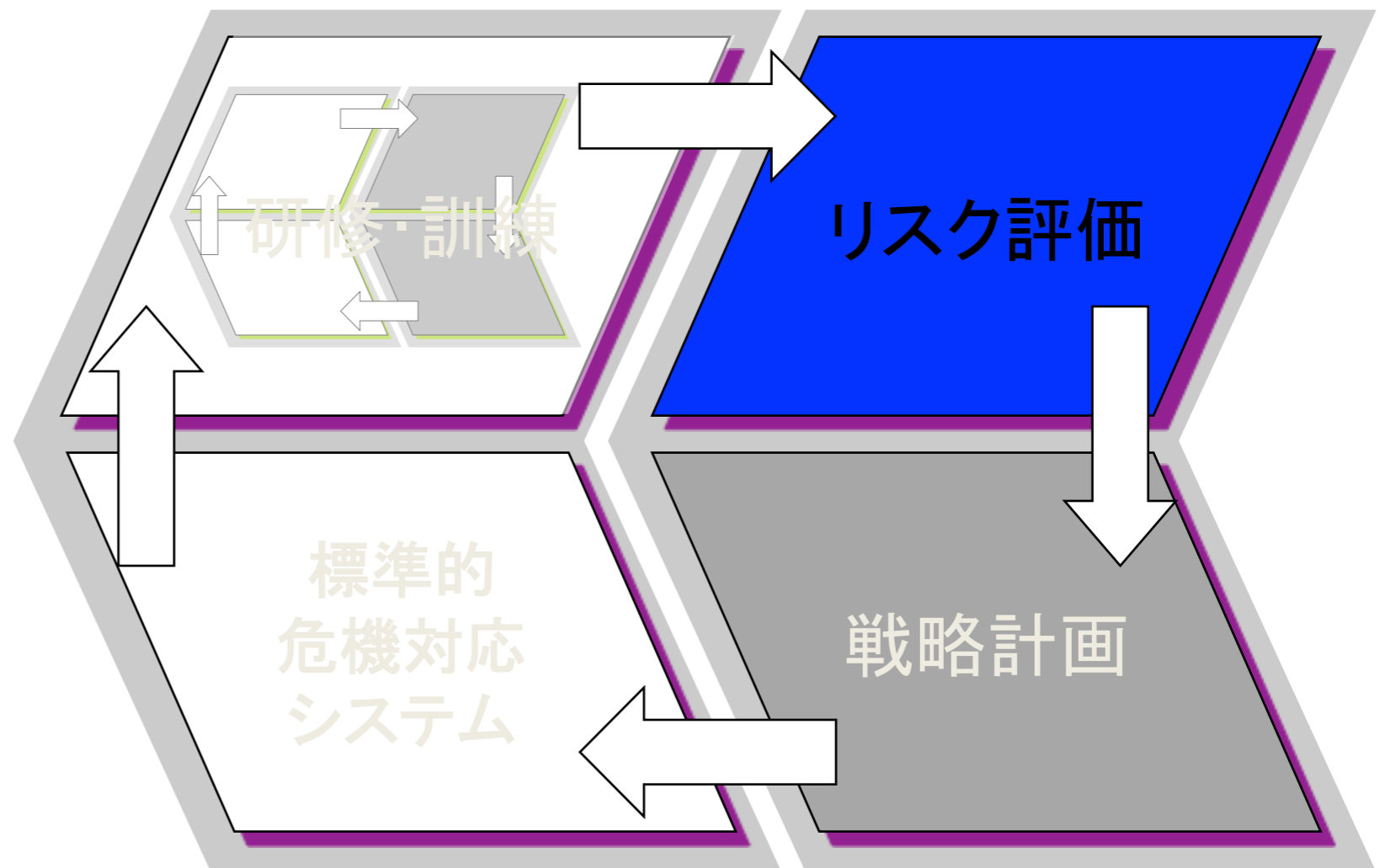


# 危機管理特論

---

2010年5月26日

# 第6回 リスクの定量化



# 災害リスク

---

- 災害はいつ発生するのか
- 組織の施設に被害が発生するのか
- 施設周辺のライフラインに被害が発生するのか
- 従業員に被害が発生するのか
- 協力会社も被災するのか
- 交通機関は大丈夫か
- 操業を中断しなければならなくなるのか
- 近隣へ迷惑をかけないか
- 売り上げが減るのか
- 原価が上昇するのか

# 不確定性事象としてのリスク

---

- リスクの本質は不確定性
  - リスクは未来の出来事
    - 起こるかもしれないし、起こらないかもしれない
    - 発生するまで、確かなことは分からない
    - この不確定性は完全には取り去ることはできない
  - リスクを管理する：常に不確定性を取り扱う
    - 不確定性を限定（低減）する
      - リスクの発生確率を明確にする
      - リスクが現実化した場合の影響や代替案を理解する
      - リスクを引き起こすもの、発生確率や影響度に影響を及ぼしている要因が何かを特定する



# 本日の内容

---

- $R$  (リスク) =  $P$  (発生確率)  $\times$   $C$  (影響度)
  - リスクを定量化するには確率を用いて不確定性を表現する
    - 確率を用いて不確定性を表現する方法
  - リスクを定量化するには影響度を何にするかを定める
    - 影響度の決定方法
- 複数の事象から構成されるリスク
  - 複数のリスクで構成される全体のリスクを定量化する方法

# リスクの定量的評価

定性的評価	定量的評価
性質に着目して、 カテゴリー化し、 現象を表現	数量に着目し、 数値化し、 現象を表現
曖昧性が残るが、 評価は容易	明確になるが、 評価は容易でない

# 不確定性要素を数値化する

---

- あるプロジェクトの中でシステム開発チームは重要なシステムの開発を依頼される。プロジェクトリーダーに対し、システム開発チームは、過去の開発経験からシステムの納期について以下のように述べた。
  - 「2ヶ月以内にシステムが完成する見込みはない。システムが完成する可能性がもっとも高いのは5ヶ月後である。半年後までであれば、可能性は5割を超え、遅くとも1年後にはほぼ確実にシステムは完成する。」
- いったいいいつ頃をシステム開発の完了日としてプロジェクト全体を進めればいいのか。

# 不確定性の内容

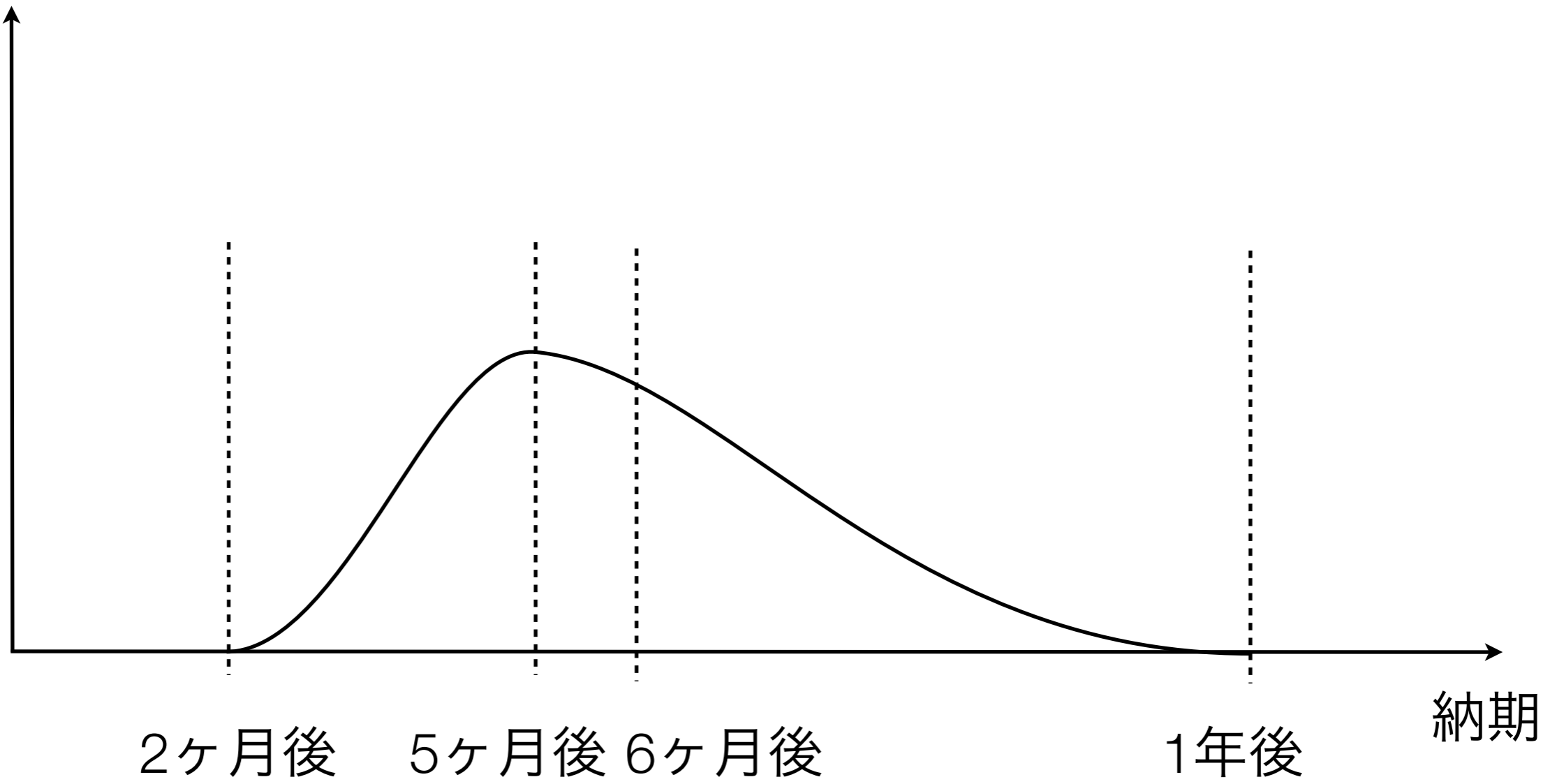
---

- 2ヶ月後までにシステムが完成する確率 = ほぼゼロ
- 5ヶ月後にシステムが完成する確率 = もっとも高い
- 半年後までにシステムが完成する確率 = 50%以上
- 1年後までにシステムが完成する確率 = ほぼ100%

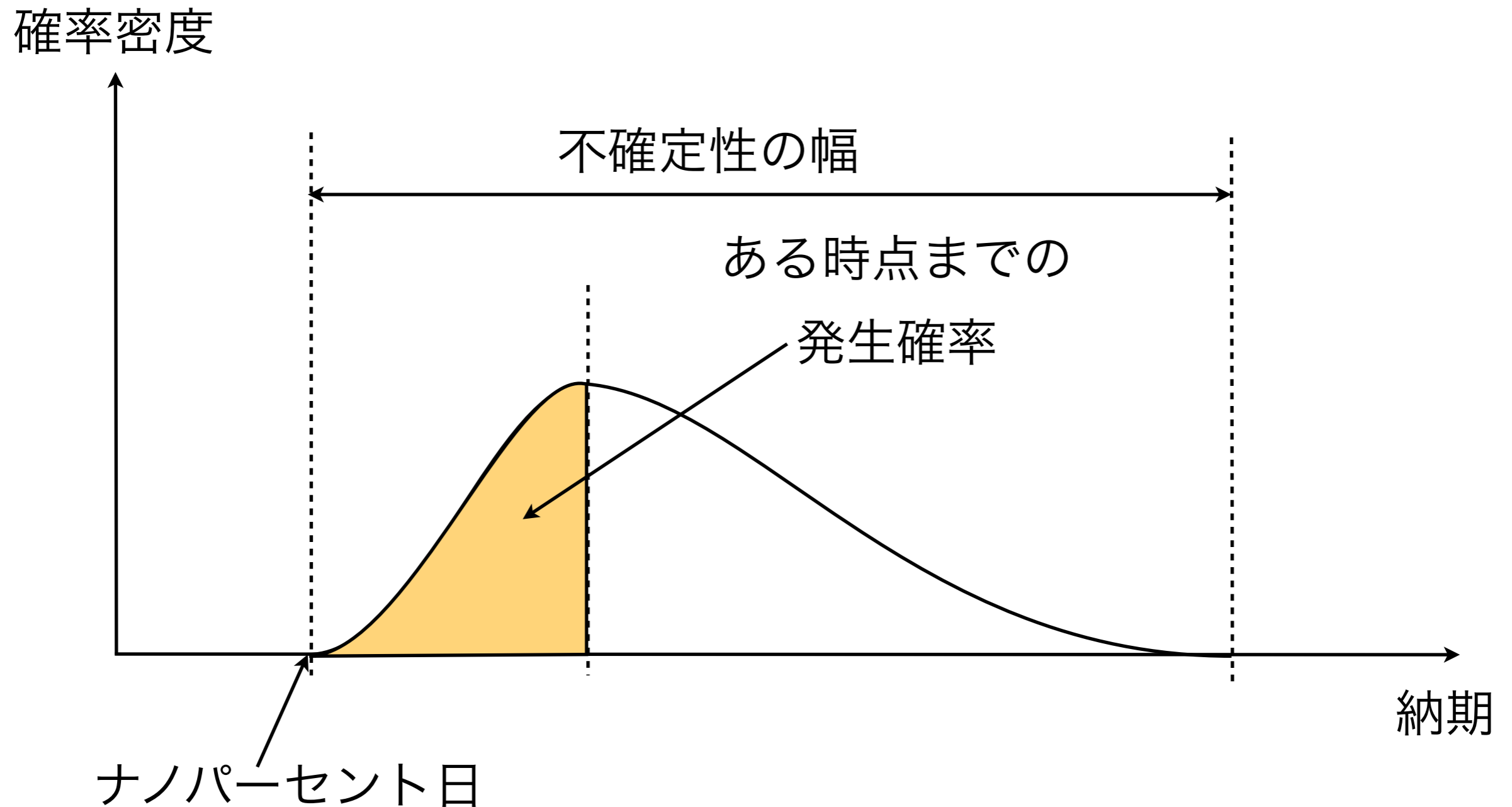
# 不確定性の内容

---

確率密度



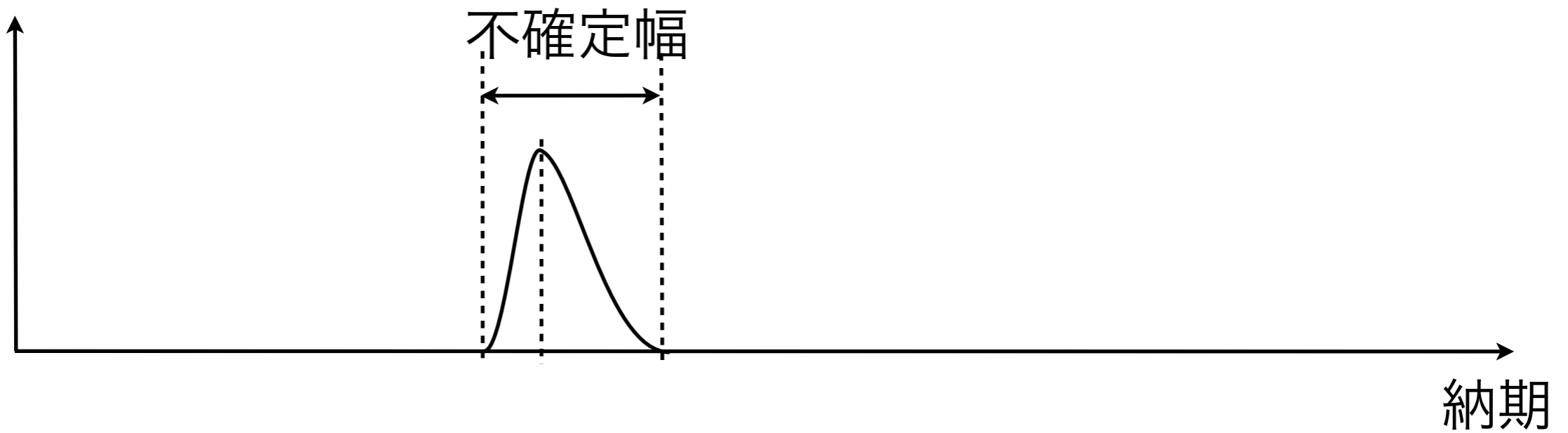
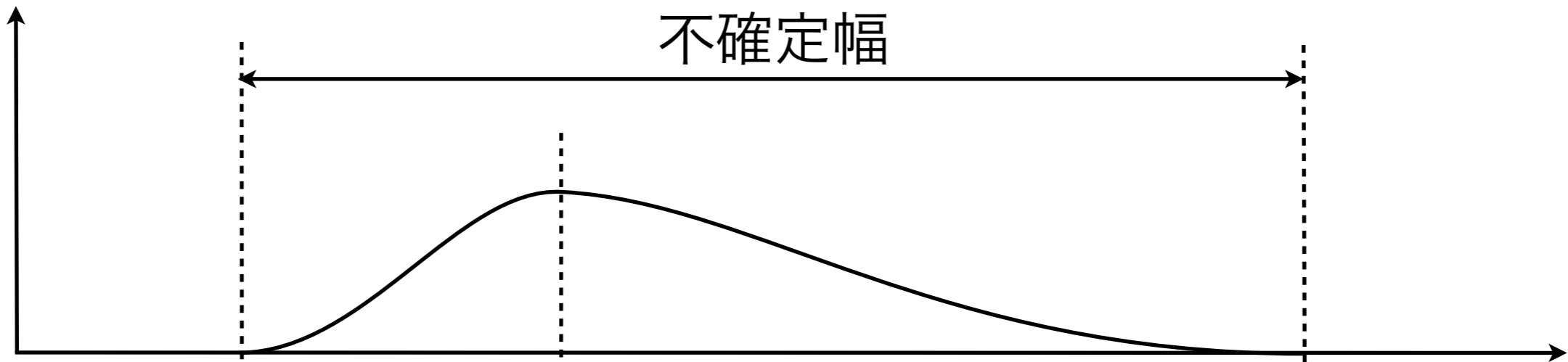
# 確率密度分布



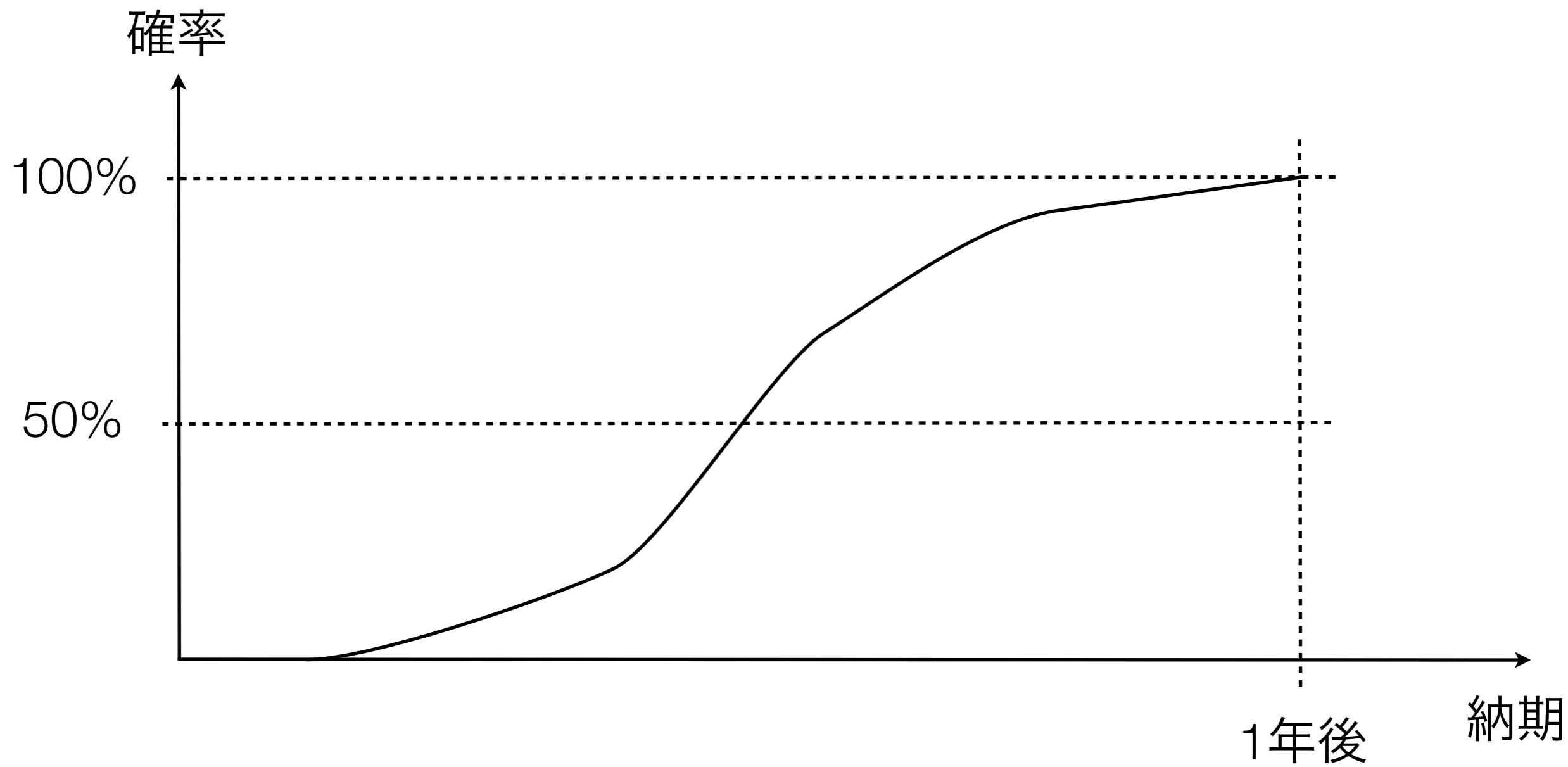
# 不確定性の幅

---

確率密度



# 累積分布



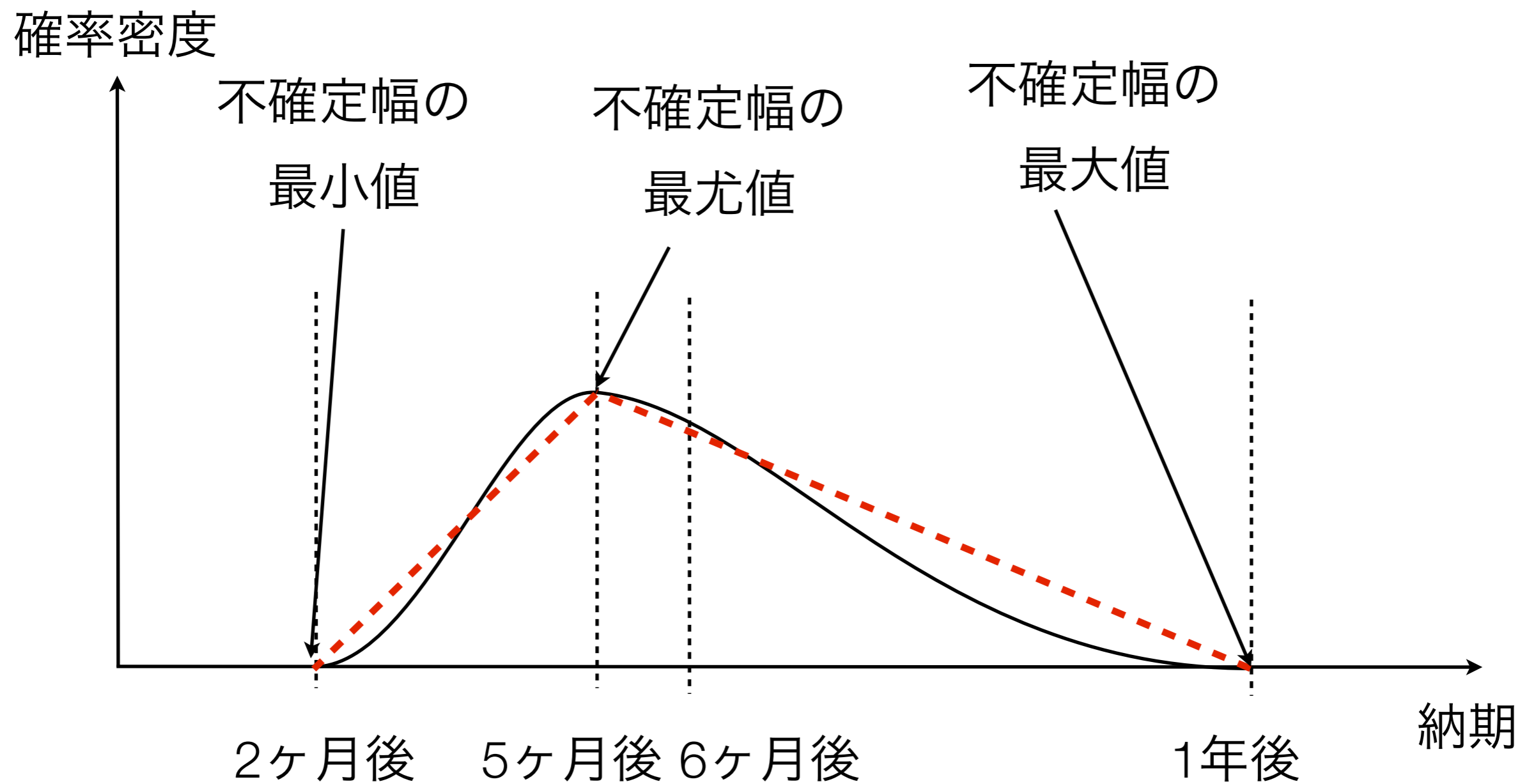


# 確率の推定手法

---

- 過去のデータから統計的に確率を推定する
- 実験を行って確率を推定する
- ワークショップを行って割り当てる

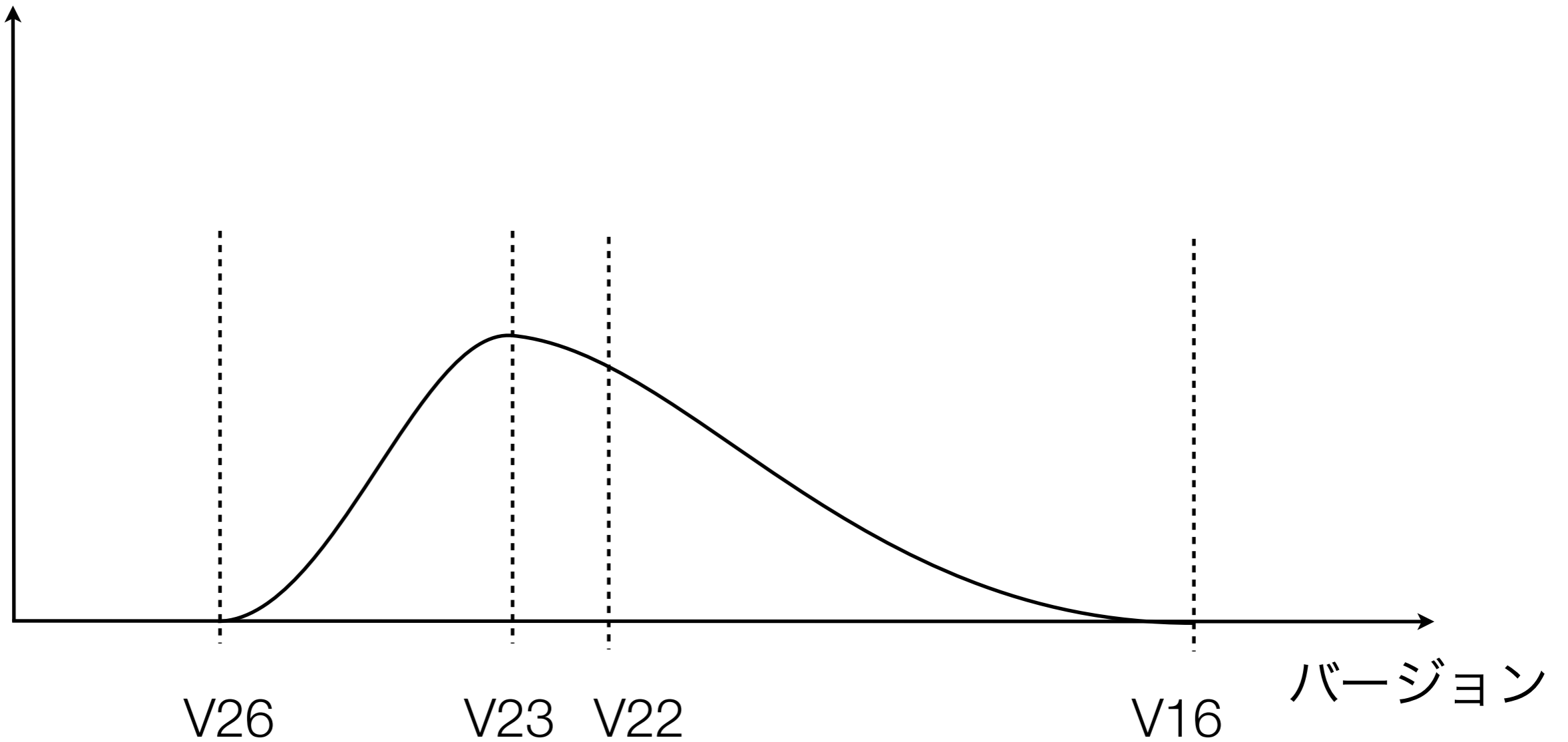
# 三角分布



# 不確定性の置き換え

---

確率密度



# 評価軸

---

- Q C D : 経営分野や製造業で用いられる生産管理の指標

Q: Quality	(品質)	製品供給の維持
C: Cost	(費用)	売り上げの減少・原価上昇等 財務へのインパクト
D: Delivery Time	(納期)	短・中・長期の事業計画への 影響

# 全体リスクと部分リスク

---

- 全体リスク
  - 全体として直面するリスク
    - 納期・全体のコスト・品質
- 部分リスク
  - 全体リスクを構成する個々のリスク
    - スケジュールの欠陥・要求の増大・人員の離脱・仕様の崩壊・生産性の低迷

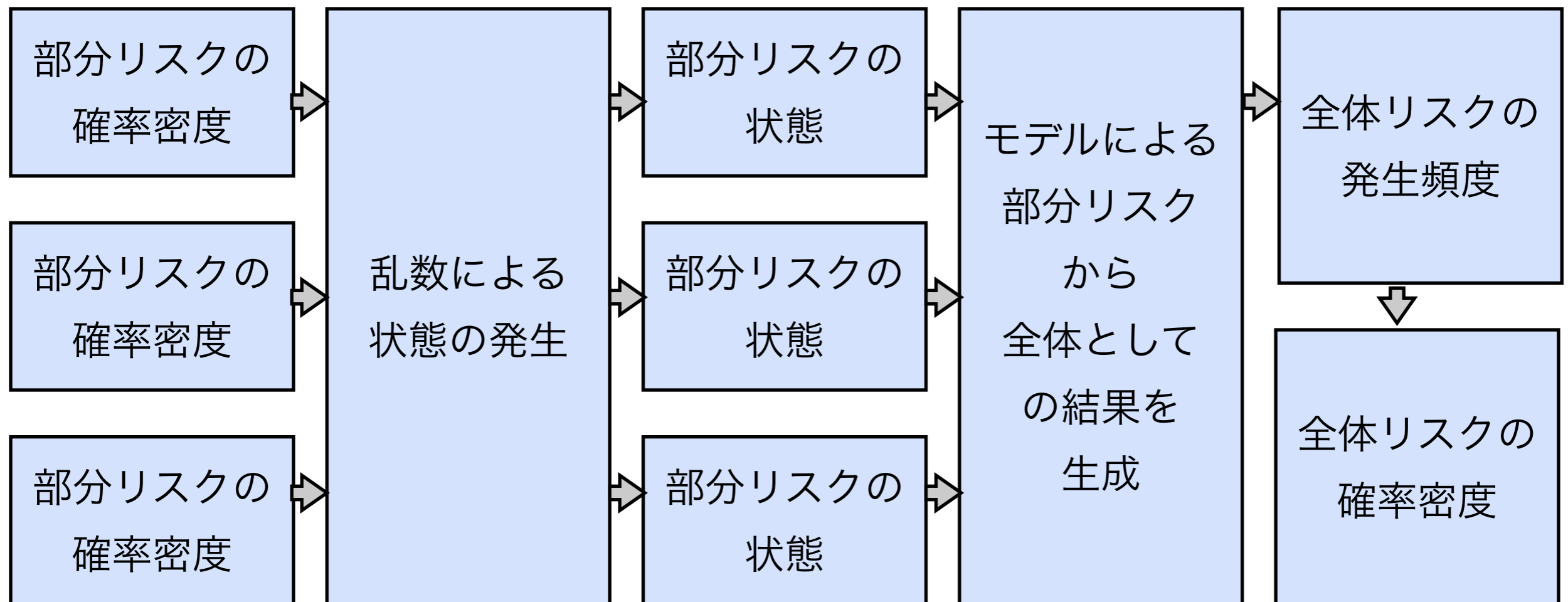
# シミュレーションによる事象の把握

---

- リスクシミュレーション
  - 定量化された多数の部分リスクから、全体リスクを定量化する
  - 各々の部分リスクと、全体リスクの関係を把握する
  - 全体リスクに大きく影響を及ぼしている部分リスクを特定する
- モンテカルロ・シミュレーション

# モンテカルロ・シミュレーション

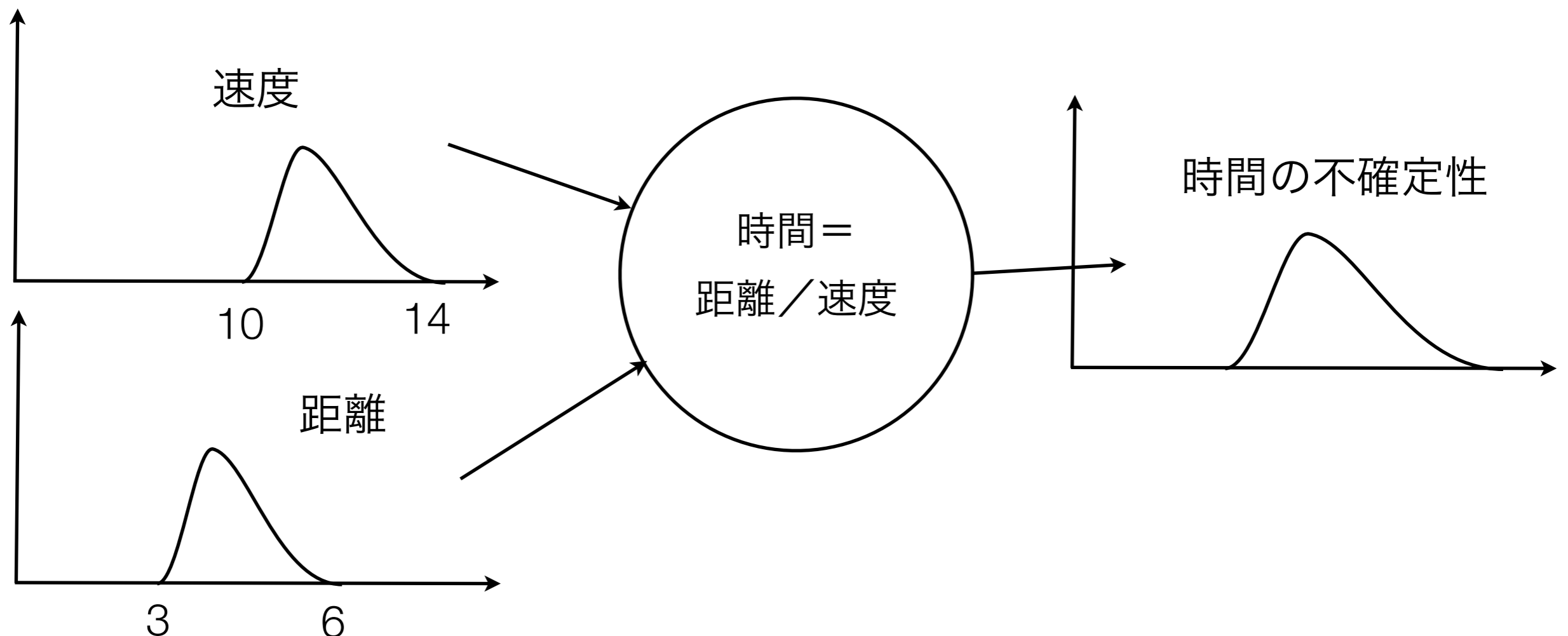
- 乱数を用いて、多数の状態を発生させ、その状態ごとにモデルで計算された多数の結果を集約して、全体としての不確定性を定量化する



# 複数の不確定要素の合成

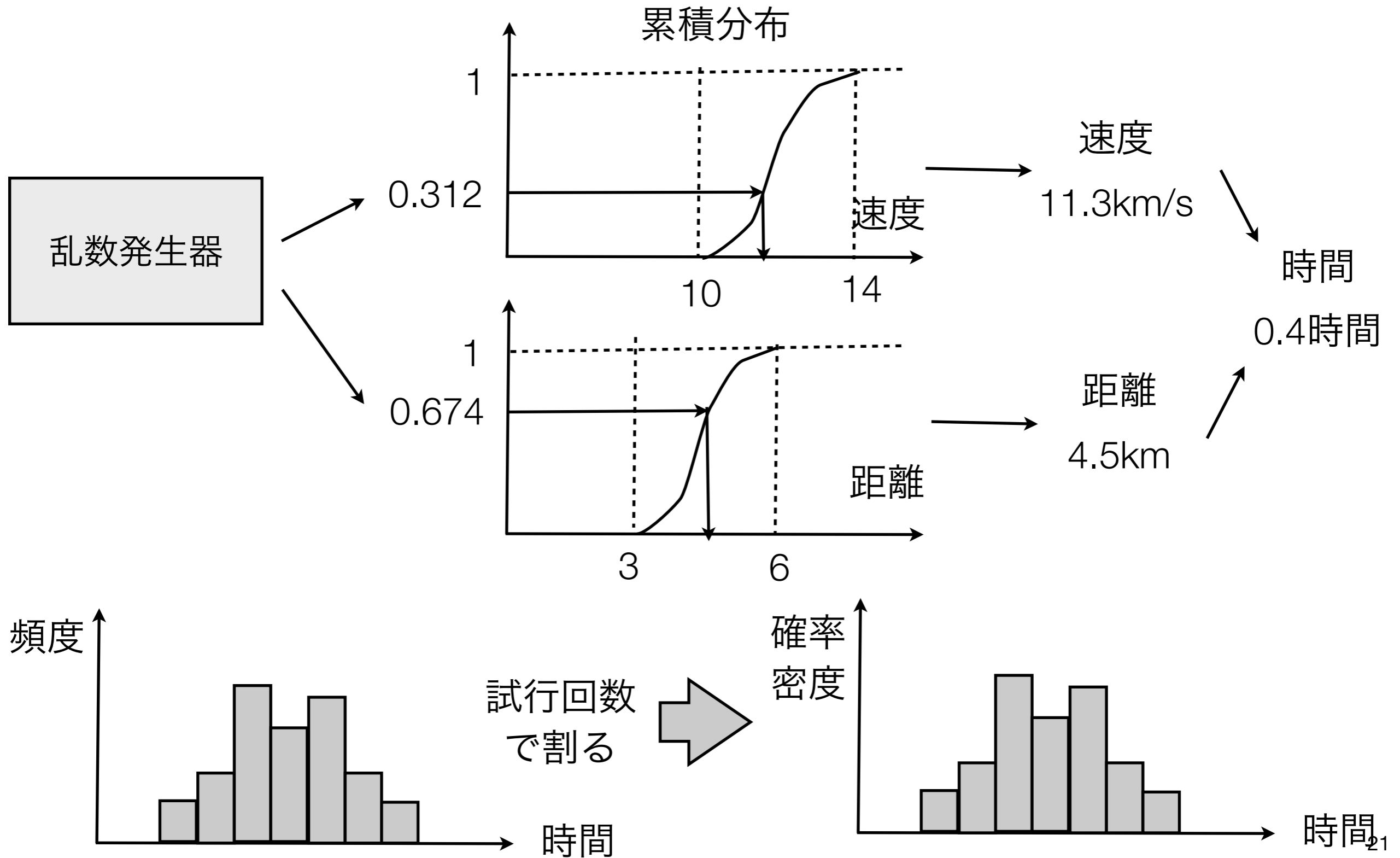
- 毎日のジョギングの例

- 速度は10~14km/h、距離は3~6km、明日は何時間走る？





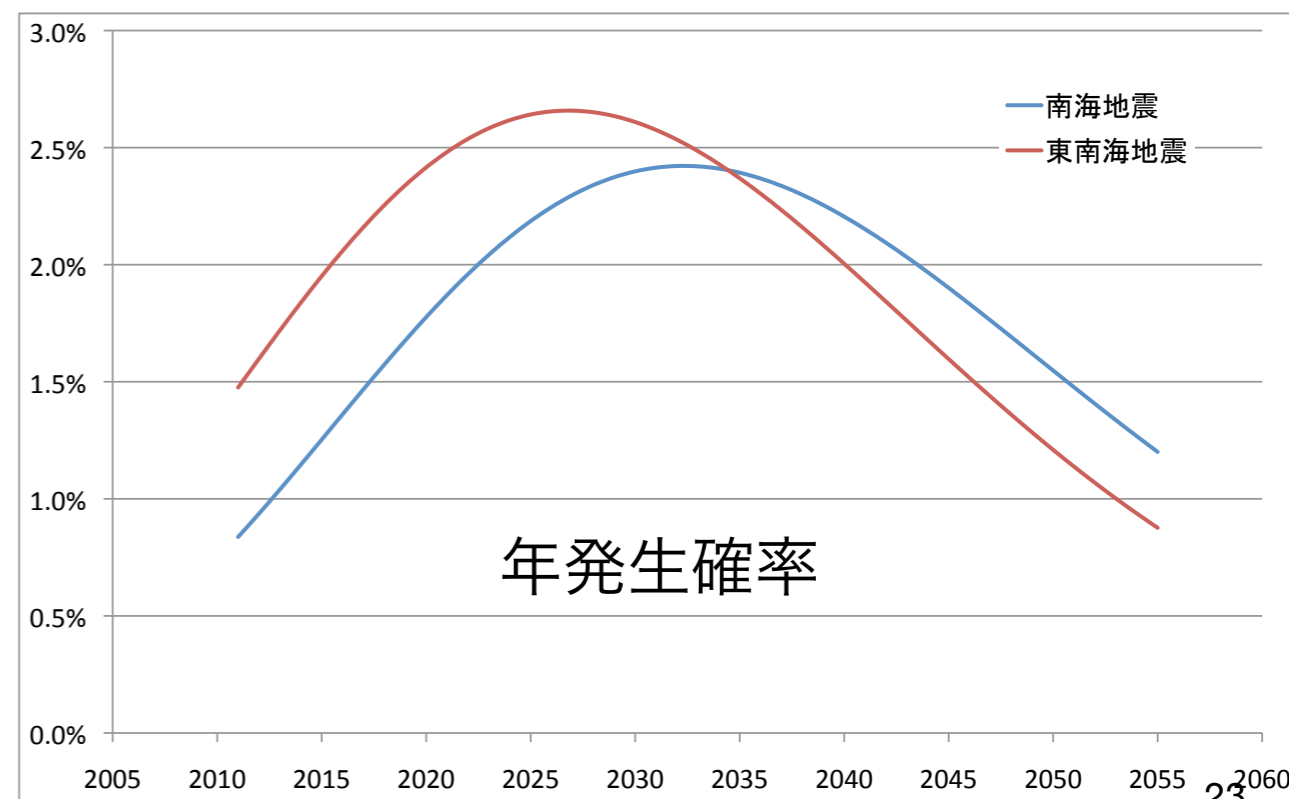
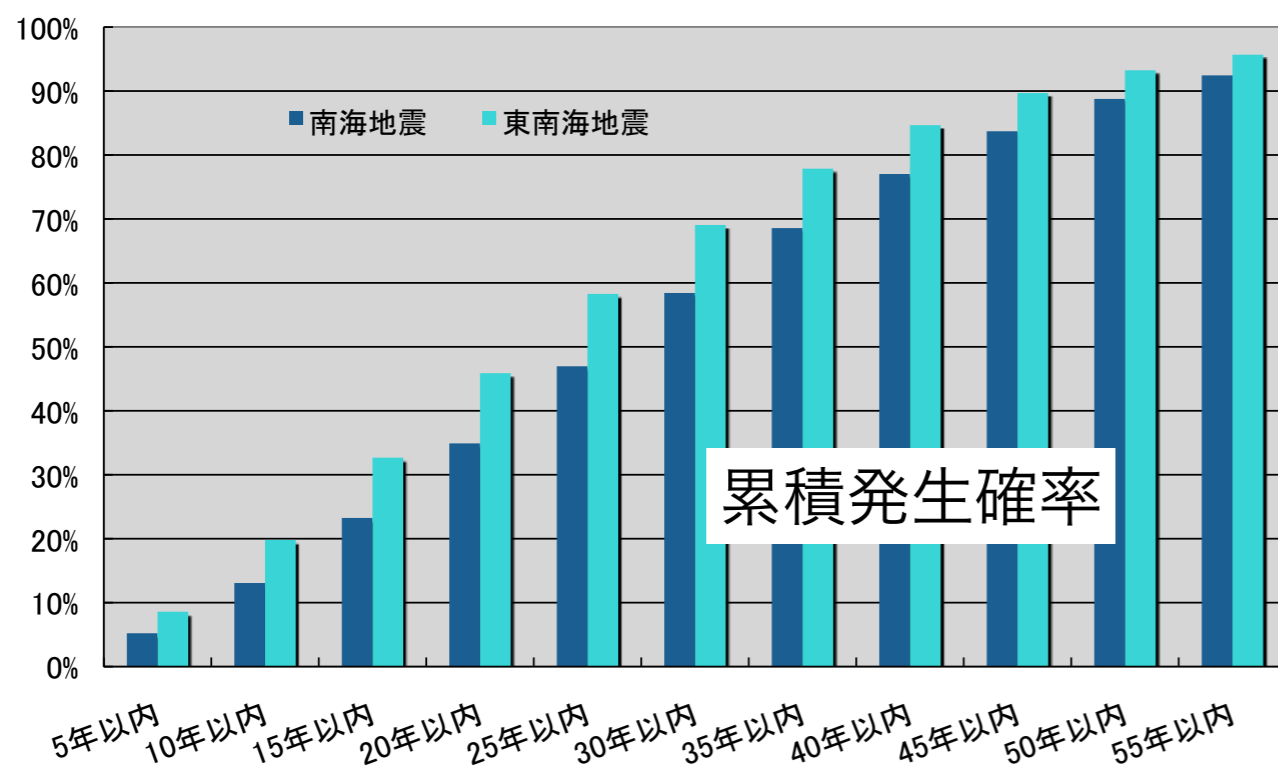
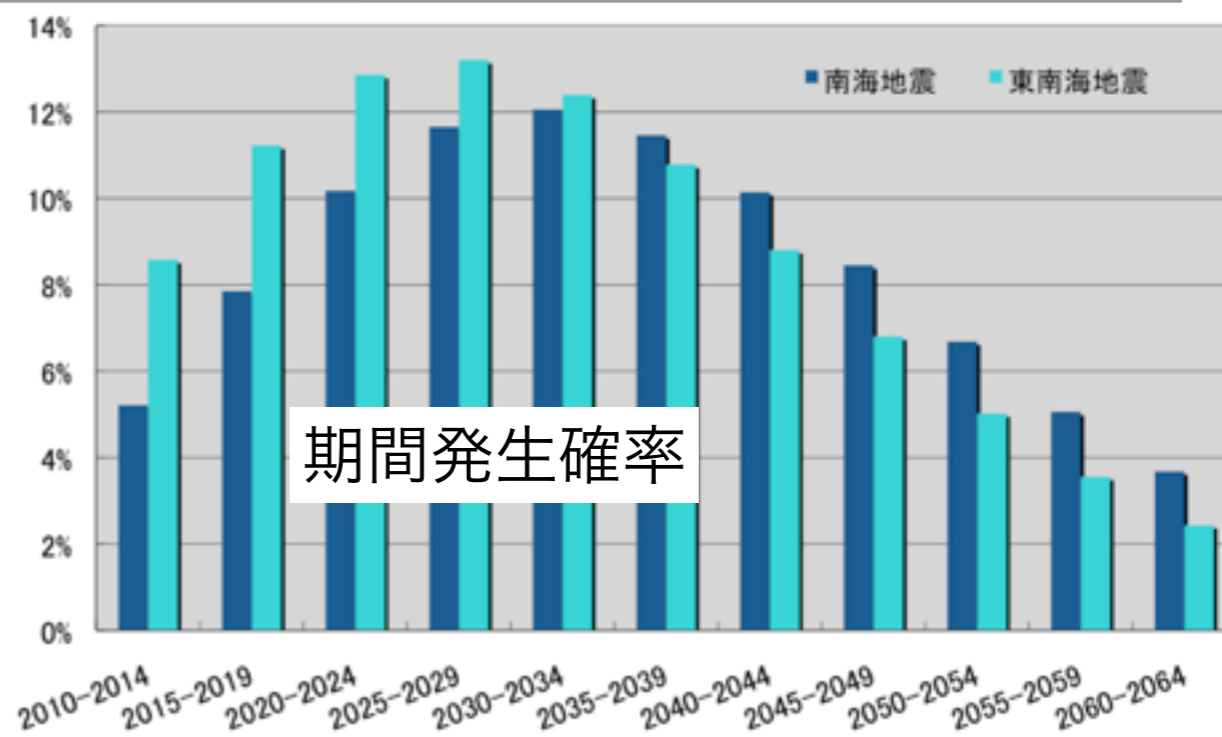
# モンテカルロ・シミュレーション



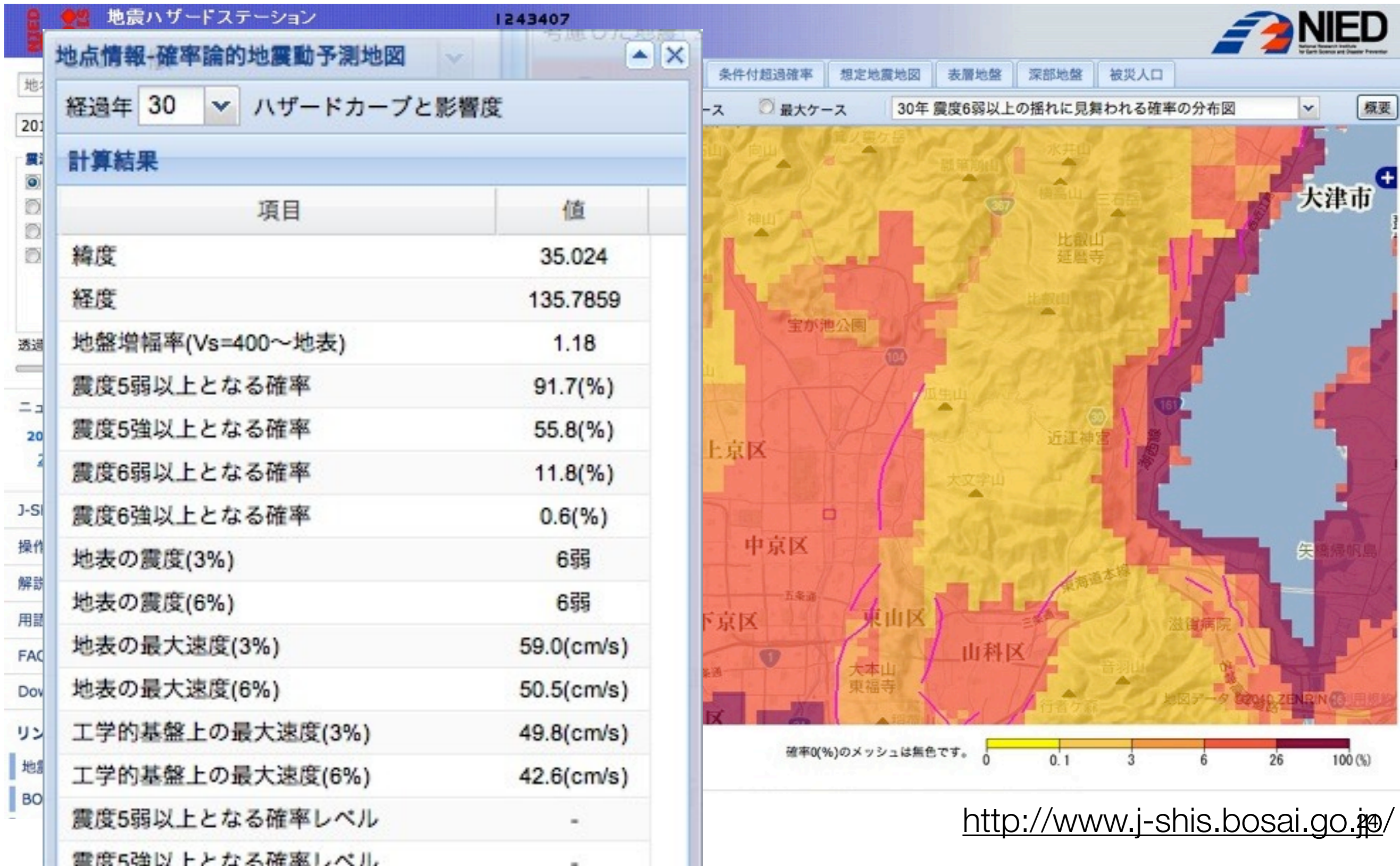
# 災害リスクの定量化

# 地震の発生確率

- 過去の地震の発生履歴を調べ、平均的な発生間隔、発生間隔のばらつき、前回の発生時期から、今後の発生確率を計算

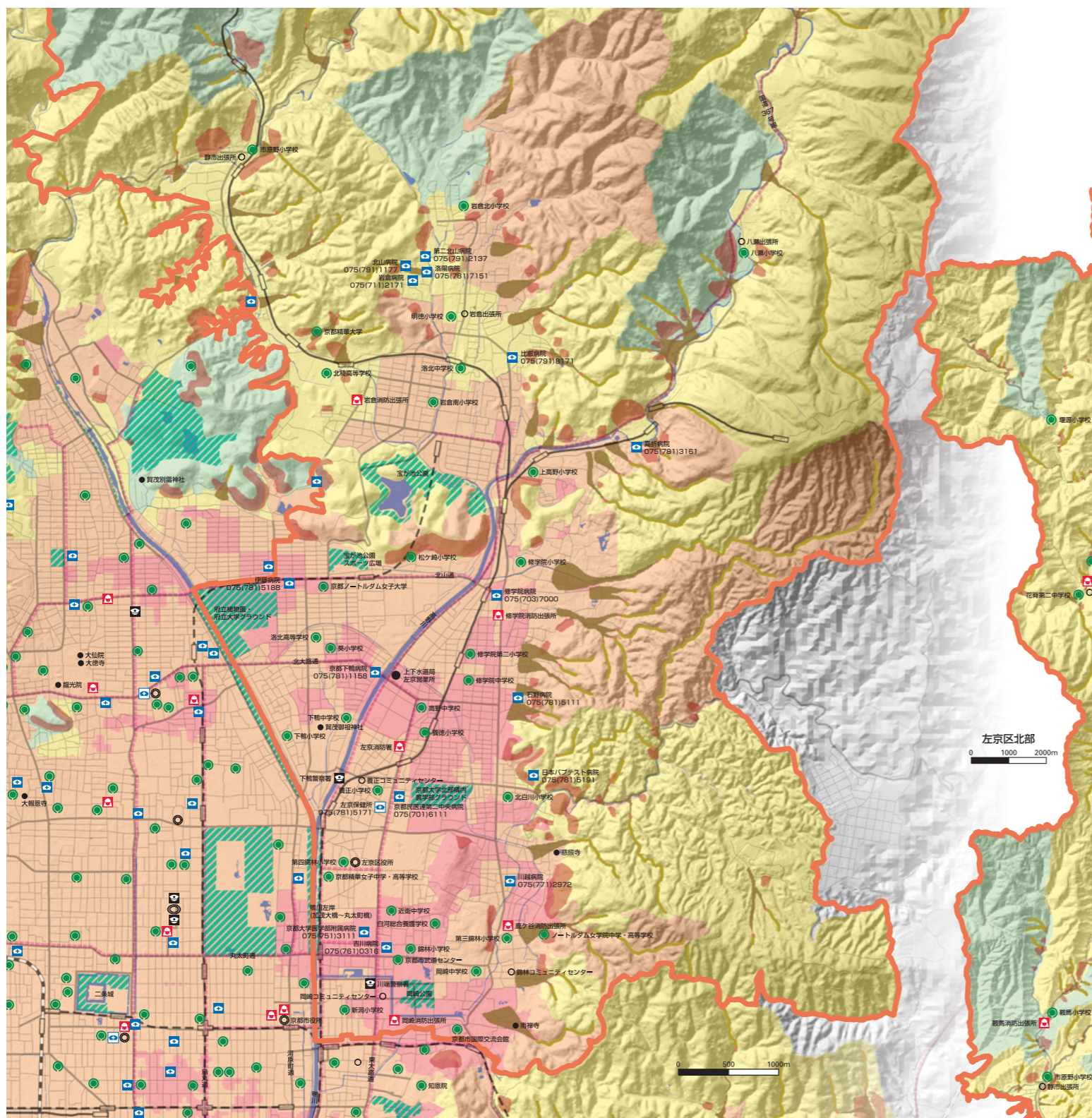


# 地震ハザードステーション





# 地震ハザードマップ



京都市防災マップ 地-7







地震編


**左京区版**


花折断層地震が起こると…


## 凡例

### 震度

	震度7		震度5強
	震度6強		震度5弱
	震度6弱		震度1~4

 土石流による被害のおそれのある区域：渓流の勾配が15°以上で、人家等が存在し、被害のおそれのある区域

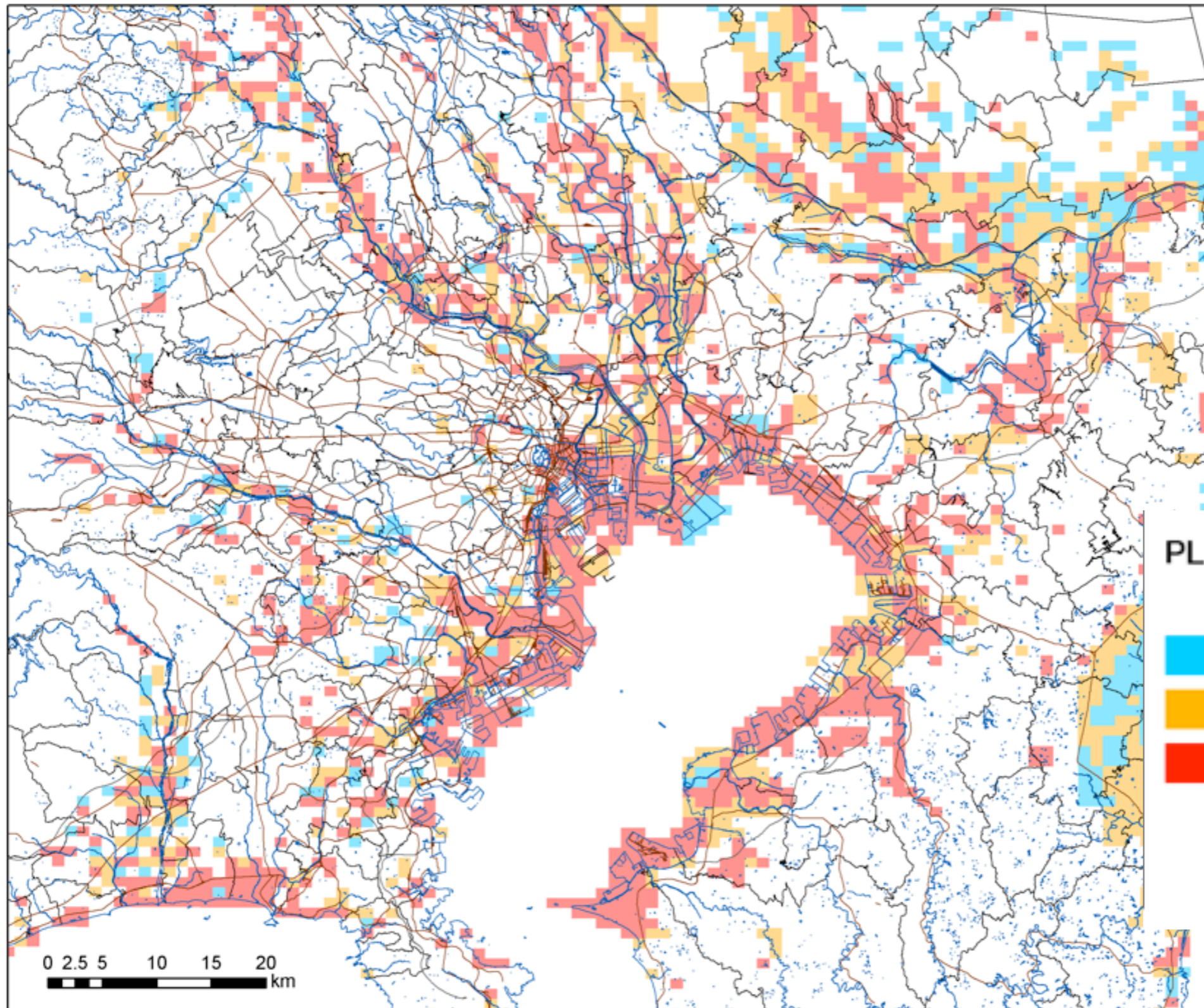
 流路(谷筋)

 急傾斜：傾斜度30°以上、高さ5m以上の急傾斜地(人工斜面を含む)で、人家等が存在し、被害のおそれのある区域

想定区域外においても、土砂災害が発生することもありますので、山すそなどでは注意してください。



# 液状化の可能性




東京湾北部地震


液状化指数


PL値:地震動、地盤特性、地下水位から求められる液状化しやすさを表す指標

PL値

0 : 液状化の可能性無

 < 5 : 液状化の可能性小

 5-15 : 液状化の可能性中

 > 15 : 液状化の可能性大



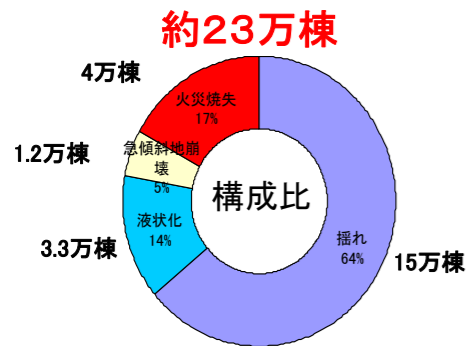
## 1. 被害想定的前提条件

- ①18タイプの地震動を想定(東京湾北部等)
- ②4つのシーン(冬朝5時、秋朝8時、夏昼12時、冬夕方18時)を設定
- ③風速は3m/s(阪神・淡路大震災)と15m/s(関東大震災)の2パターンを設定

## 2. 被害の概要(東京湾北部地震M7.3)

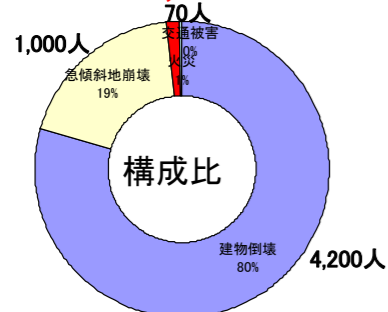
### (1)冬朝5時 風速3m/s

#### ①建物全壊棟数・火災焼失棟数



◇瓦礫発生量約8,300万トン

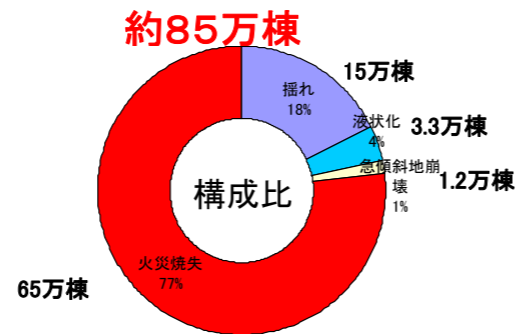
#### ②死者数 約5,300人



◇負傷者数(重傷者含む)約160,000人  
重傷者数約17,000人

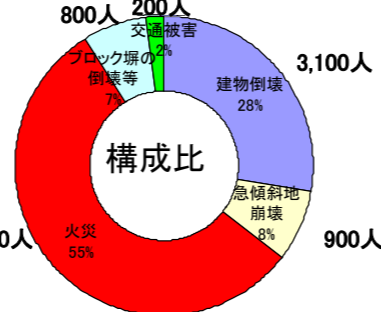
### (2)冬夕方18時 風速15m/s

#### ①建物全壊棟数・火災焼失棟数



◇瓦礫発生量約9,600万トン

#### ②死者数 約11,000人



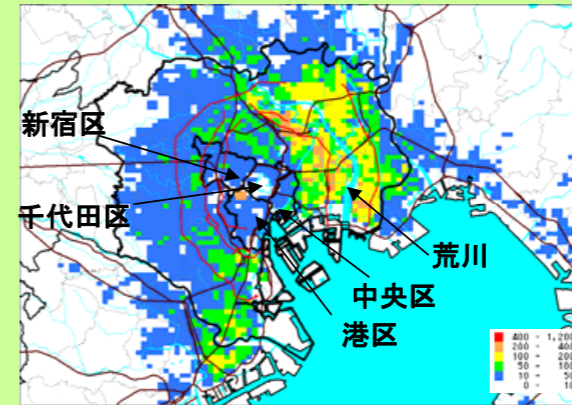
◇負傷者数(重傷者含む)約210,000人  
重傷者数約37,000人

※ 18タイプの地震動中、建物全壊棟数が最大となるのは東京湾北部地震(約85万棟)。死者数が最大となるのは都心西部地震(約13,000人)。

都心部への滞留者が特に多いと考えられる昼12時で、**約650万人の帰宅困難者の発生**を想定。

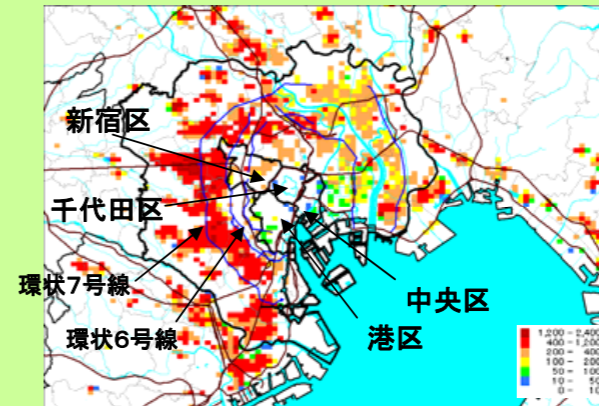
## 3. 被害結果の分布(東京湾北部地震M7.3)

### ①揺れによる全壊棟数の分布(都心部)



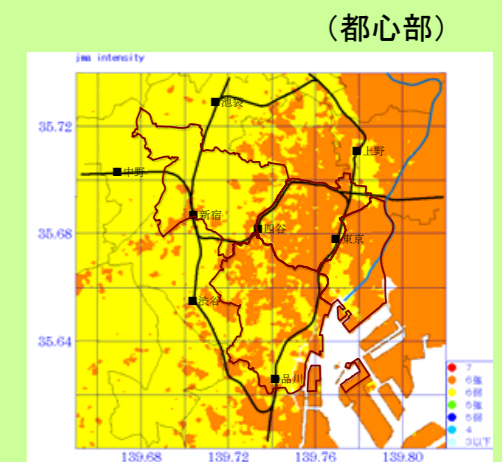
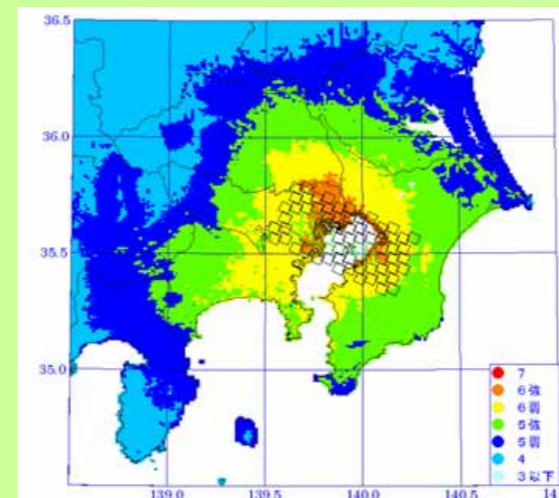
◆都県域を超えた広域的な被害  
◆荒川沿いの全壊棟数が顕著

### ②焼失棟数の分布(都心部) <冬18時、風速15mケース>



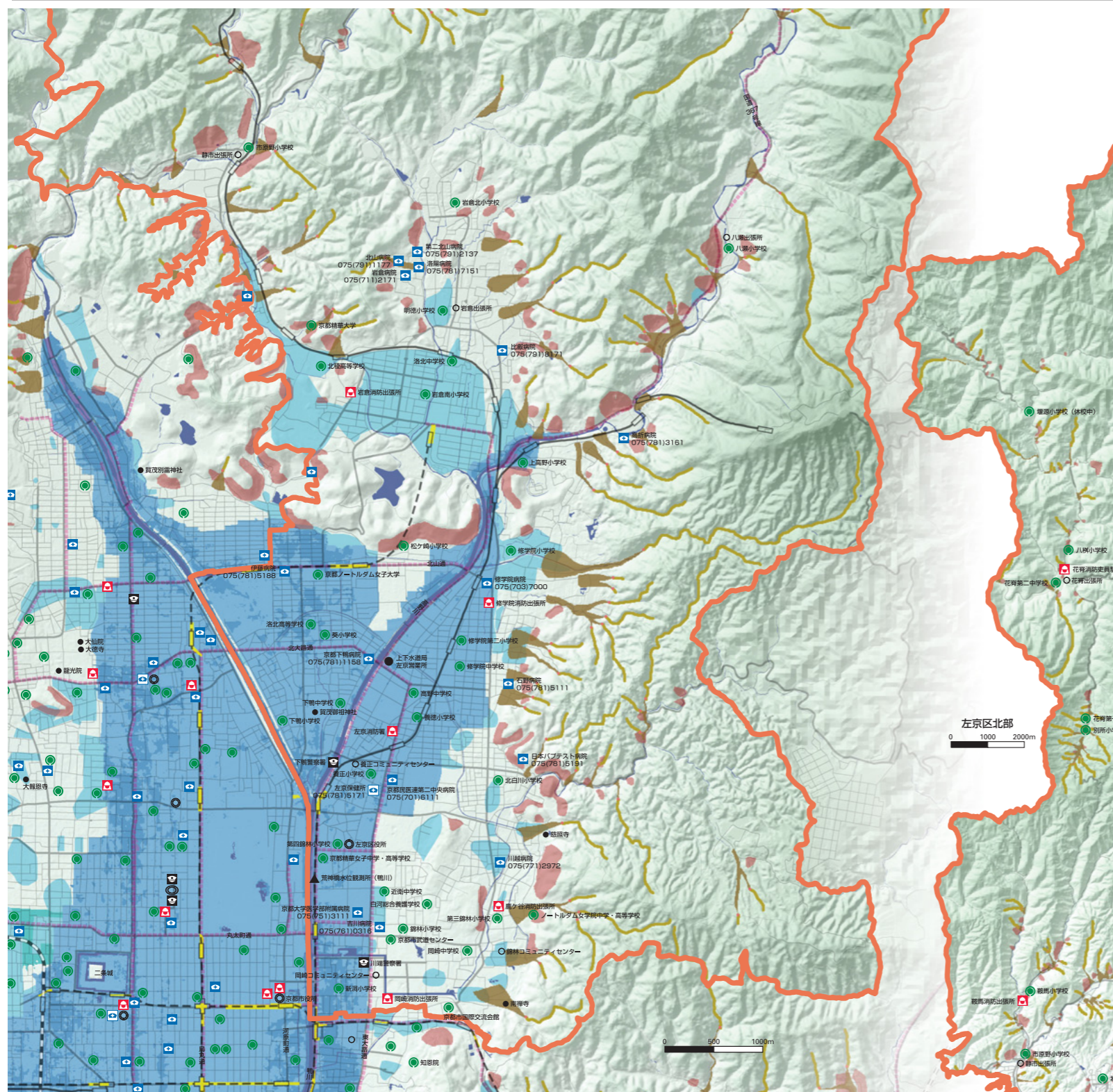
◆木造密集市街地(環6、環7沿い)の焼失が顕著  
◆都心部では不燃化が進展

### (参考) 東京湾北部地震M7.3の震度分布





# 洪水ハザードマップ



京都市防災マップ




水-7

水災害編




## 左京区版

### 凡例

#### 国と府の浸水想定区域

-  3m以上(2階以上浸水)
-  50cm以上3m未満(床上浸水)
-  50cm未満(床下浸水)

#### 過去に浸水した区域

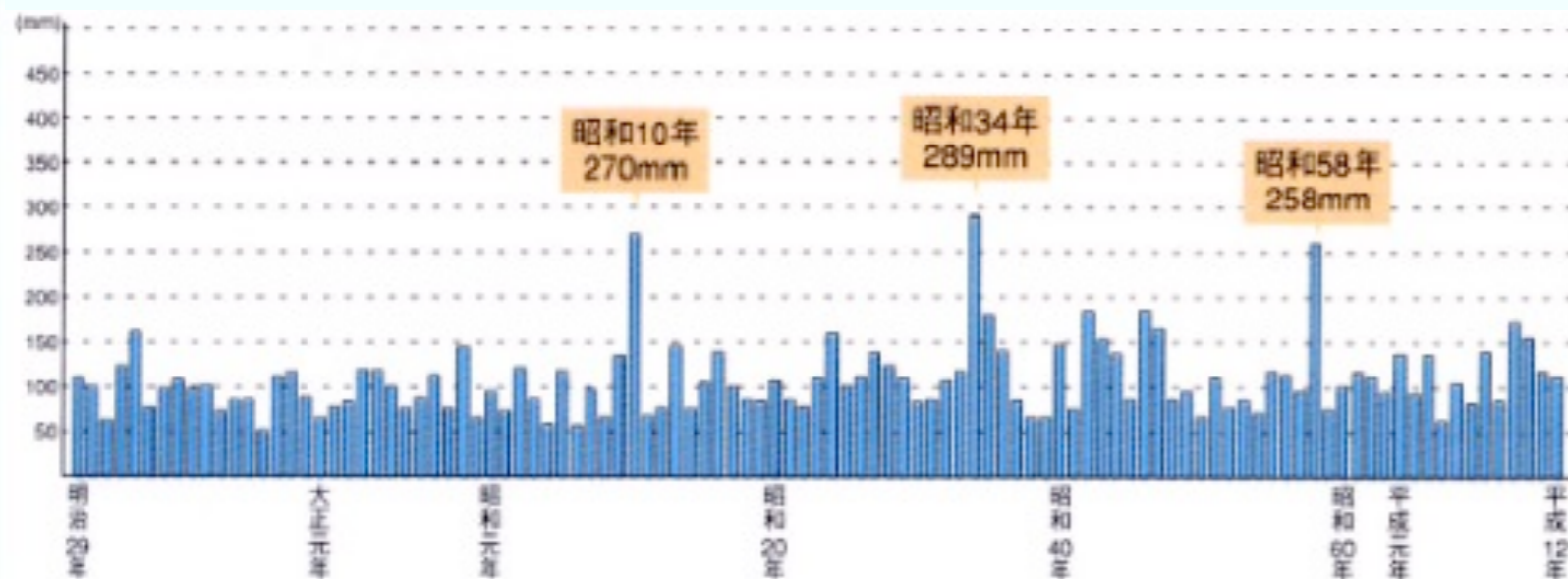
-  土石流による被害のおそれのある区域：渓流の勾配が15°以上で、人家等が存在し、被害のおそれのある区域
-  流路(谷筋)
-  急傾斜：傾斜度30°以上、高さ5m以上の急傾斜地(人工斜面を含む)で、人家等が存在し、被害のおそれのある区域

想定区域外においても、浸水や土砂災害が発生することもありますので、大雨の時には注意してください。



# 洪水の発生確率

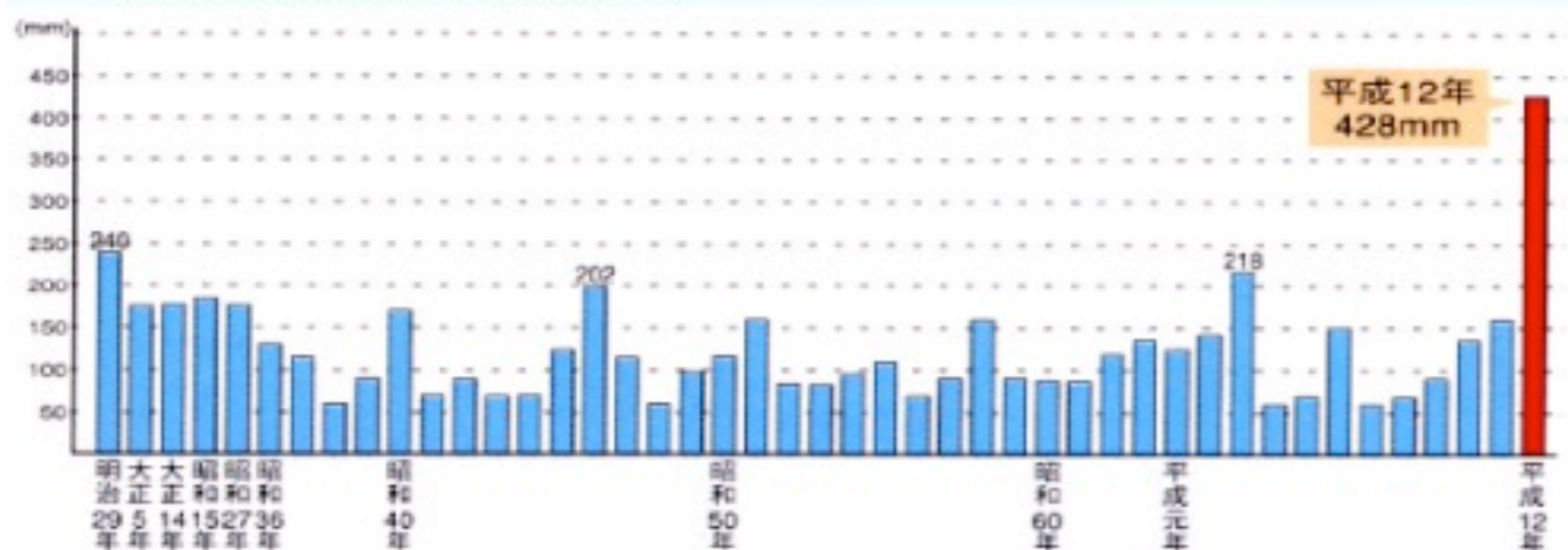
京都地方気象台の年最大日雨量



再現期間 (Return Period)

〇〇年に一度の降雨  
(年超過確率の逆数)

名古屋地方気象台の年最大日雨量



2000年東海豪雨

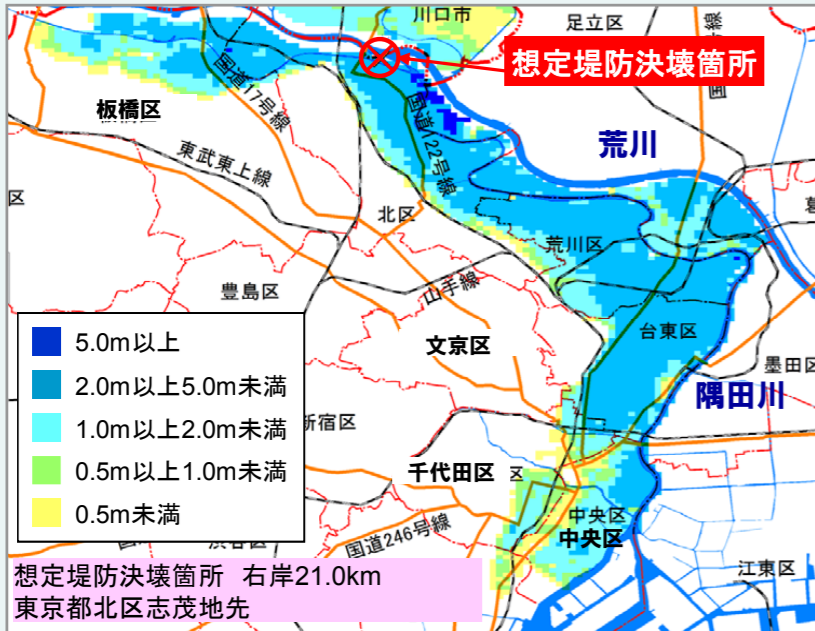
1時間降水量 110年(93mm)

日降水量 350年(428mm)

総降水量 270年(562mm)

# 荒川右岸低地氾濫による被害想定結果の概要

## 1. 浸水範囲 (最大浸水深図)



## 2. 浸水面積

約110km<sup>2</sup>

## 3. 浸水区域内人口

約120万人

## 4. 浸水世帯数

約51万世帯

床上浸水: 約45万人

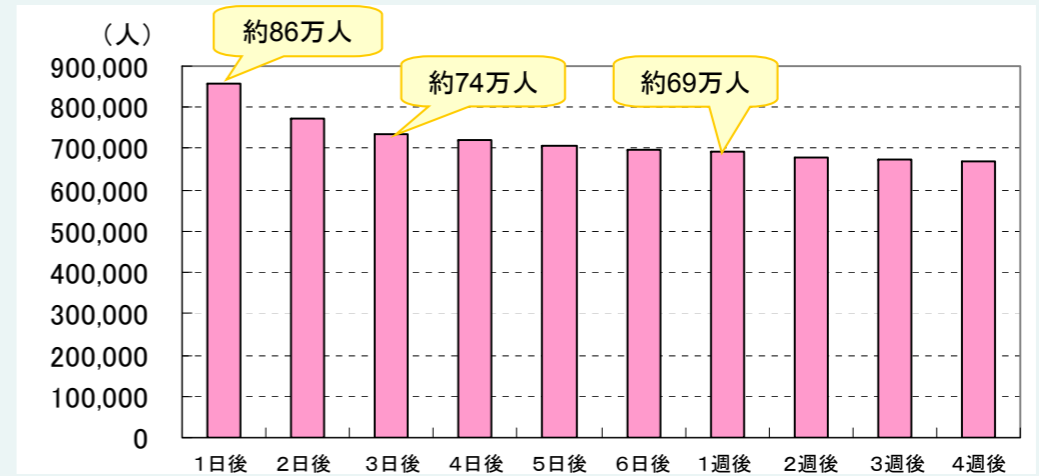
床下浸水: 約6万人

## 5. 死者数

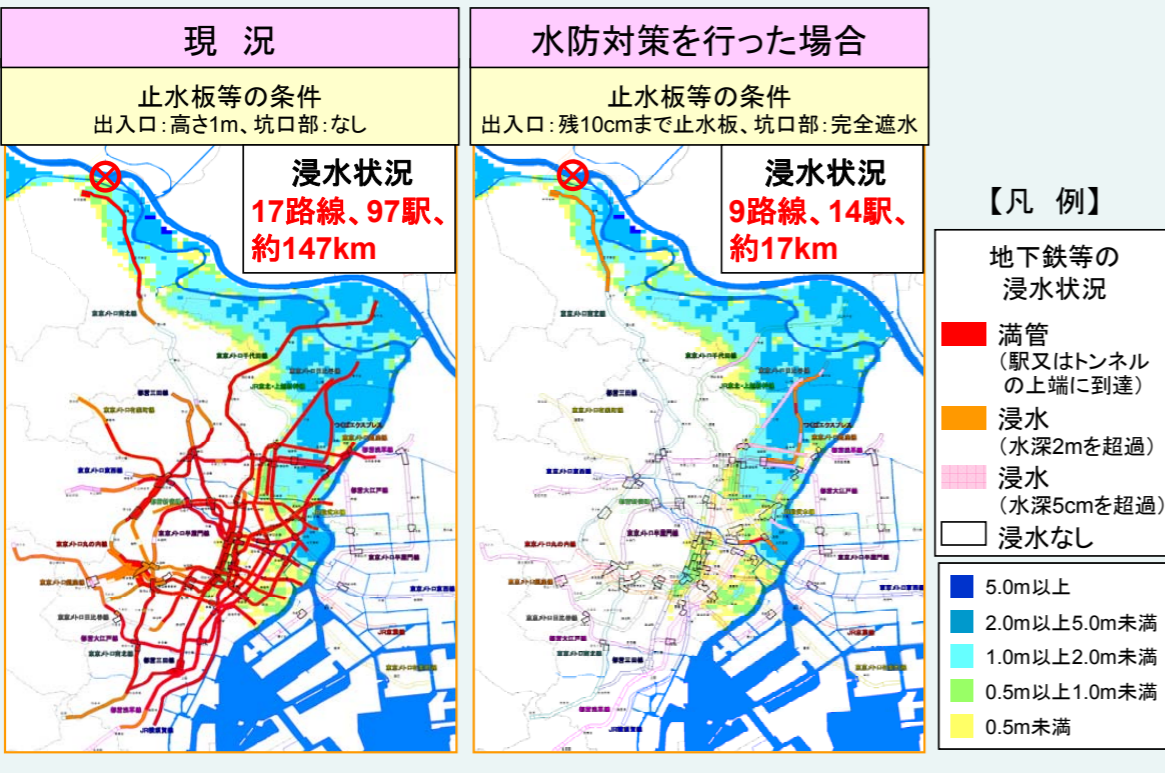
約2,000人 (避難率0%の場合)

## 6. 孤立者数

最大約86万人 (1日後、避難率0%の場合)



## 7. 地下鉄等の浸水被害



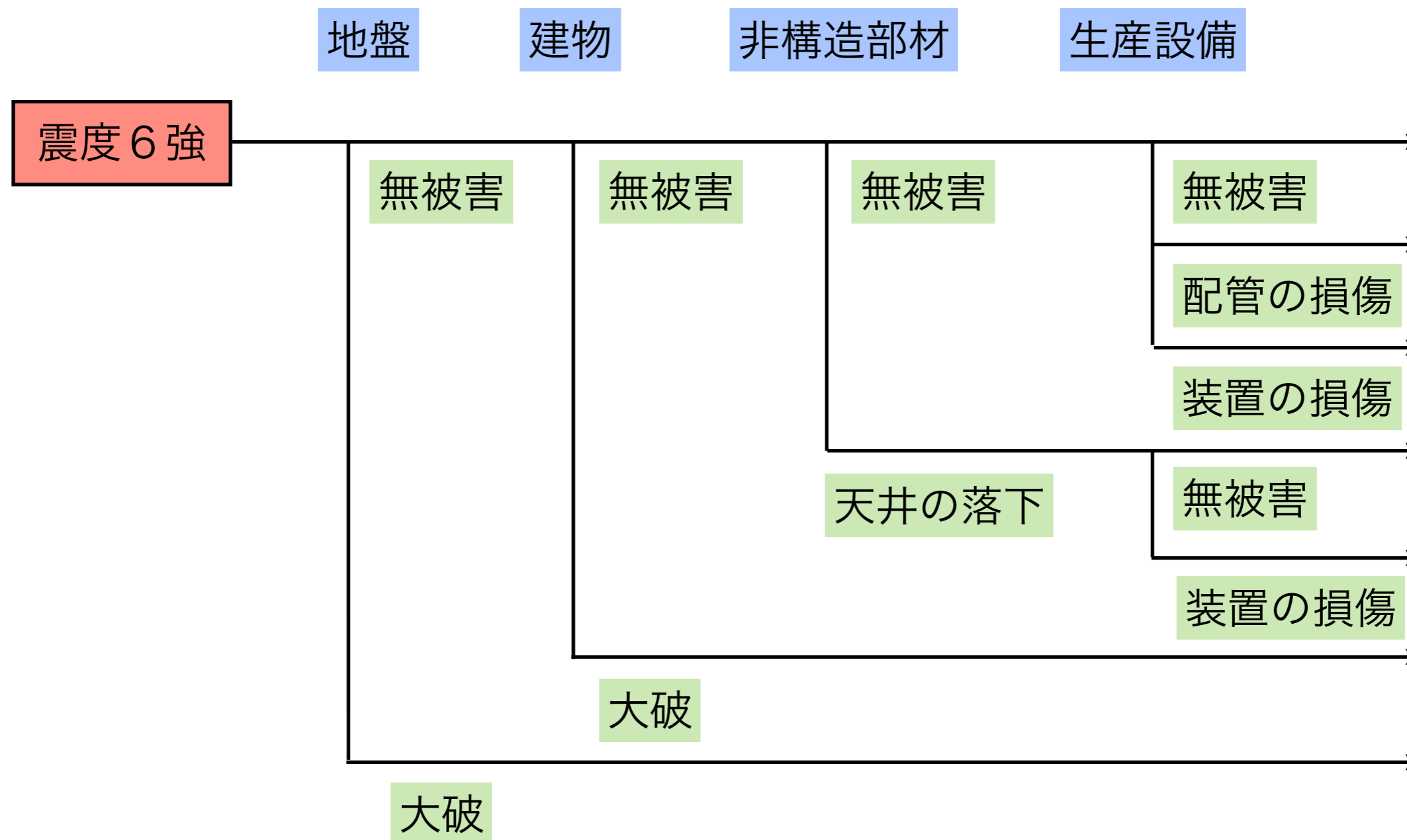
## 8. ライフラインの被害

電力	約121万軒	東京都: 約93万軒	埼玉県: 約28万軒
ガス	約31.1万件	東京都: 約31万件	埼玉県: 約0.1万件
上水道	約164万人 (給水制限)	東京都: 支障なし	埼玉県: 約164万人
下水道	約175万人 (汚水処理)	東京都: 約150万人	埼玉県: 約120万人
	約120万人 (雨水排水)	東京都: 約120万人	埼玉県: 支障なし
通信	約52万加入 (固定電話)	東京都: 約41万加入	埼玉県: 約11万加入
	約93万在圏 (携帯電話)	東京都: 約75万在圏	埼玉県: 約18万在圏

(留意点) ・どの場合も供給側施設の浸水による支障に関する想定結果  
 ・停電による供給側施設の途絶や個別住宅等の浸水による支障は含まないため、支障件数はさらに増加すると想定(※上水道及び携帯電話の支障件数は、停電による供給施設の途絶を考慮)

【算出条件】 排水施設が稼働しない場合。上流部における越水氾濫を含む。【降雨条件】 流域平均雨量 約550mm/3日 (流域面積 約2,100km<sup>2</sup>)

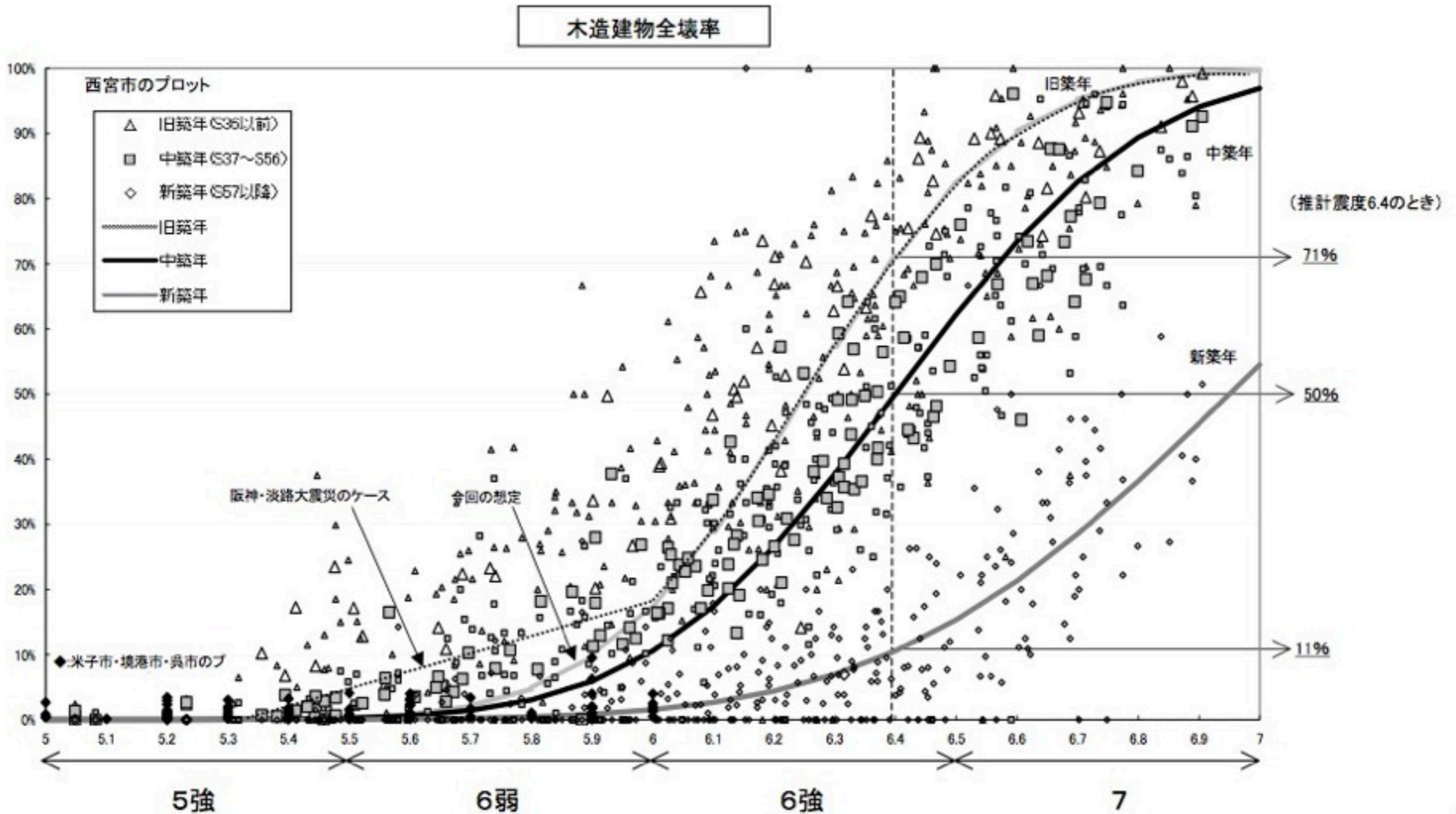
# イベントツリーにより被害の発生過程をモデル化



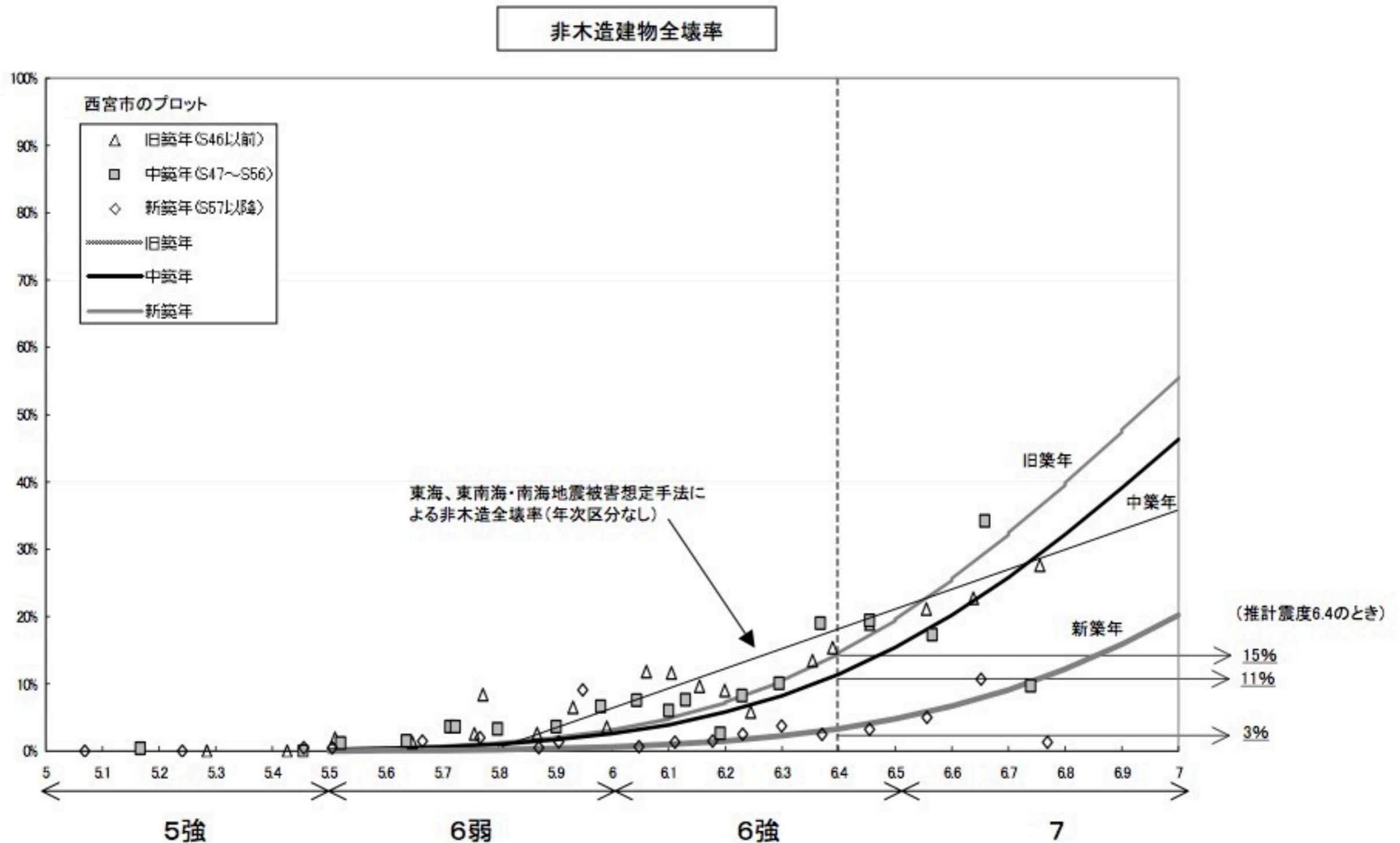


# 被害想定（被害関数・地震）

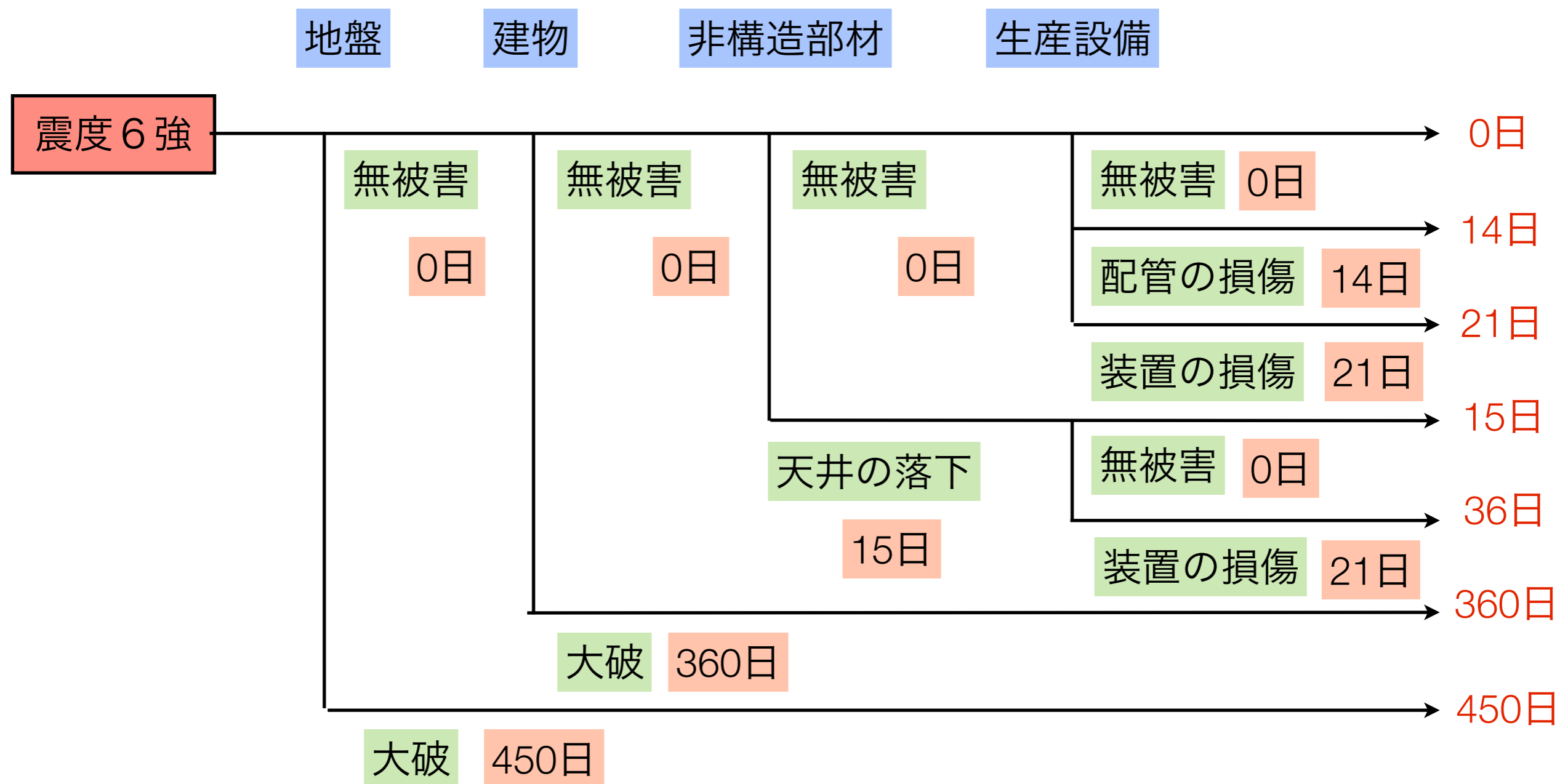
- 震度と木造建物全壊率の関係



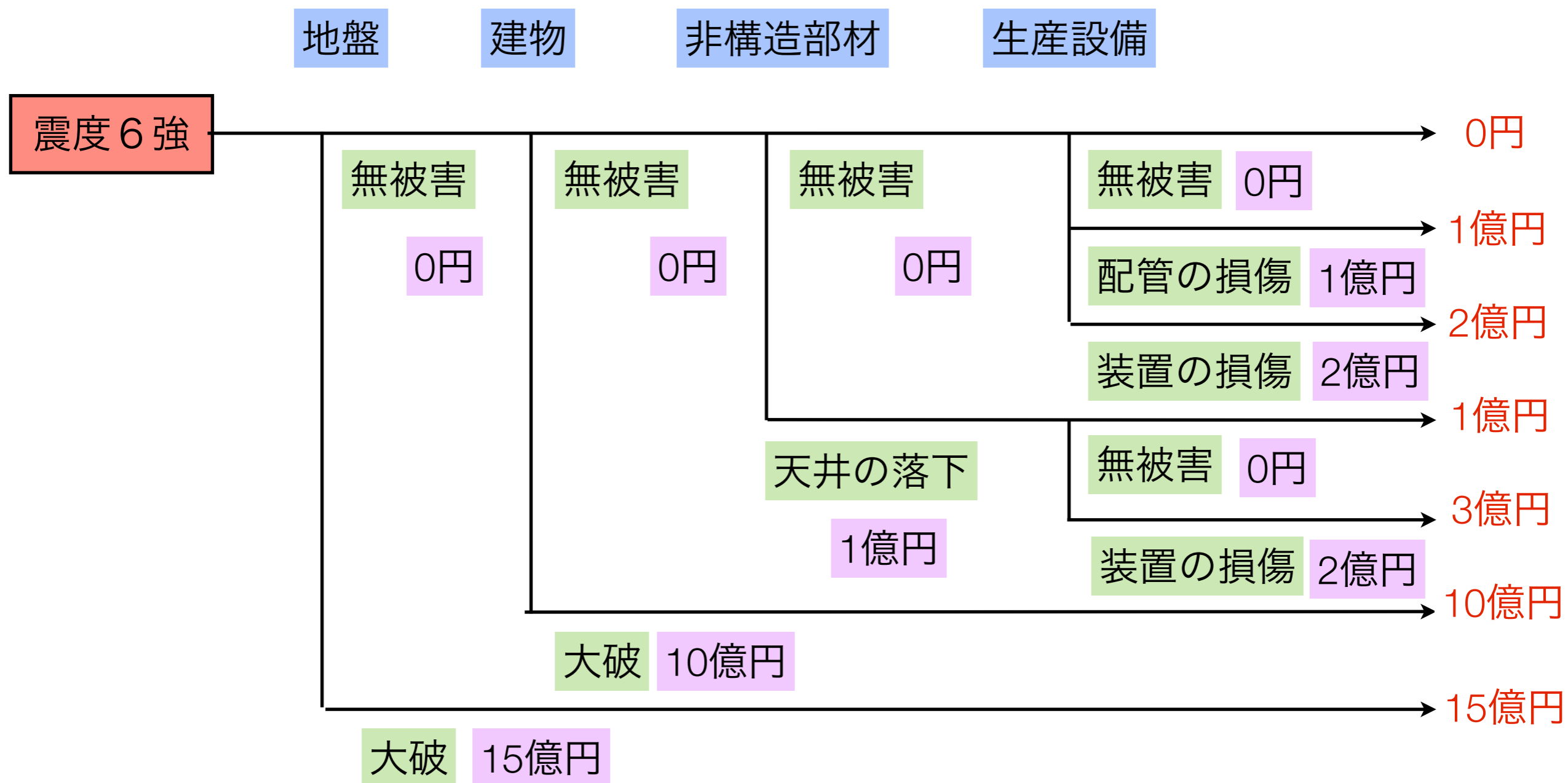
# 被害想定（被害関数・地震）



# 復旧日数評価



# 被害額評価



# リスクシミュレーション



# 臨海都市部の津波対策

## 防潮堤

港湾，河川と市街地の境界に建設され，波の市街地氾濫を直接阻止



## 水門

河川の河口部に建設され，波の河川遡上と上流での氾濫を阻止



## 防潮扉

市街地と港湾の間を行き来するための扉，緊急時に閉鎖することで市街地氾濫を阻止



## 大阪市

台風高潮対策として，戦後総合的に整備される

- ・1950ジェーン台風
- ・1961第二室戸台風

港湾部：

全体的な地盤の嵩上

市街地：

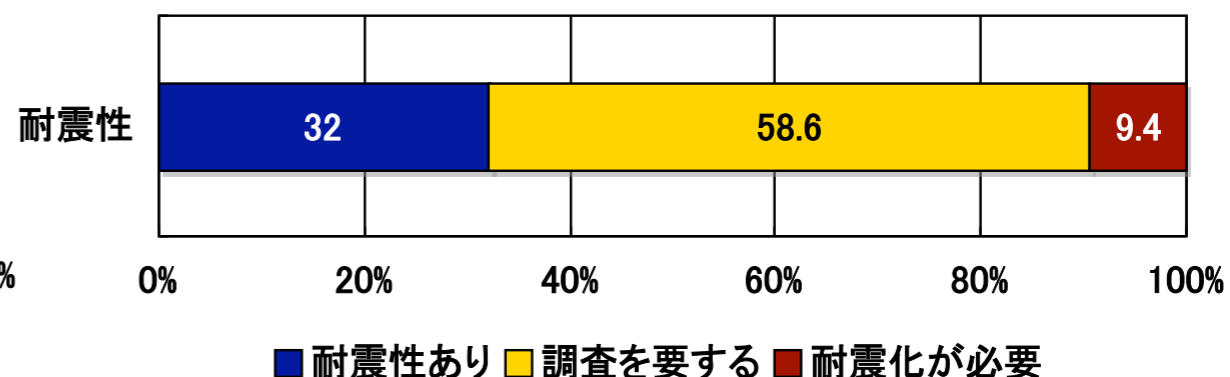
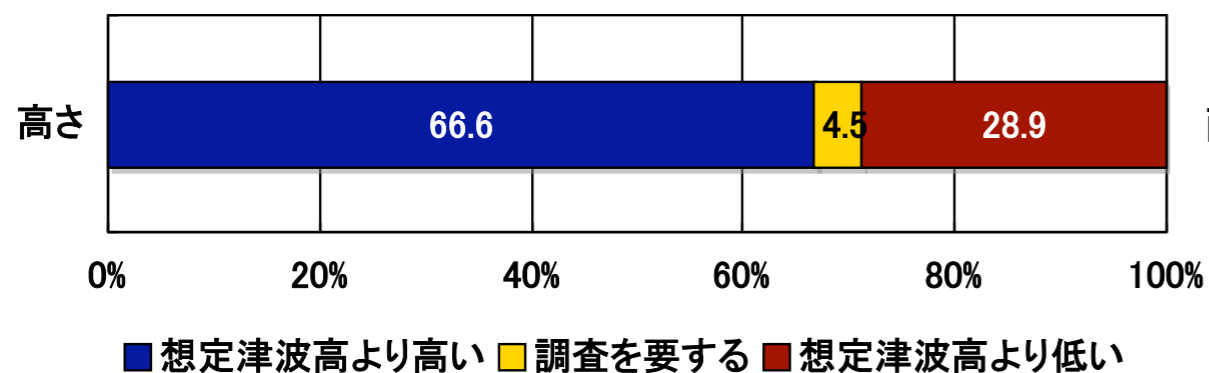
防潮堤全長120km

水門・防潮扉数463基

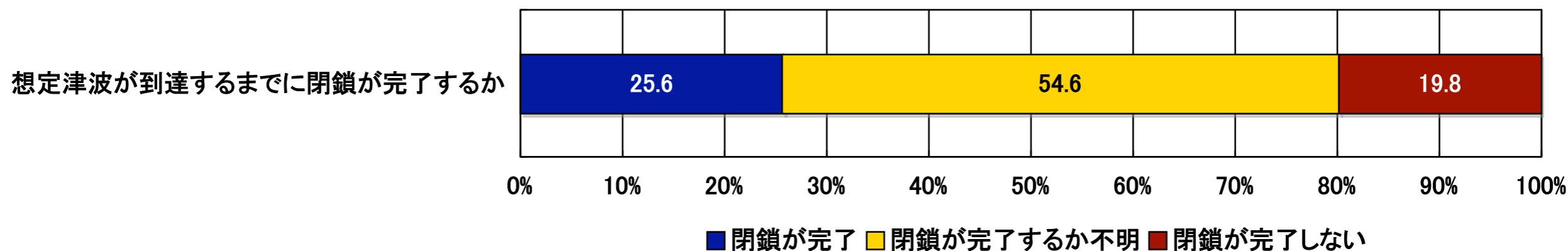
- ・施設が地震に耐えられるか
- ・高潮より極端に早く到達する津波の来襲前に開口部を閉められるか

# 最終防潮ラインに関する不確定性

## 防潮堤の高さと耐震性



## 防潮堤の開口部(水門・防潮扉等)の閉鎖体制



国交省河川局:市町村の津波防御レベル

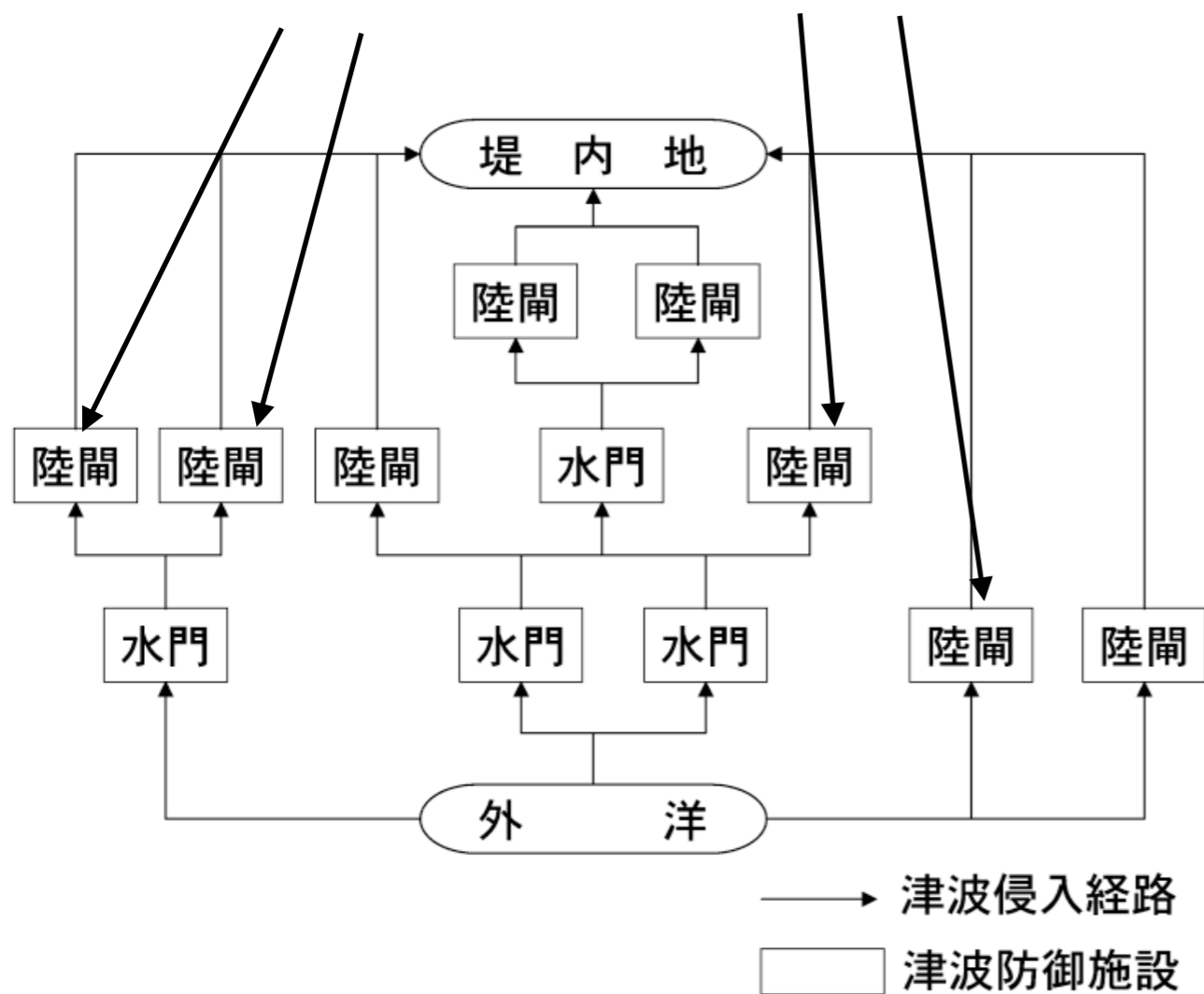
# 大阪市の防潮扉

- 多数の門扉が存在（412基, 遠隔化9, 遠隔化予定43）
- 現在の想定では防潮扉を完全に閉鎖すれば堤内地への津波氾濫を完全に阻止できる
- すべての防潮扉が閉鎖できない状態を想定するのは現実的でない
- 南海地震による津波の到達までには90分の閉鎖に利用できる時間がある
- 背後に大都市が控えており, ひとたび浸水すると甚大な被害が発生すると予想される



# 防潮扉による津波防御

確率的に閉鎖される



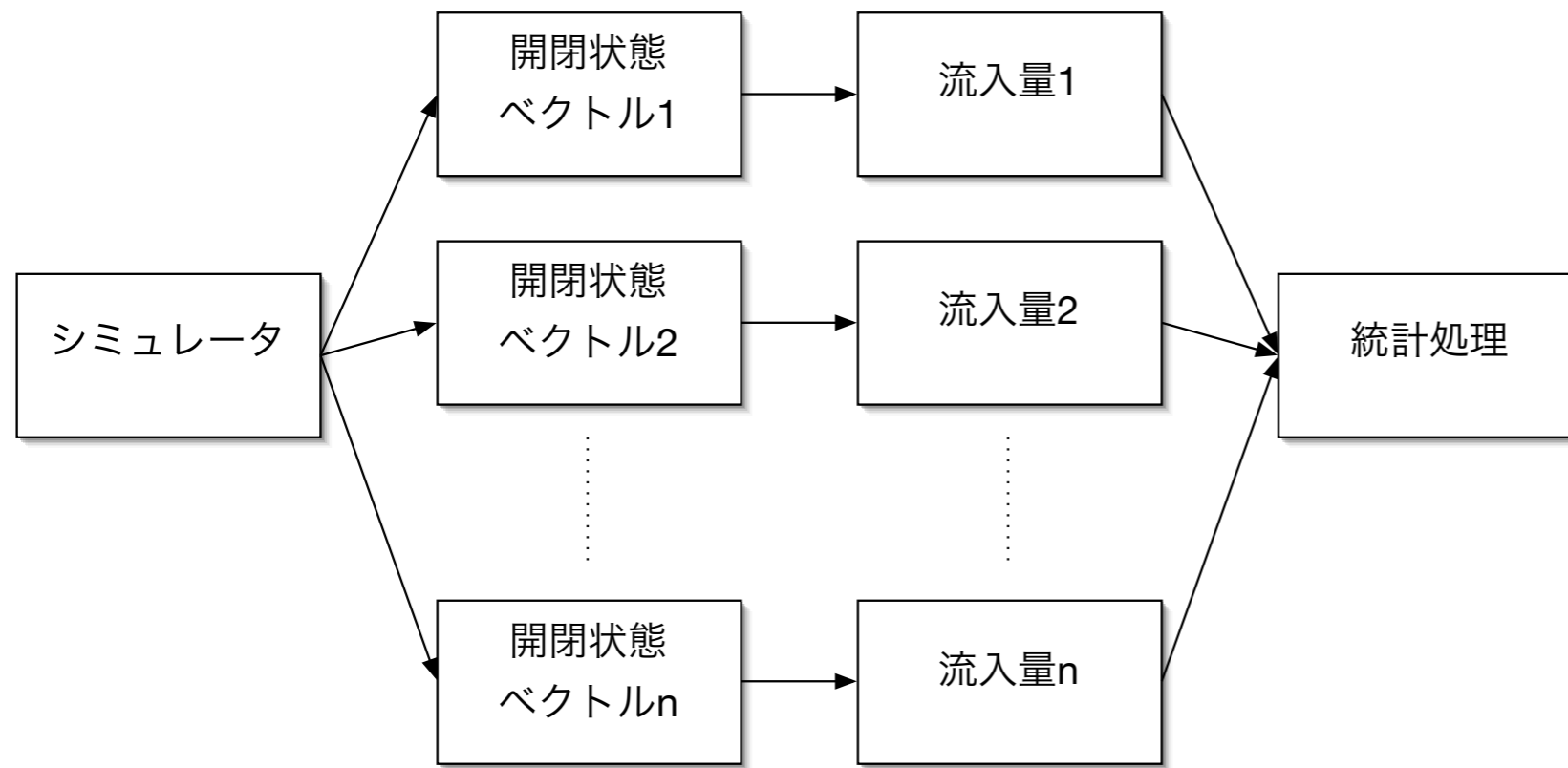
津波侵入に対する

門扉による防御システムの概念図

## 門扉の閉鎖に関わる要素

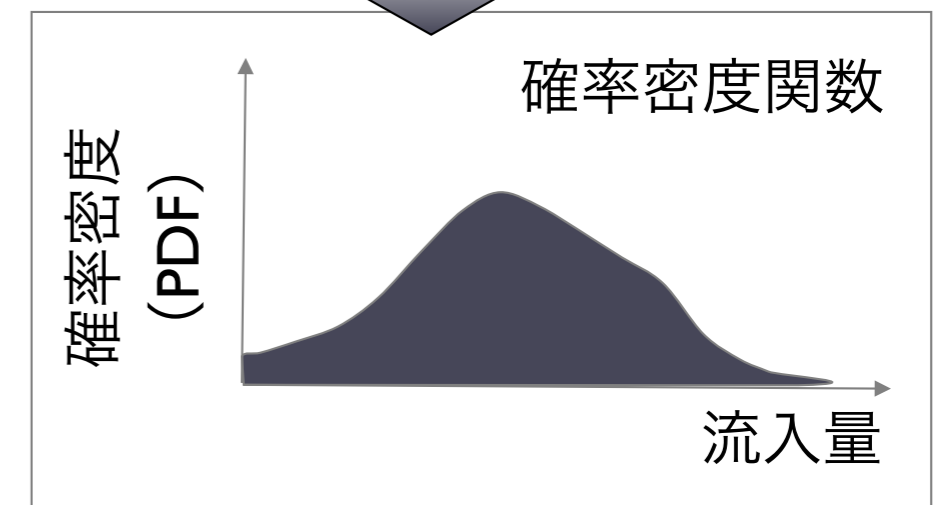
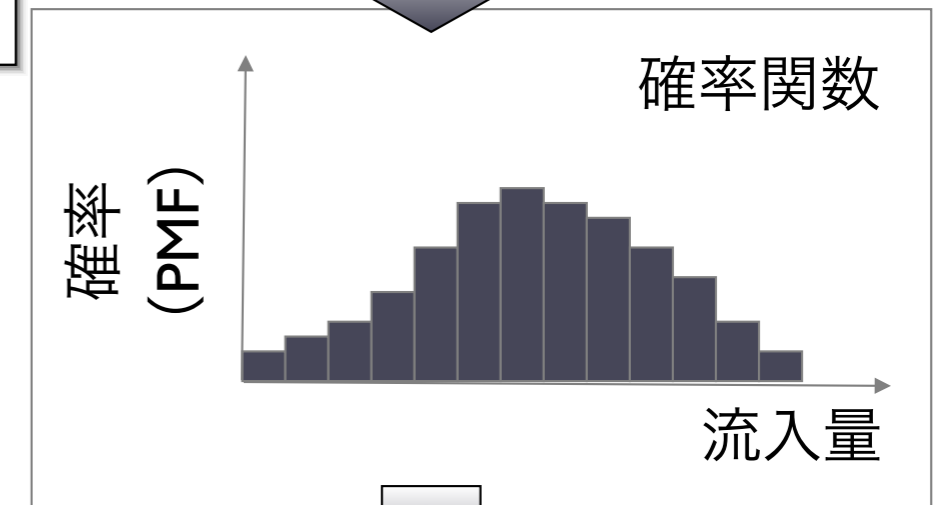
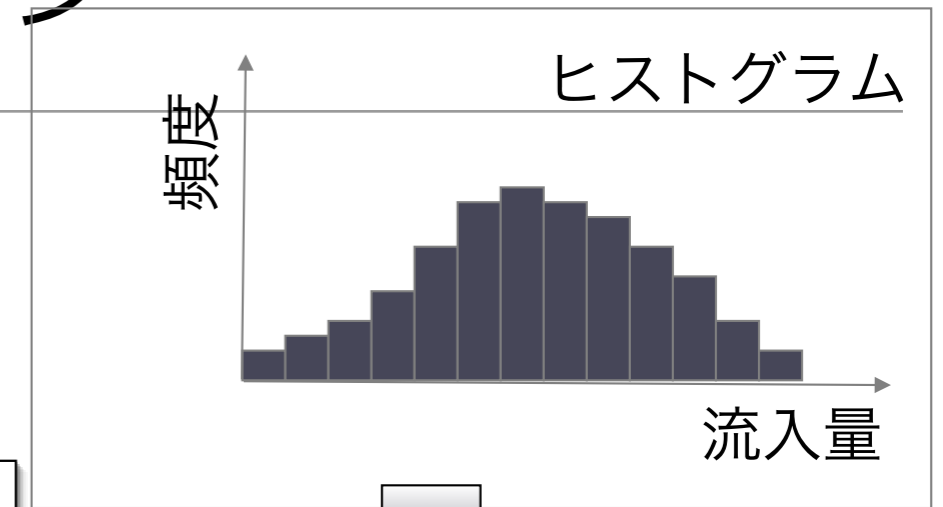
項目		分類
液状化による 不同沈下	液状化対策	ハード面
	門扉幅	
	地盤条件	
	地震動強度	
地震動による 構造部の損傷	設計荷重	ハード面
	建設年代	
閉鎖体制	人員数	ソフト面
	閉鎖時間	
	経路の被害	
フェイルセーフとなる代替対策		ソフト面
監視体制		

# モンテカルロ・シミュレーション



n回の試行で得られる n 個の総流入量

↓  
頻度分布  
↓総試行回数で除算  
確率関数  
↓区間幅で除算  
確率密度関数





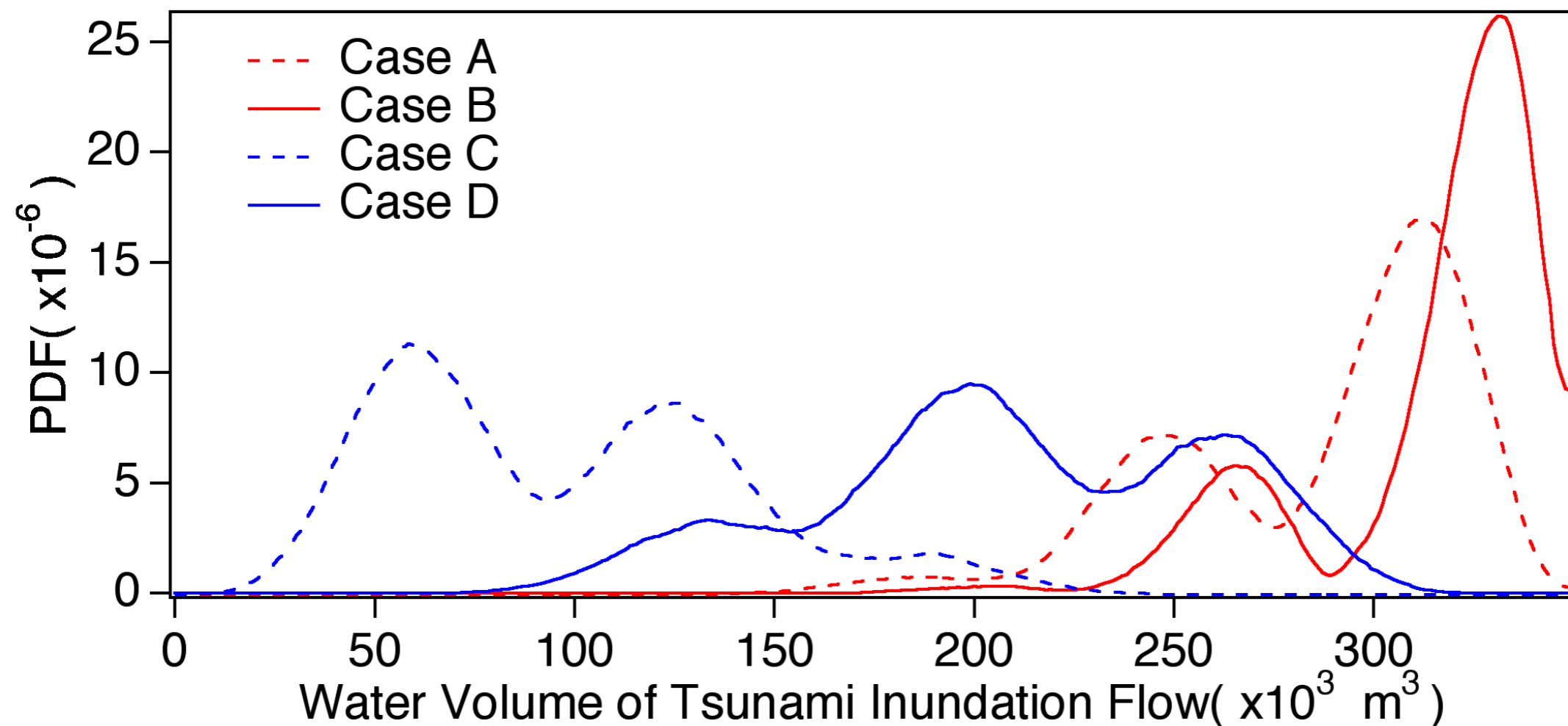
# 確率密度分布

Case A 震度6弱, 動員失敗率0.1

Case B 震度6弱, 動員失敗率0.5

Case C 震度5強, 動員失敗率0.1

Case D 震度5強, 動員失敗率0.5

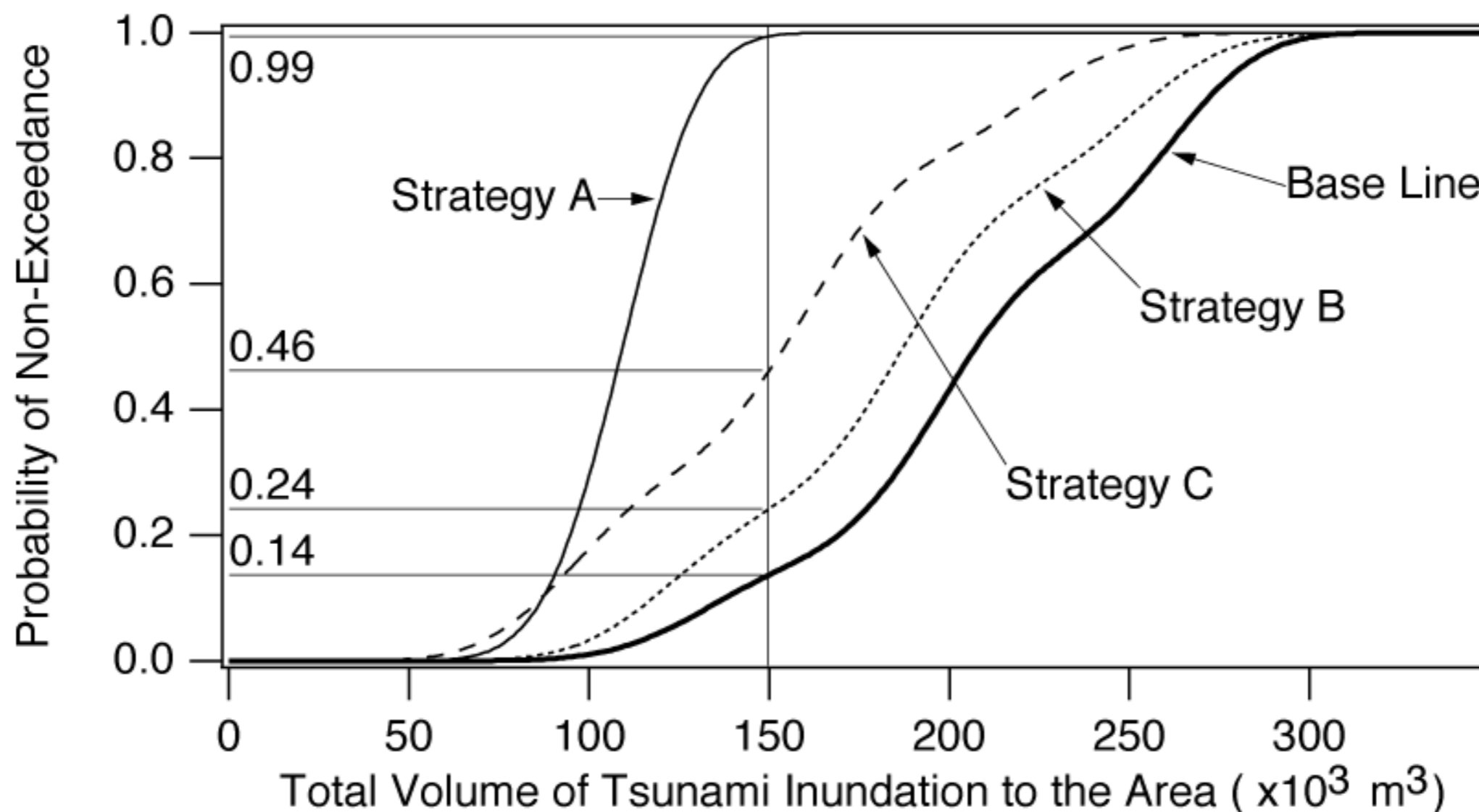


# 累積確率分布と対策実施による効果

Strategy A: 流入量の上位5基を廃止

Strategy B: 流入量の上位10基に液状化対策

Strategy C: 閉鎖体制の強化



# 被害率テーブル

## 家屋被害 浸水深別被害率

地盤 勾配	床下	床上				
		～0.5	0.5～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0～
～1/1000	0.032	0.092	0.119	0.266	0.580	0.834
1/1000～1/500	0.044	0.126	0.176	0.343	0.647	0.870
1/500～	0.050	0.144	0.205	0.382	0.681	0.888

## 事業所償却・在庫資産被害 浸水深別被害率

資産	床下	床上				
		～0.5	0.5～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0～
償却	0.099	0.232	0.453	0.789	0.966	0.995
在庫	0.056	0.128	0.267	0.586	0.897	0.982



# 一般資産リスク

種目	Base	Strategy C	Strategy B
家屋被害	50,603	41,626	49,347
家庭用品被害	142,857	119,817	139,435
事業所償却資産被害	165,027	136,301	161,450
事業所在庫資産被害	51,134	41,535	49,859
農漁家償却資産被害	5	4	5
農漁家在庫資産被害	1	1	1
計	409,628	339,286	400,098

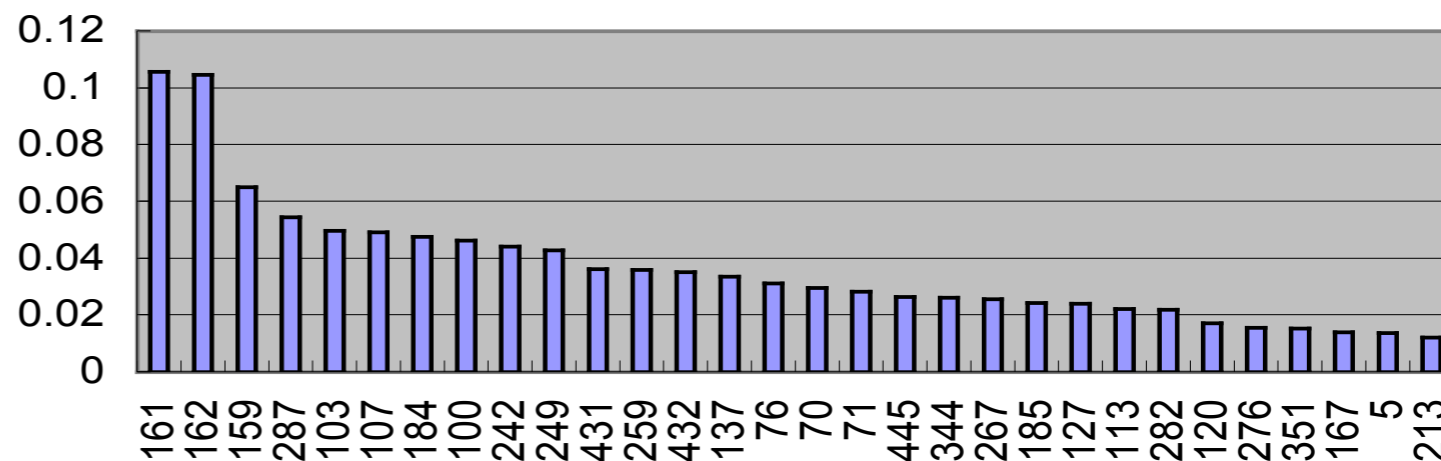
(百万円)

# 各防潮扉の重要度

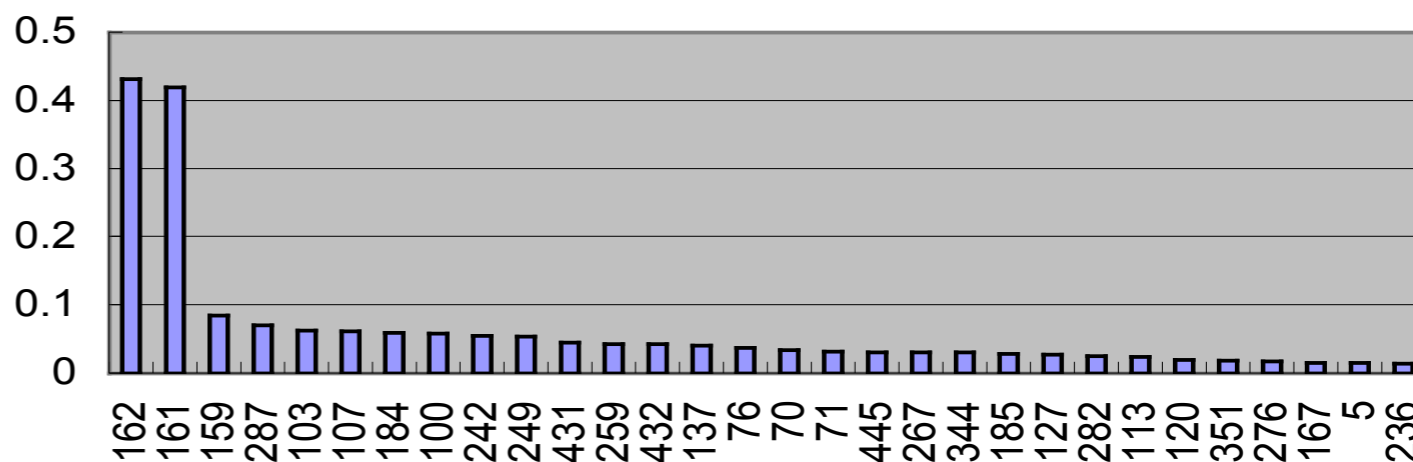
確率重要度 = 開いている時の非超過確率  
 - 閉まっている時の非超過確率

軽減目標に関する各防潮扉の確率重要度

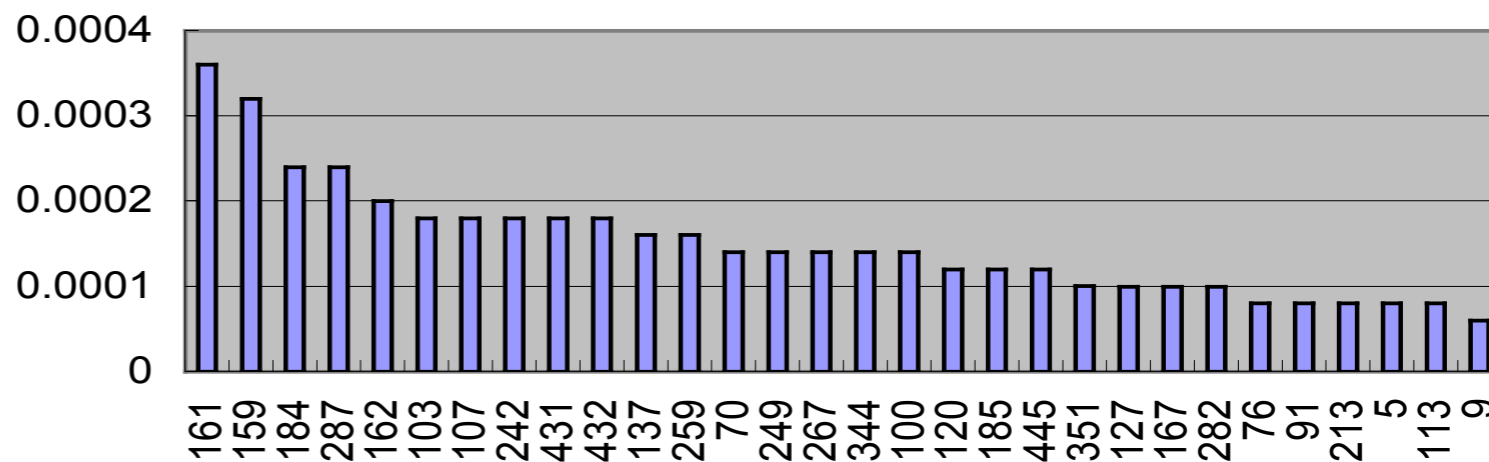
軽減目標総流入量  
 =280,000m<sup>3</sup>



軽減目標総流入量  
 =175,000m<sup>3</sup>



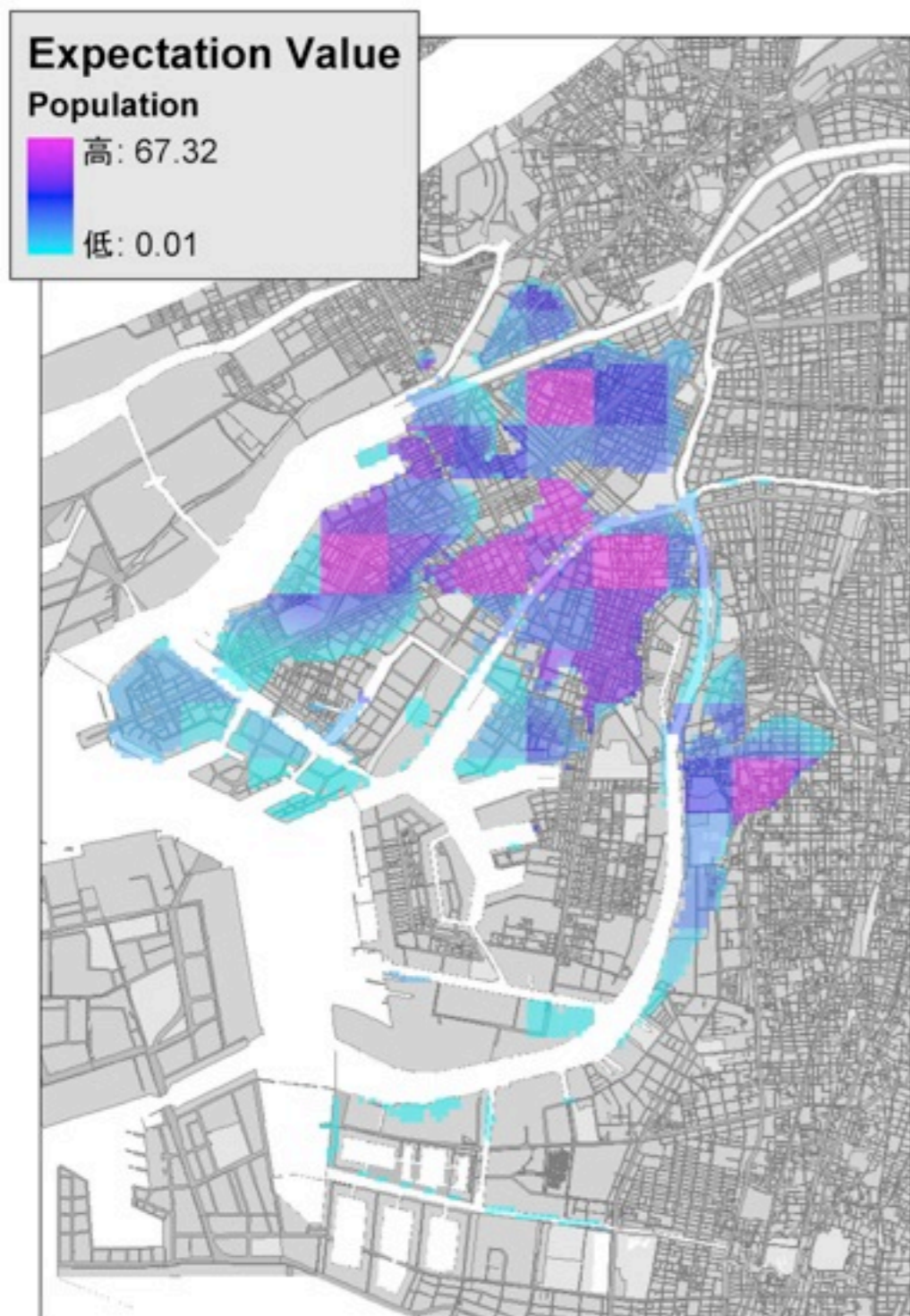
軽減目標総流入量  
 =70,000m<sup>3</sup>



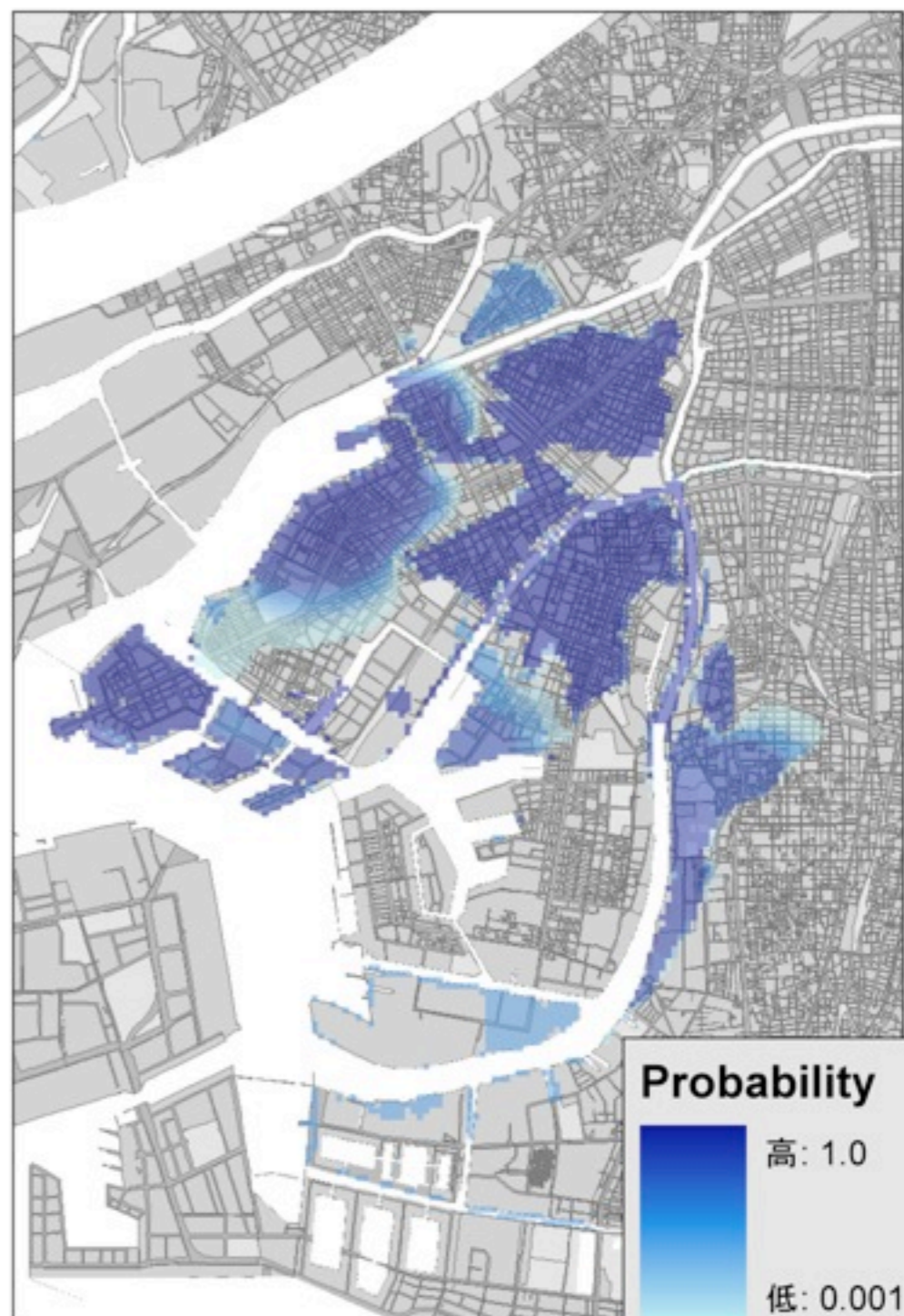
門扉番号 (確率重要度の高い順)

# リスク分析

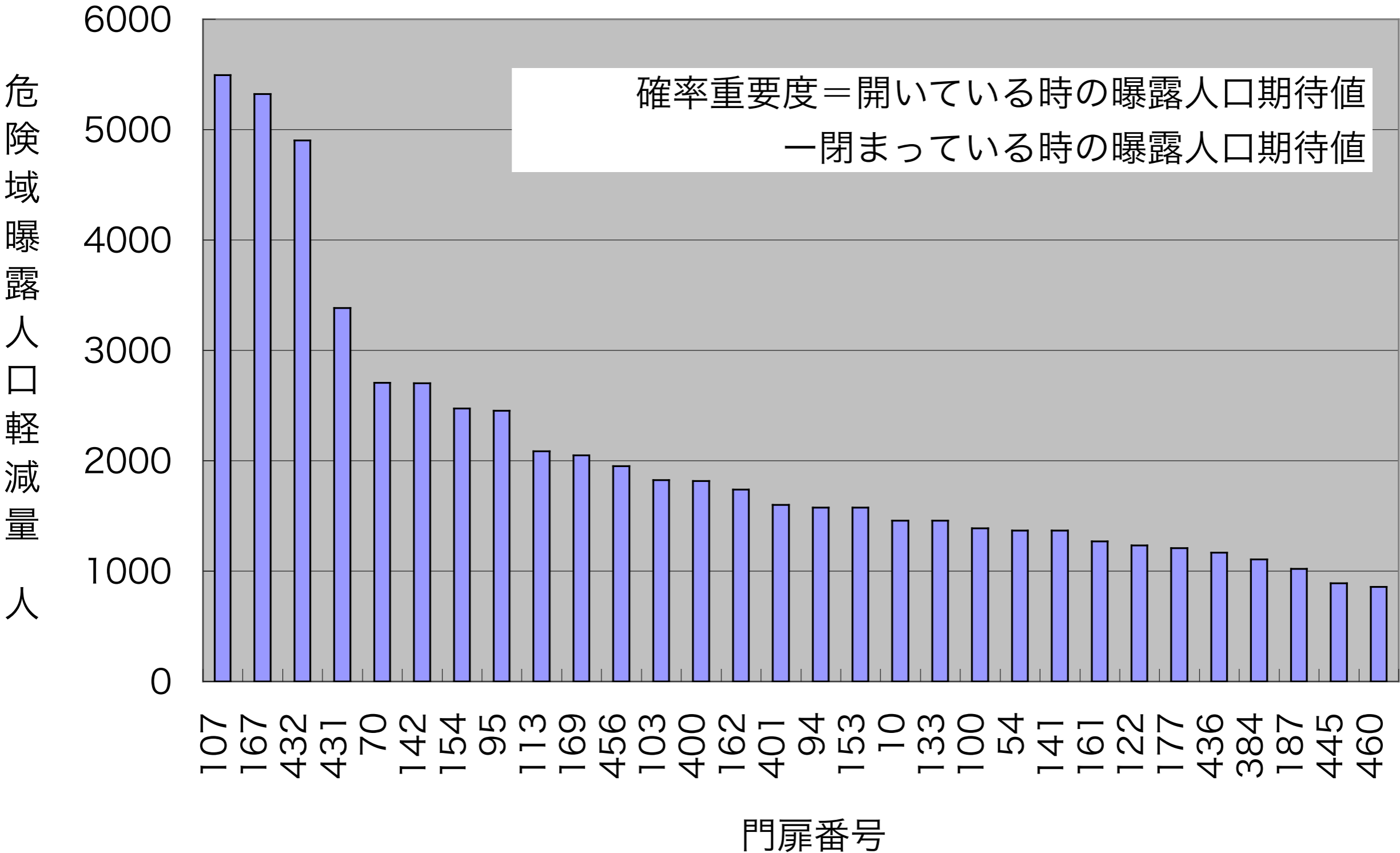
0.5m超過地域曝露人口期待値



0.5m超過確率



# 曝露人口に基づく防潮扉の重要度



# リスクの定量化と監視

# 首都直下地震防災戦略（直接被害）

【減災目標】今後10年間で死者数(想定)を半減

- ・風速15m/s 約11,000人→約5,600人(半減)
- ・風速3m/s 約7,300人→約4,300人(4割減)

## 具体目標

住宅・建築物の耐震化：耐震化率  
75%→90%

家具の固定：家具の固定率約  
30%→60%

密集市街地の整備：不燃領域率40%以上

初期消火率の向上：自主防災組織率  
72.5%→96%

急傾斜地の崩壊による災害から  
保全される戸数約1.3倍

## 減災効果

建物倒壊による死者軽減数

約1,300人減  
(うち、家具の固定約100人減)

火災による死者軽減数

- ・風速15m/s 約4,000人減
- ・風速3m/s 約1,500人減

急傾斜地崩壊による死者軽減数

約100人減



# 首都直下地震防災戦略（間接被害）

【減災目標】今後10年間で経済被害額(想定)を4割減

- ・風速15m/s 約112兆円→約70兆円(4割減)
- ・風速3m/s 約94兆円→約60兆円(4割減)

## 具体目標

復旧費用軽減対策:

交通ネットワーク早期復旧対策:

- ・住宅・建築物の耐震化率

75%→90%

- ・緊急輸送道路の橋梁の耐震補強を概ね完了

- ・耐震強化岸壁の整備率  
約55%→約70%

企業による事業継続:

BCP策定企業の割合

大企業ほぼ全て

中堅企業50%以上

## 減災効果

復旧費用軽減額

- ・風速15m/s 約26兆円減
- ・風速3m/s 約19兆円減

生産活動停止による被害軽減額

約4兆円減

交通寸断による被害軽減額

約0.7兆円減

全国・海外への経済波及の軽減額

- ・風速15m/s 約11兆円減
- ・風速3m/s 約10兆円減

