

自然災害に対する建物の危機管理

京都大学防災研究所・巨大災害研究センター

畑田 朋彦

2012年7月4日 危機管理特論

自己紹介

畑田朋彦

京都大学防災研究所

巨大災害研究センター・客員准教授

鹿島建設(株)技術研究所

先端メカトロニクスGr.・上席研究員

(略歴)

1989年3月大阪大学工学研究科修士課程修了

1989年4月鹿島建設(株)小堀研究室

1997年6月スタンフォード大学エンジニア課程修了

2000年4月鹿島建設(株)建築設計本部

2000年7月大阪大学博士(工学)

2008年4月鹿島建設(株)技術研究所

本日の講義の内容

- (1) 自然災害の概要
- (2) 東北地方太平洋沖地震の概要
- (3) ハザードとリスクの関係
- (4) 地震リスク評価
- (5) リスクマネジメント
- (6) 事業継続計画 (BCP)
- (7) 建設会社の震災BCP

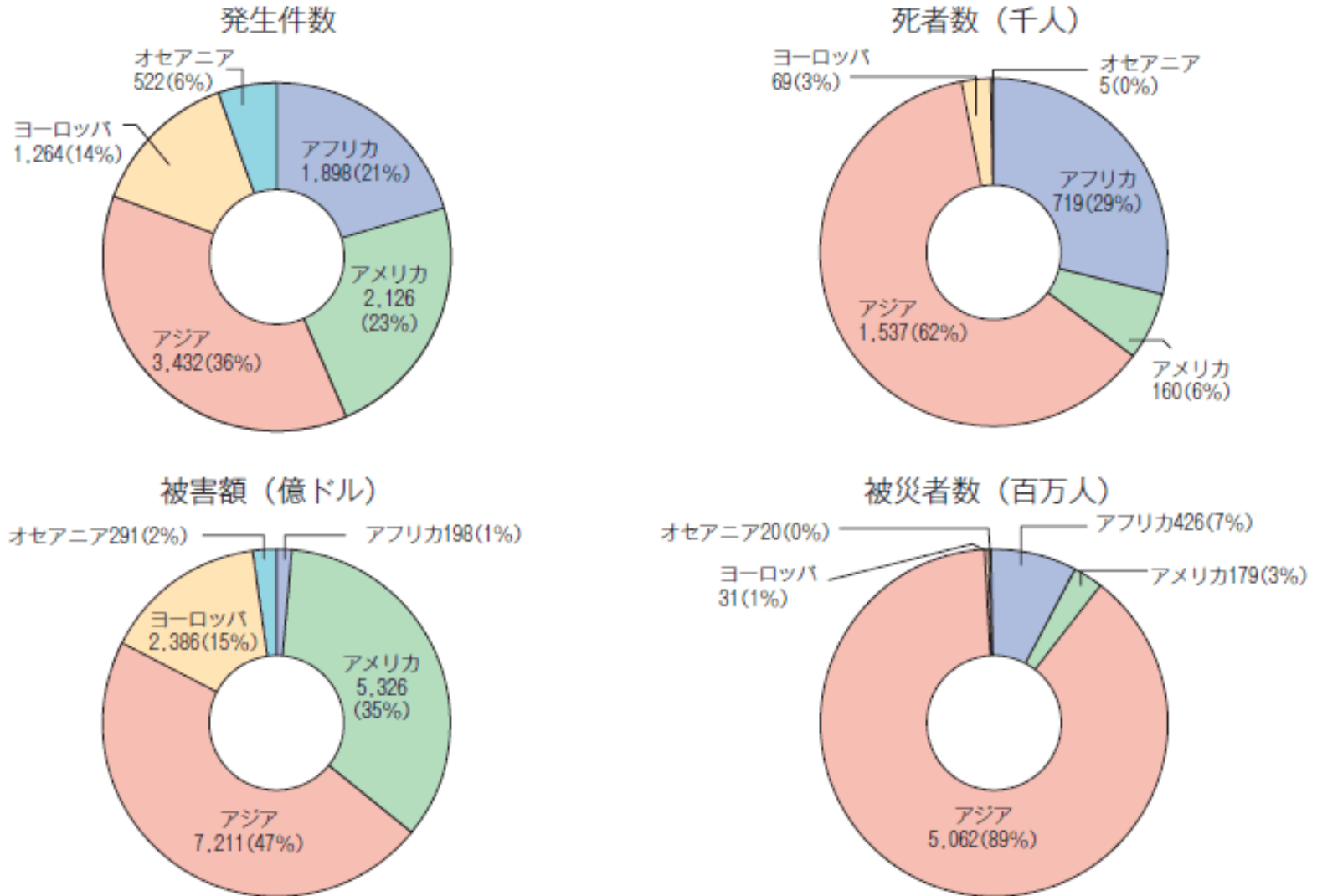
(1) 自然災害の概要

自然災害の種類

1. 地震：地震動，液状化，崖崩れ，津波，火災等
2. 台風：強風（台風，温帯低気圧，寒冷前線，竜巻，ダウンバースト），高潮，波浪等
3. 豪雨：洪水，崖崩れ，土石流，地滑り等
4. 豪雪：積雪，雪崩，寒波等
5. 火山：火砕流，火山泥流，溶岩流，津波，火砕物（降灰，噴石），火山ガス，山体崩壊等
6. 火災：建物火災，都市火災，森林火災等
7. 異常気温：熱波，寒波

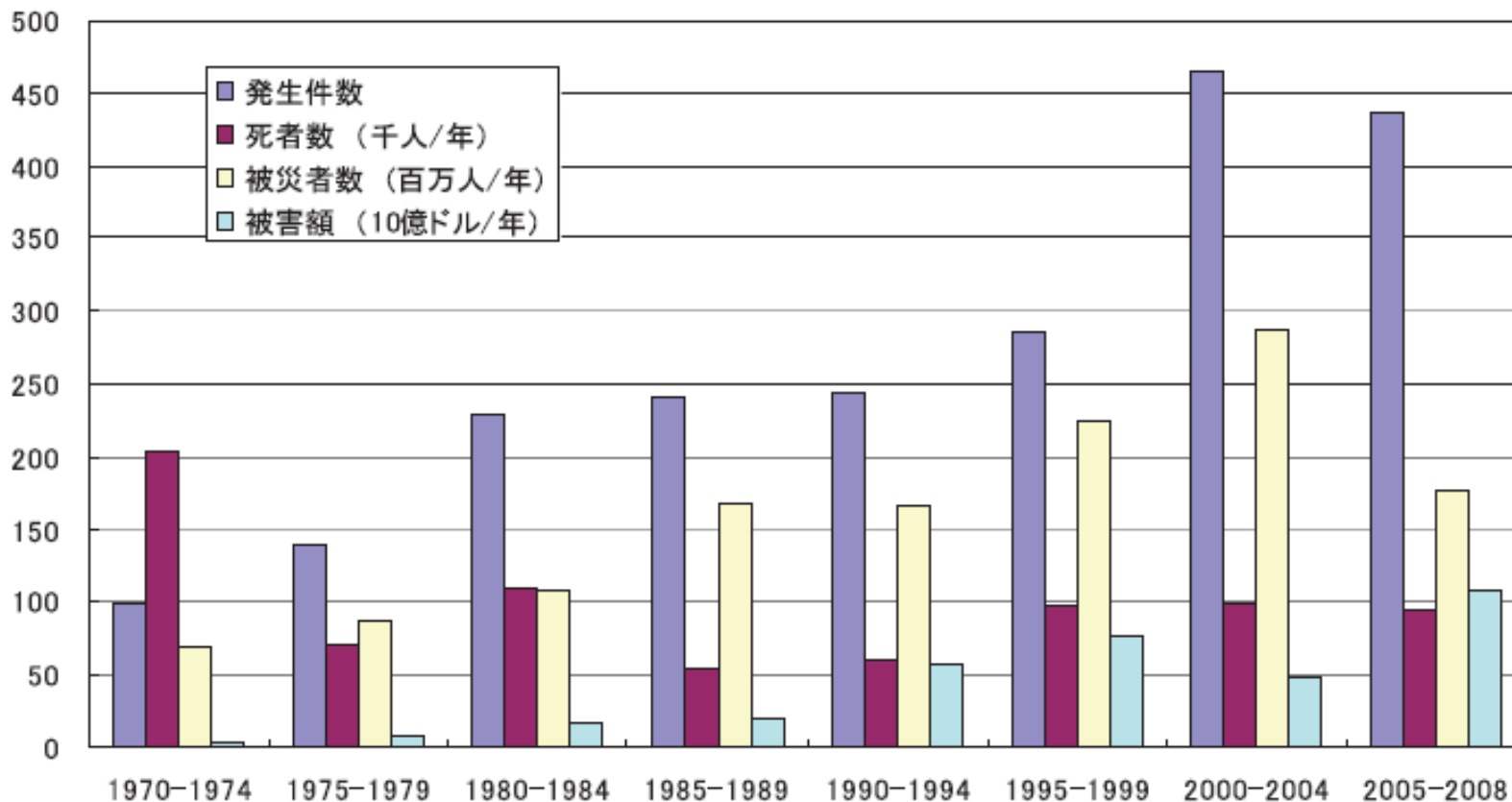
世界の地域別自然災害

図 4-1-2 地域別に見た1978～2008年の世界の自然災害



世界の自然災害の経年変化

図4-1-1 世界の自然災害発生頻度及び被害状況の推移（年平均値）



資料：CRED, アジア防災センター資料を基に内閣府において作成。

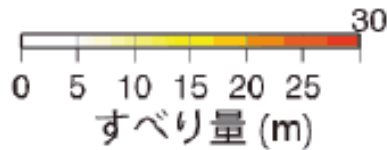
(2) 東日本大震災の概要

東北地方太平洋沖地震の震源モデル(気象庁)

図1-1-2 震源域における断層面のすべり分布

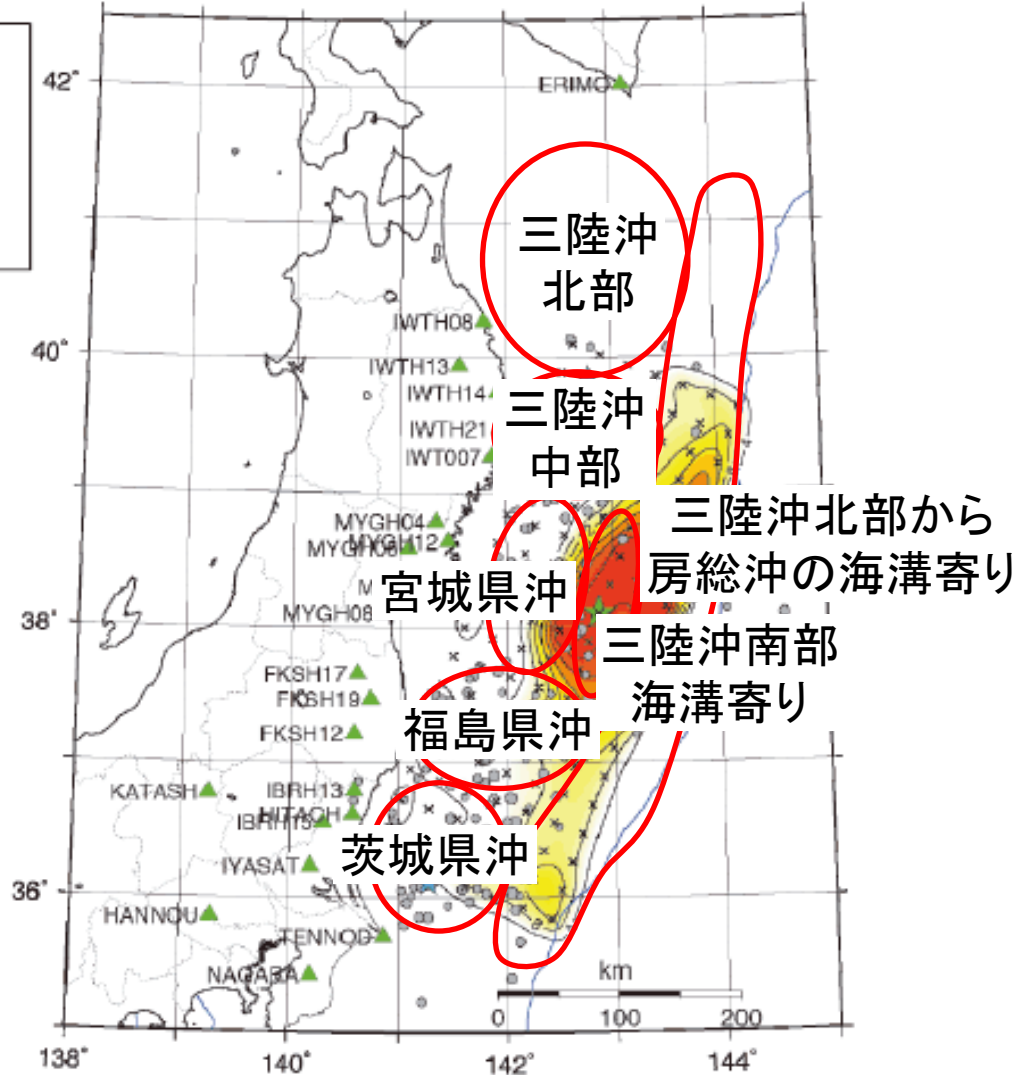
- **最大すべり量は約30m**
- **壊れ続時間は約170秒間**
- **大きくすべった領域の周辺で余震が多発**

- ★ 本震の破壊開始点
- ★ 3月9日以降のM7以上の地震の震央
- 本震発生から1日間のM5以上の地震の震央
- × 各小断層の中心点
- ▲ 解析に用いた観測点



コンターの間隔は4m

震源過程解析から推定された、断層面上のすべり量分布



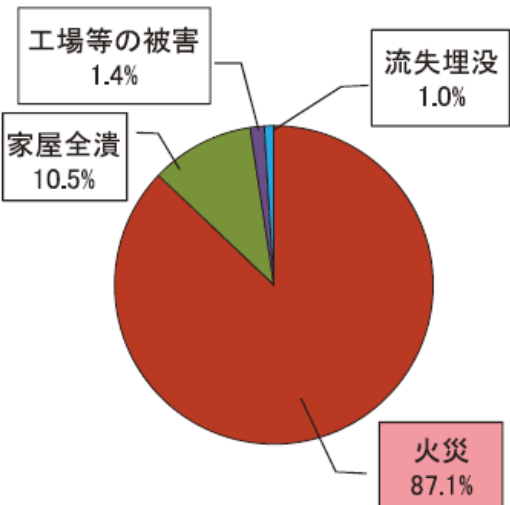
出典: 気象庁気象研究所資料をもとに作成

東日本大震災の死者

図1-1-4 東日本大震災における死因（岩手県・宮城県・福島県）

(平成23年4月11日現在)

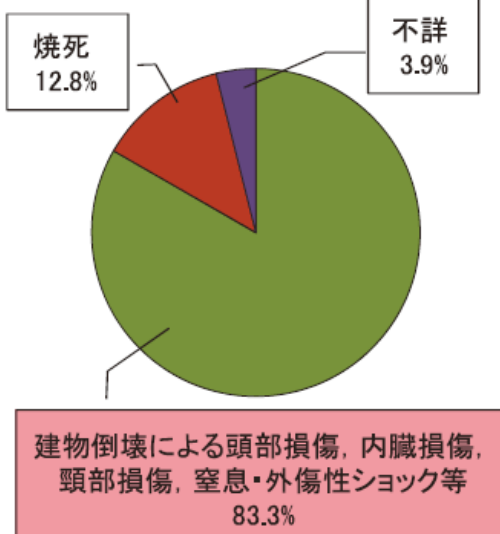
関東大震災における死因



死者・行方不明者 105,385名

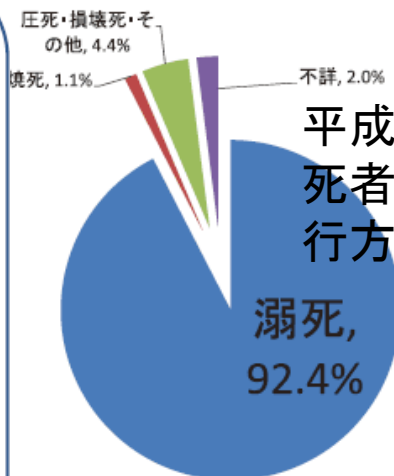
(出典) 日本地震工学会「日本地震工学会論文集Vol4, No.4September 2004」, 関東地震(1923年9月1日)による被害要別死者数の推定, 藤井孝文・武村雅之

阪神・淡路大震災における死因



死者 6,434名
行方不明者 3名

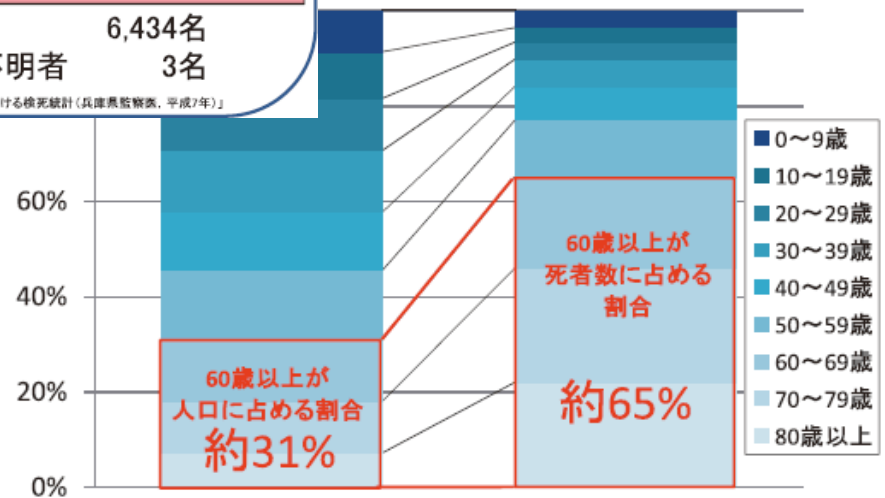
出典:「神戸市内における検死統計(兵庫県警発表, 平成7年)」



平成23年12月8日現在
死者 : 15841人
行方不明 : 3493名

(警察庁資料より内閣府作成)

死者と地域人口の年齢構成比較（岩手県・宮城県・福島県）



人口構成 (平成22年9月1日時点) 東日本大震災による年齢別死者 (4月11日まで)

(警察庁資料, 総務省資料より内閣府作成)

地震被害の特徴は、時代背景, 地震動の特性, 地域の特徴等によって大きく変わる。

東日本大震災の建物被害の概要

- (1) 土木・建築とも津波被害が圧倒的に多く、地震の揺れによる建物の倒壊や大破は少ない。特に1981年の新耐震以降に建設された建物の構造被害は少ない。
→中低層建物に被害を与える1~2秒の周期成分が小さい。兵庫県南部地震では、この周期成分が卓越した。
- (2) 天井や外装材などの非構造部材の被害が多い。
→非常に長い継続時間や余震の影響、耐震化の不徹底。
- (3) 免震・制震装置の有効性が確認された。
- (4) 関東地方を中心に非常に広範囲で液状化が発生し、住宅やライフライン、社会基盤施設に大きな被害を与えた。
→非常に長い継続時間や余震の影響が大きい。
- (5) 東北地方の沿岸部でも液状化が発生したと考えられるが、液状化の痕跡が津波で消されている。津波で倒壊したRC造建物は、地盤が液状化した状態で津波が来襲したため、浮き上がったとの意見も。

(3) ハザードとリスクの関係

工学におけるハザードとリスクの定義

■ハザード

- ・危険や損失をもたらす外乱の大きさと発生頻度（確率）の関係
- ・外的な与条件
- ・地震ハザード、強風ハザード、火山ハザード等

■リスク

- ・危険や損失の大きさと発生頻度（確率）の関係
- ・管理や制御の対象
- ・地震リスク、強風リスク、火山リスク等
- ・直接被害：構造的被害等の物理的被害
- ・間接被害：直接被害による操業停止等の二次的被害

ハザードとリスクの関係

ハザード

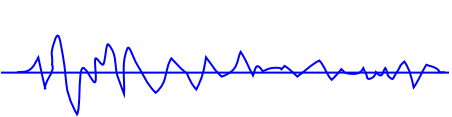
建物の状況

リスク

大  →




→ 小

小  →

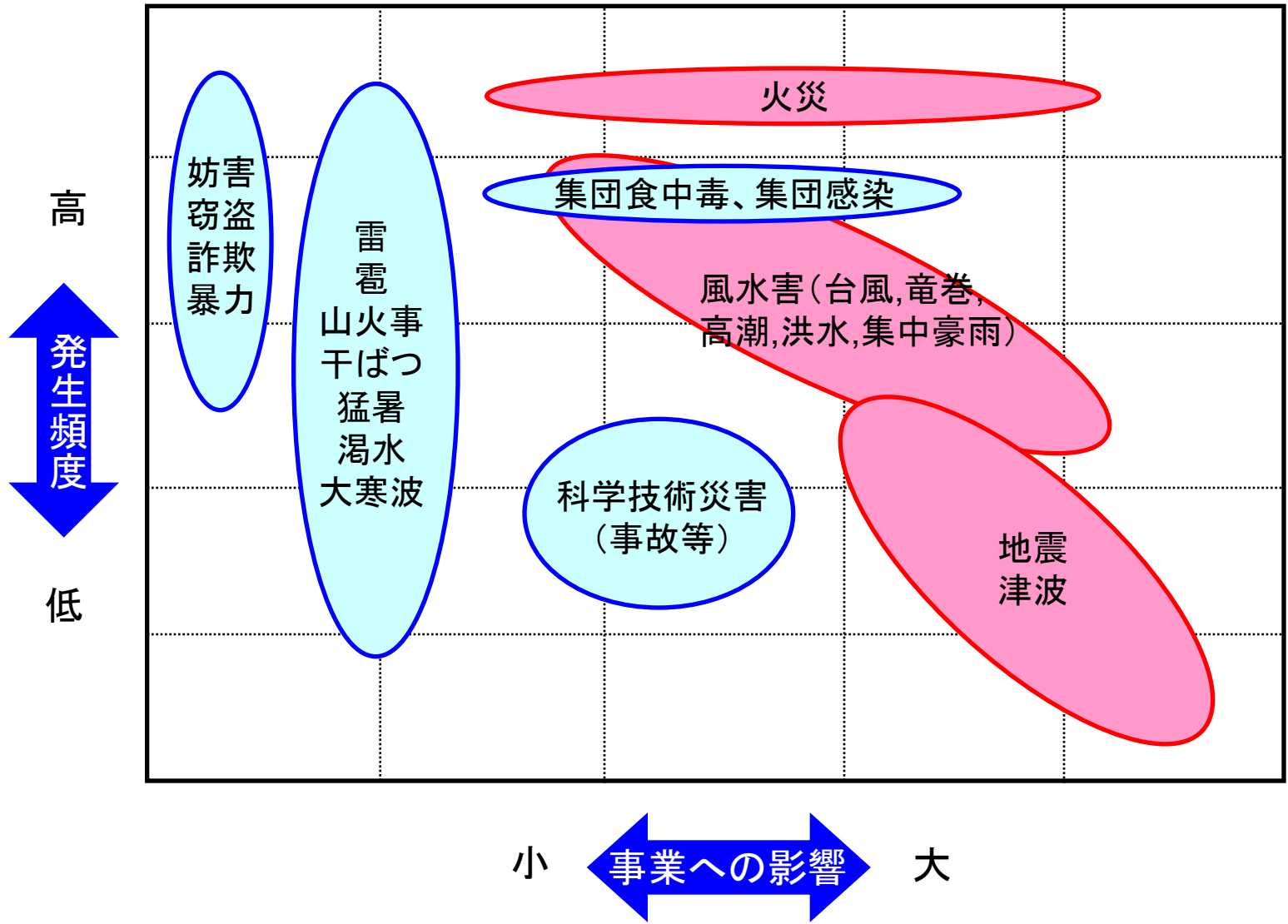


→ 中

大  →

→ 大

各種ハザードと事業への影響度の関係



(4) 地震リスク評価

地震リスクの表現

■ イベントカーブ

- ・ある期間における地震による損失の超過確率を示す曲線(評価における不確実さを考慮せず)

■ 地震リスク曲線

- ・ある期間における地震による損失の超過確率を示す曲線(評価における不確実さを考慮)

■ 予想最大損失率

- ・PML(Probable Maximum Loss)
- ・地震リスクの大小を表す一つの指標
- ・[建設業界]再現期間475年の地震が発生したときの90%非超過確率に相当する物的損失額の再調達費に対する割合

地震リスクの活用

■不動産等の資産管理

- ・資産全体(ポートフォリオ)の地震リスクの管理
- ・地震リスクの大きな不動産の処理

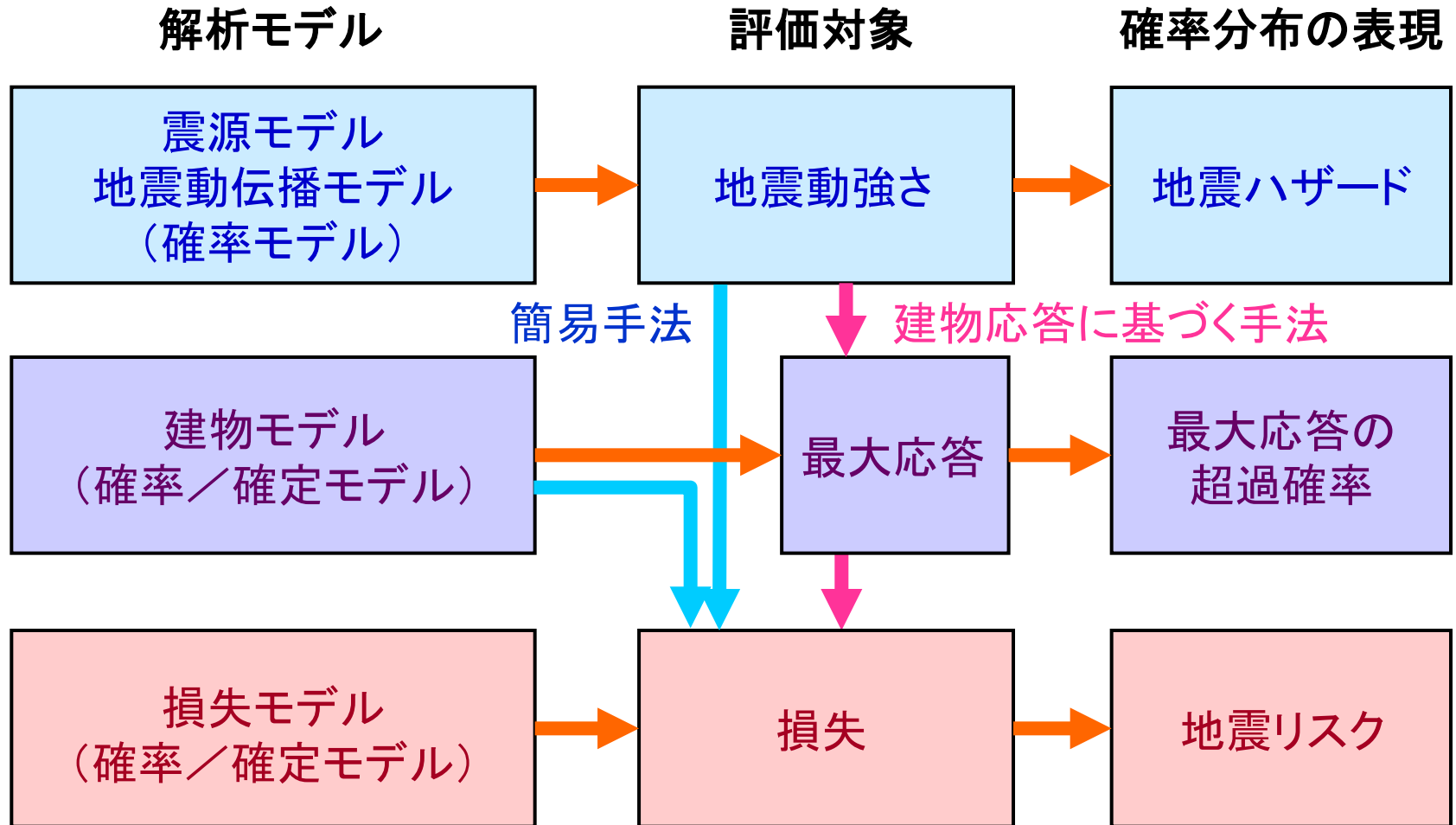
■耐震設計・耐震安全性の確認

- ・構造物の地震リスクをあるレベル以下になるように設計・補強
- ・既存構造物の耐震安全性の確認

■企業の地震防災

- ・地震リスクを踏まえて事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan)を策定

地震リスクの評価フロー



地震ハザードの定義

■地震ハザードとは

- ・地震動強さ(震度、最大加速度、最大速度等)と発生頻度(確率)の関係

■具体的には

- ・今後30年間に東京で震度6弱以上が発生する確率は10%[震度6弱の超過確率は10%]

■参考:降水確率

- ・今後の6時間以内に1mm以上の降水がある確率は30%

地震ハザードの表現

■地震ハザードの面的分布

- ・地震ハザードマップ

■特定地点の地震ハザード

- ・地震ハザード曲線

ある期間においてどの程度の揺れがどの程度の頻度(確率)で発生するか

- ・一様ハザードスペクトル

地震動の周期特性も表現

地震ハザードの活用

■地震対策

- ・地域や地点の地震の起こりやすさを示す指標として評価
- ・施設の立地の検討等

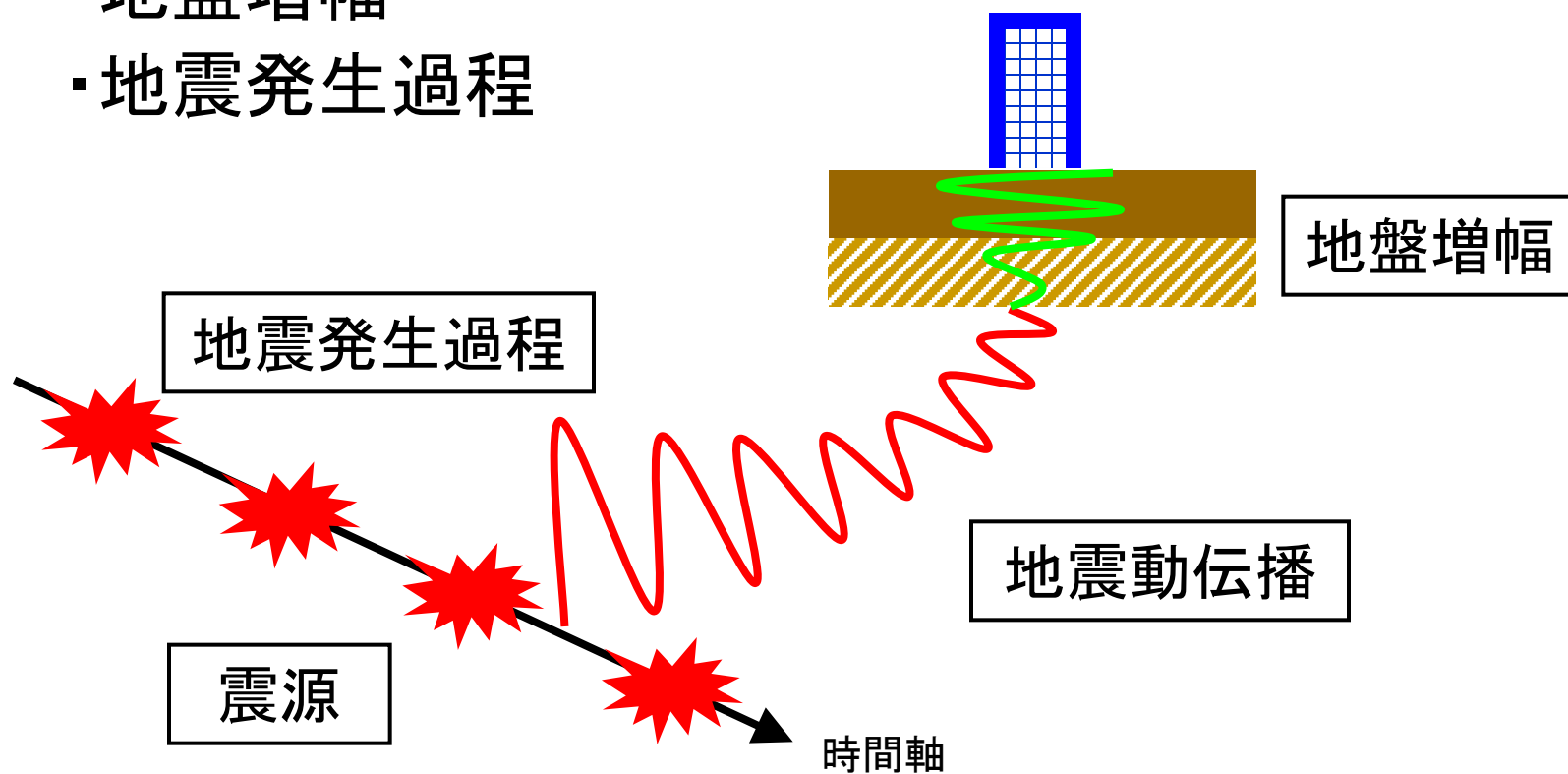
■地震リスク評価

- ・構造物や地域等の地震リスク評価のための入力として評価
- ・企業の地震リスク評価、原子力発電所の耐震安全性評価等

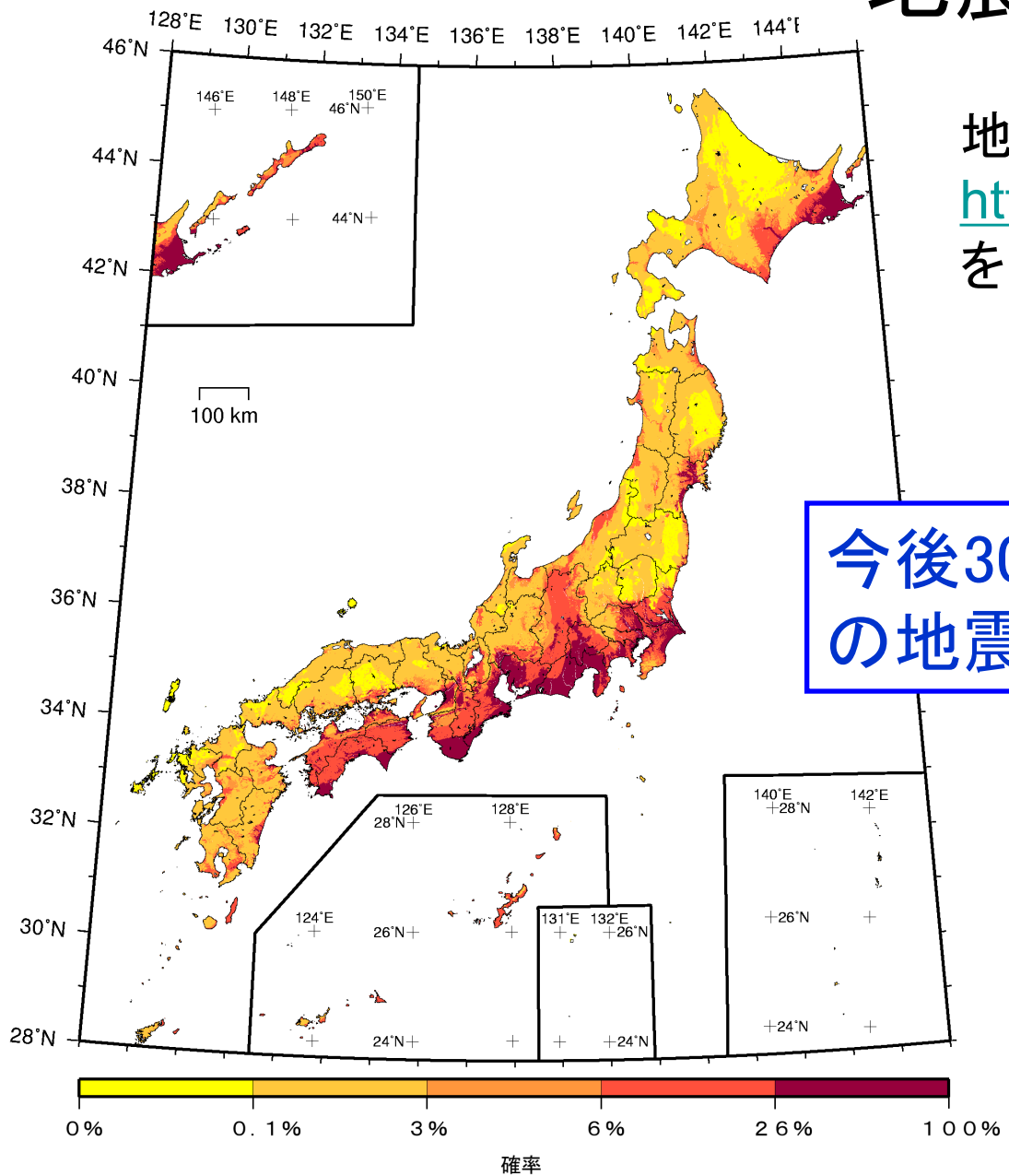
地震ハザード曲線の評価モデル

■ 地震ハザードを決める要素

- ・ 震源
- ・ 地震動伝播
- ・ 地盤増幅
- ・ 地震発生過程



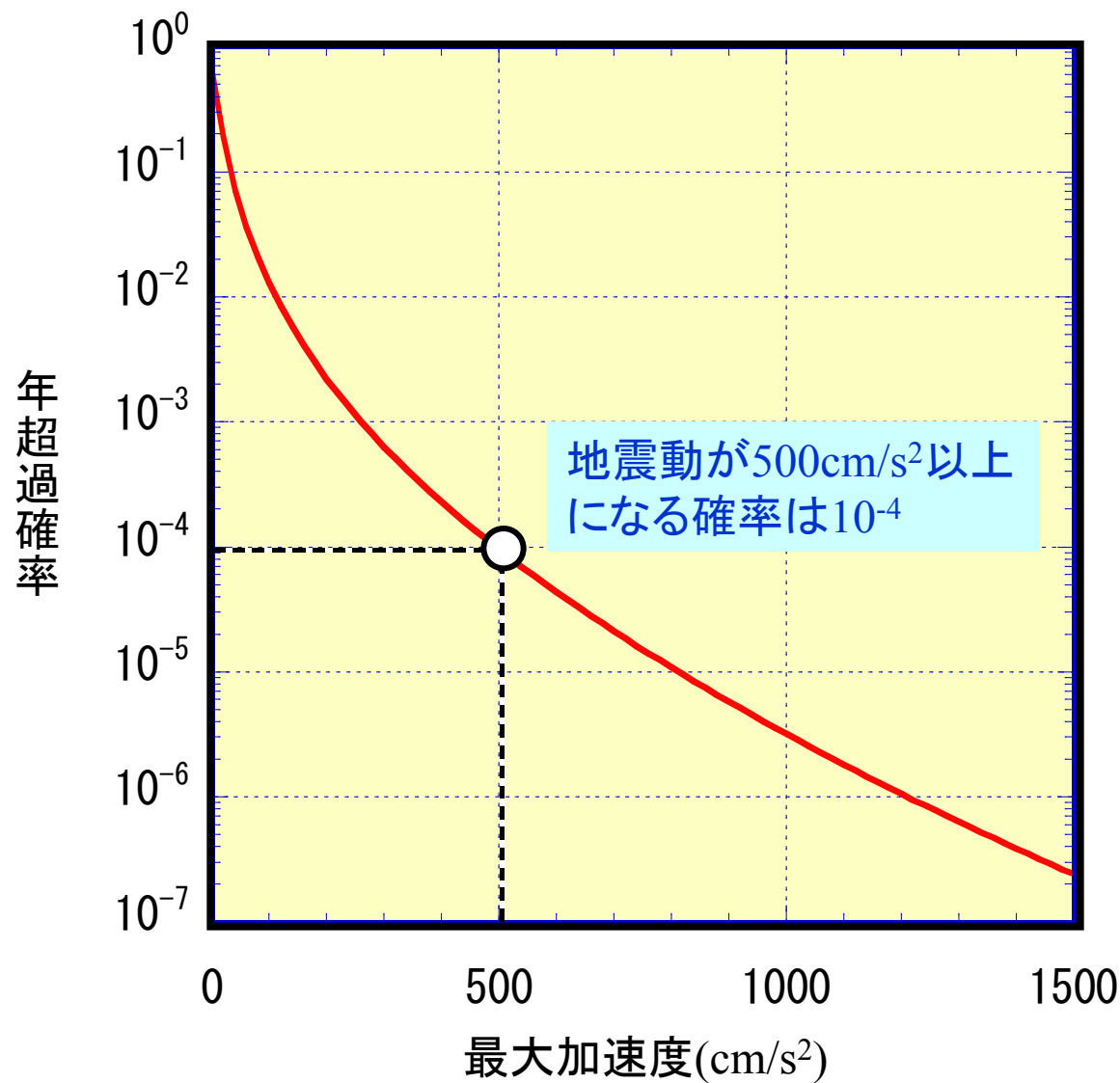
地震ハザードマップ



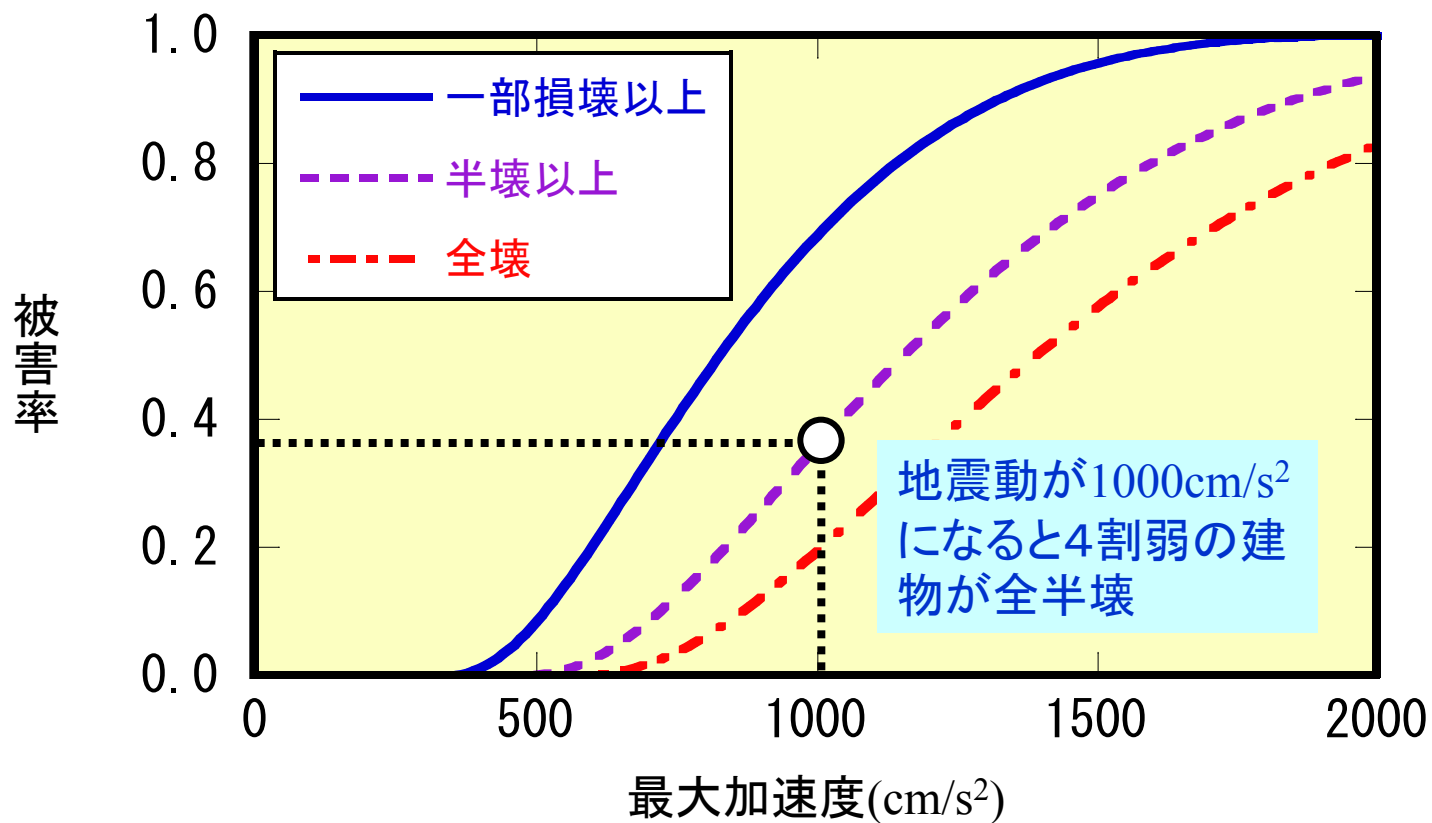
地震ハザードステーション
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
を見てみよう！

今後30年間に震度6弱以上の地震動が発生する確率

地震ハザード曲線(最大加速度の年超過確率)

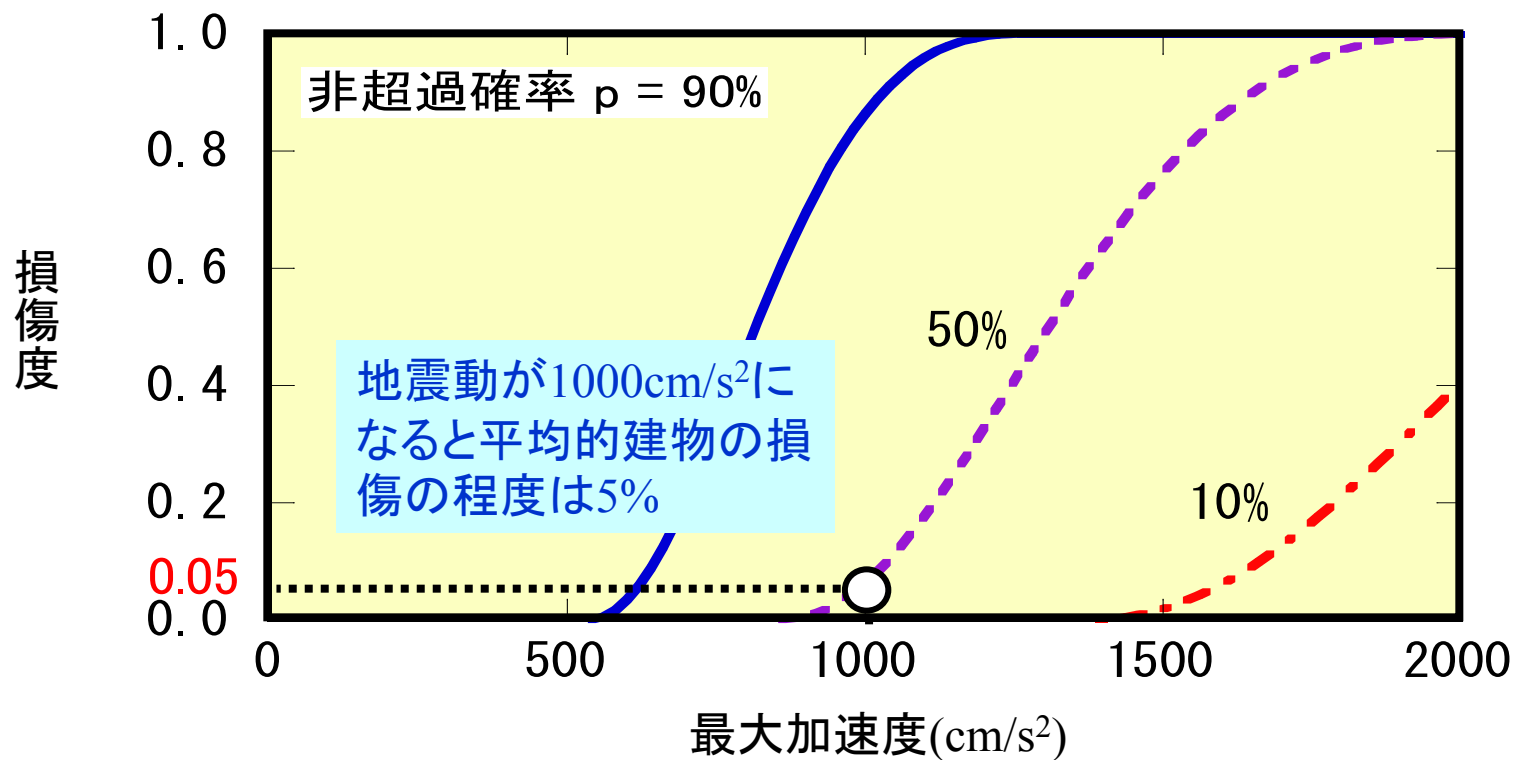


建物の被害率曲線



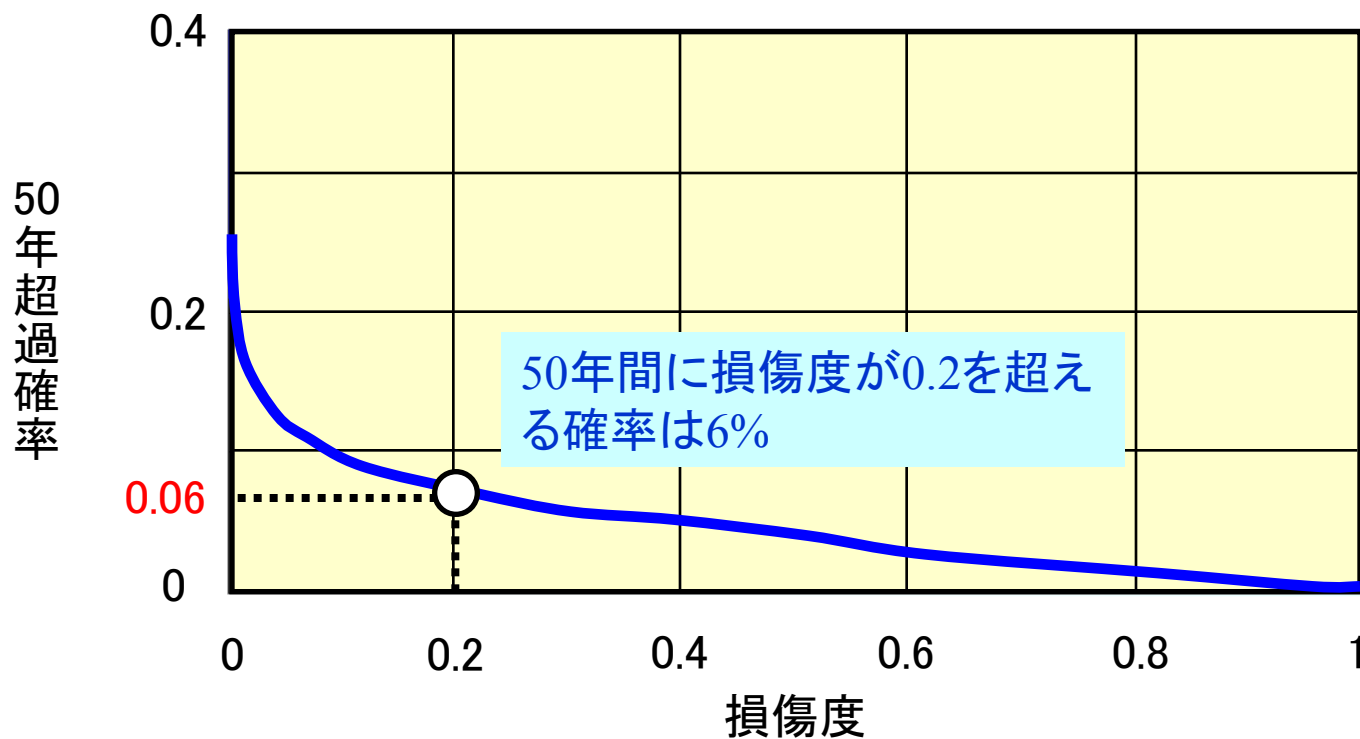
1971年以前のRC造建物の例

建物の損傷度曲線



1971年以前のRC造建物の例

地震リスク曲線



$$\text{損傷度} = (\text{建物被害額}) / (\text{再調達価格})$$

地震リスクに基づく耐震性能評価

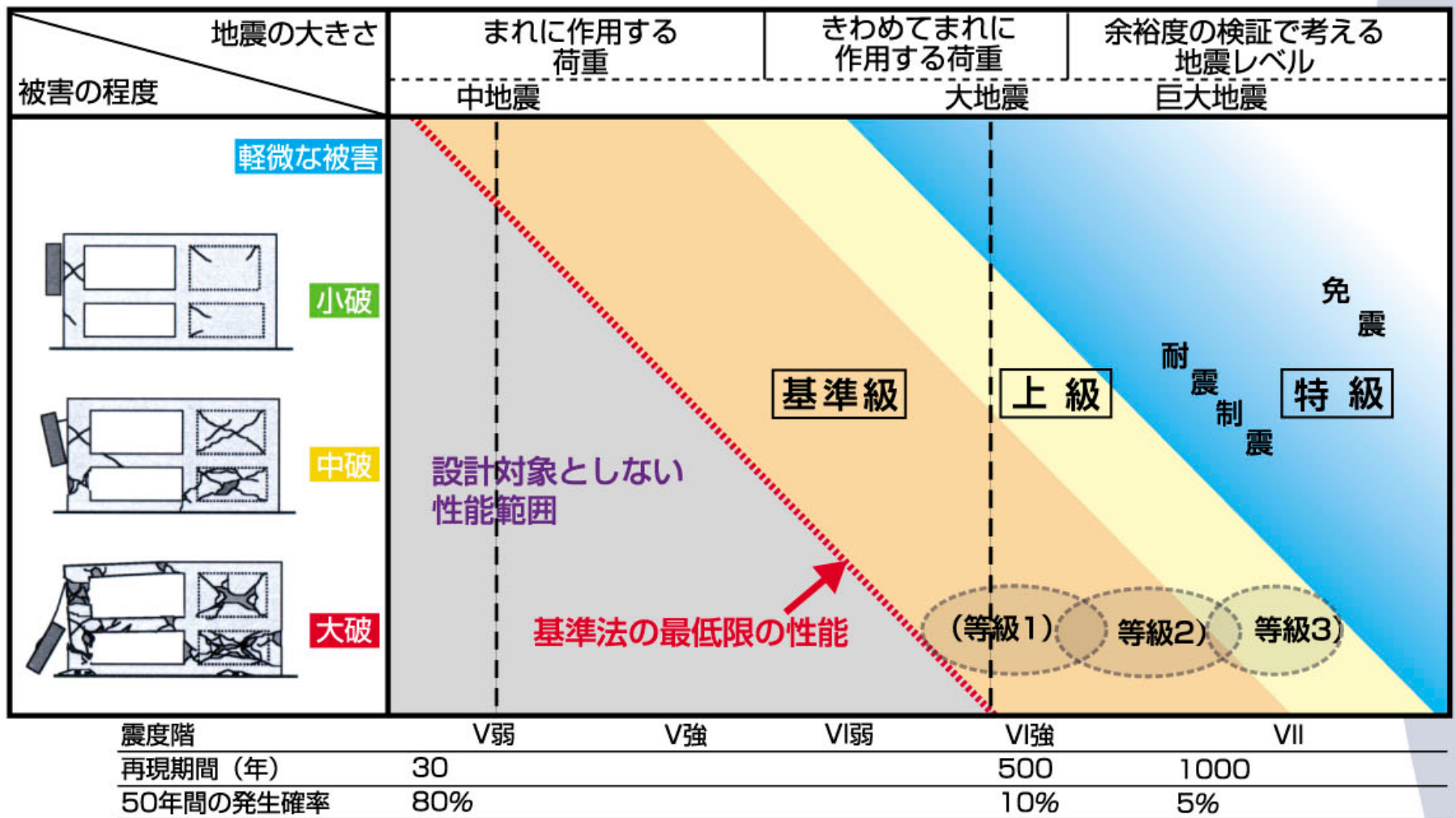
■ 性能設計

- ・従来の仕様規定から性能規定による設計への流れ
仕様規定：材料や寸法などの仕様による規定
性能規定：性能による規定

■ 耐震性能マトリクス

- ・構造物の耐震性能：どの程度の地震動に対してどの程度の損傷まで許容するか
- ・耐震性能マトリクス：耐震性能のグレードを満たすべき性能により示すもの

耐震性能マトリクス (JSCA)



*地震荷重の再現期間、発生確率は、東京地区における例を示す。

▲ 関東大震災 (東京大手町地区)

▲ 阪神・淡路大震災 (神戸三宮地区)

地震による予想最大損失(PML)

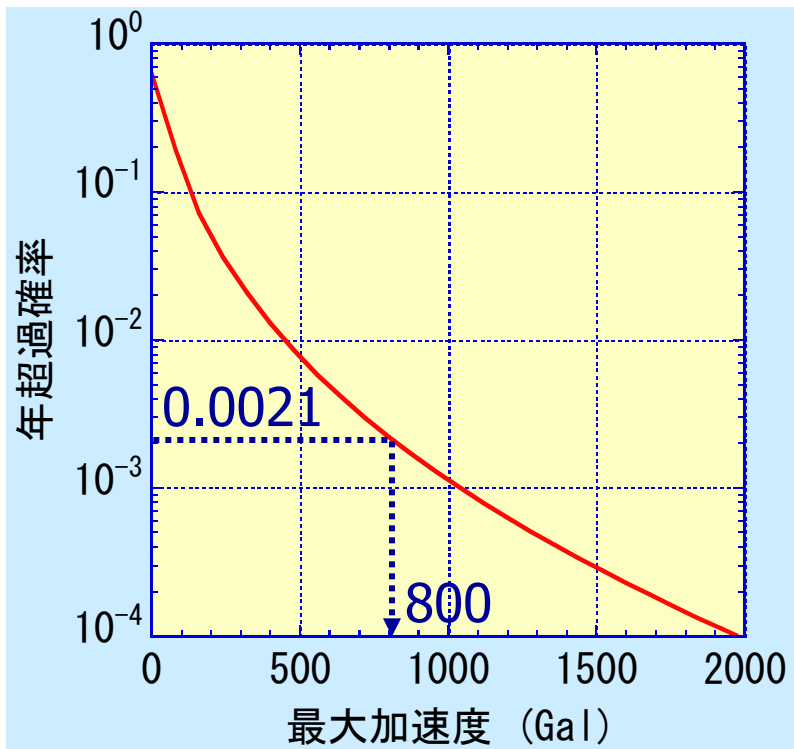
■ 定義

- ・再現期間475年の地震が発生したときの90%非超過確率に相当する物的損失額の再調達費に対する割合
- ・再現期間475年の地震動=50年間で10%の超過確率で発生する地震動
- ・ポアソン過程の場合

$$p_{ex} = 1 - \exp(-50/475) \approx 0.1$$

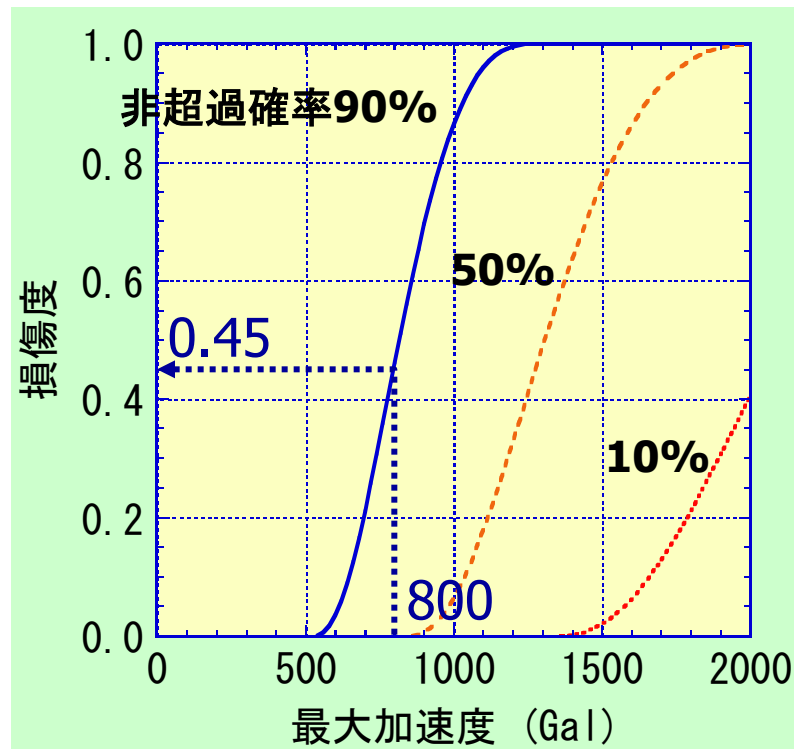
(年平均発生頻度が1/475の地震動が50年間に発生する確率は10%)

PMLの算定



再現期間475年(年超過確率
0.0021)の最大加速度は800Gal

地震ハザード曲線



最大加速度は800Galのとき非超過
確率90%の損傷度(PML)は0.45

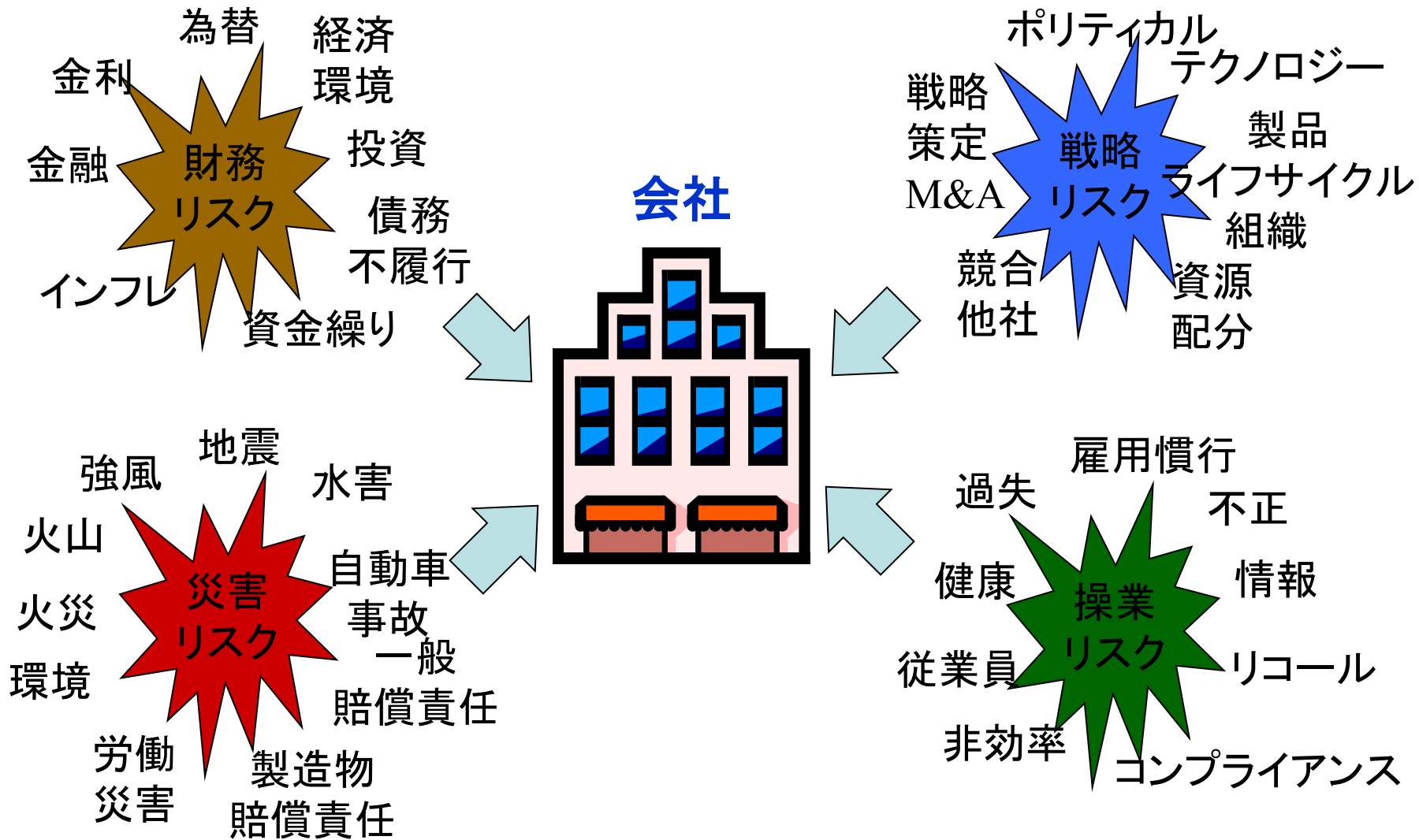
地震損傷度曲線(RC造、1971以前)

PML情報の活用

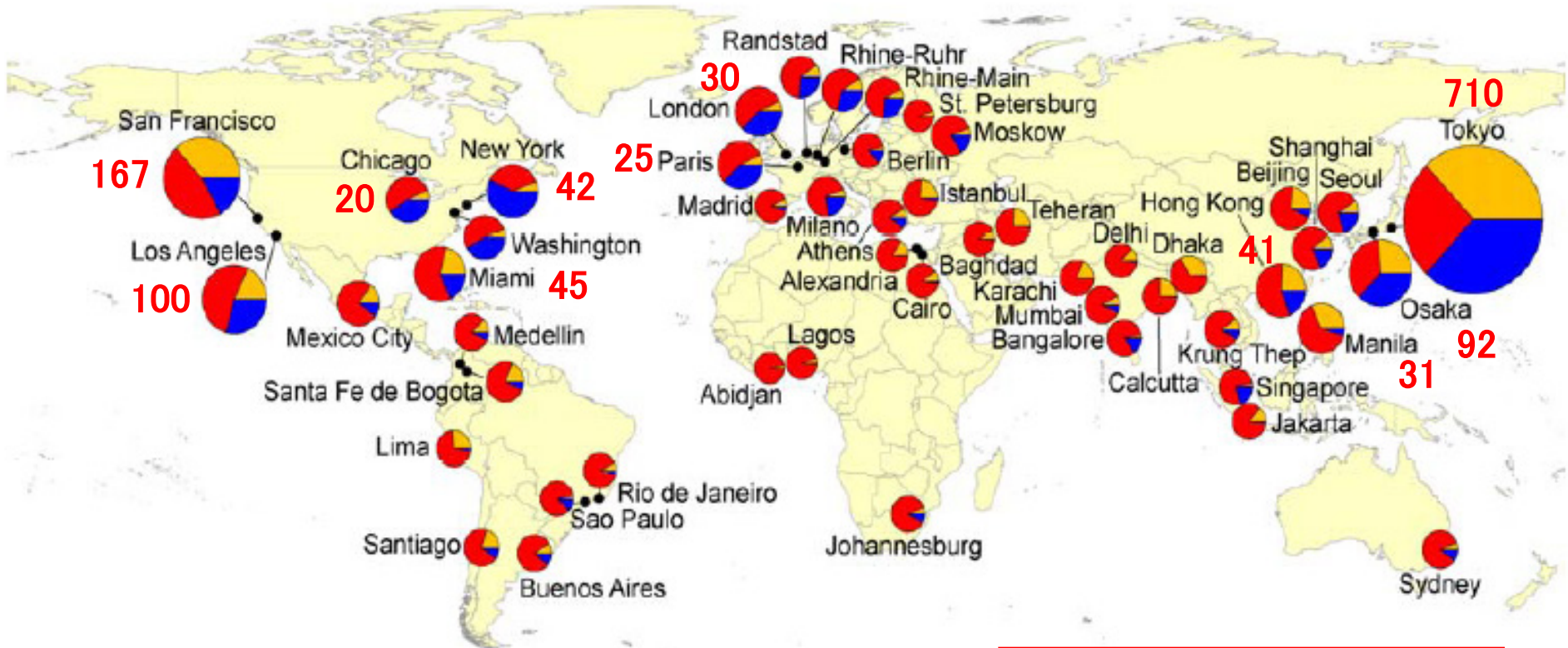
ユーザー	活用内容
投資家	不動産の証券を購入する際に収益資産としての価値を判断するための情報
保険会社	震災時における地震保険の支払金額を推計するための情報
金融機関	不動産等の資産の収益力や信用力による融資(アセットファイナンス)を行う際の判断材料(PML=15%がボーダーライン)
企業	震災時における資金調達や財務に対する影響を分析するための情報
建設業界	金銭的価値に基づく耐震性能の指標

(5) リスクマネジメント

企業を取り巻く様々なリスク



ミュンヘン再保険会社が提唱する世界の大都市の³⁶ 自然災害リスク指数



 Risk Index
(Circle size corresponding to Risk Index Value)

Risk Index Components:

-  Hazard
-  Vulnerability
-  Exposure

災害の危険性指標
 災害に対する脆弱性指標
 被災する可能性指標

地震、強風、洪水、火山、
森林火災、凍結のリスク
を考慮

ミュンヘン再保険会社
 ホームページ(2002)資料に加筆

リスクマネジメントとは？

■ リスクの種類

- ・ 純粹リスク: 損失のみを生じる不確実さ
- ・ 投機的リスク: 損失または利益を生ずる不確実さ

■ リスクマネジメントの定義

- ・ 個人、企業および自治体等の組織が直面する純粹リスクや投機的リスクを合理的に処理するための科学的な管理手段
- ・ できるだけ少ないコストで組織に与える偶発的損失の影響を最小化するため、組織の資産ならびに活動を計画・組織・指揮・統制するプロセス

なぜリスクマネージメントが必要か

人間を取り巻く社会環境には、様々なリスクが存在

100%の安全はありえない！

被害の発生、許容を前提に考える必要性

情報をあいまいにせず正確に提示

情報開示: *Information disclosure*

建物の安全に対する性能水準を明確に説明

説明責任: *Accountability*

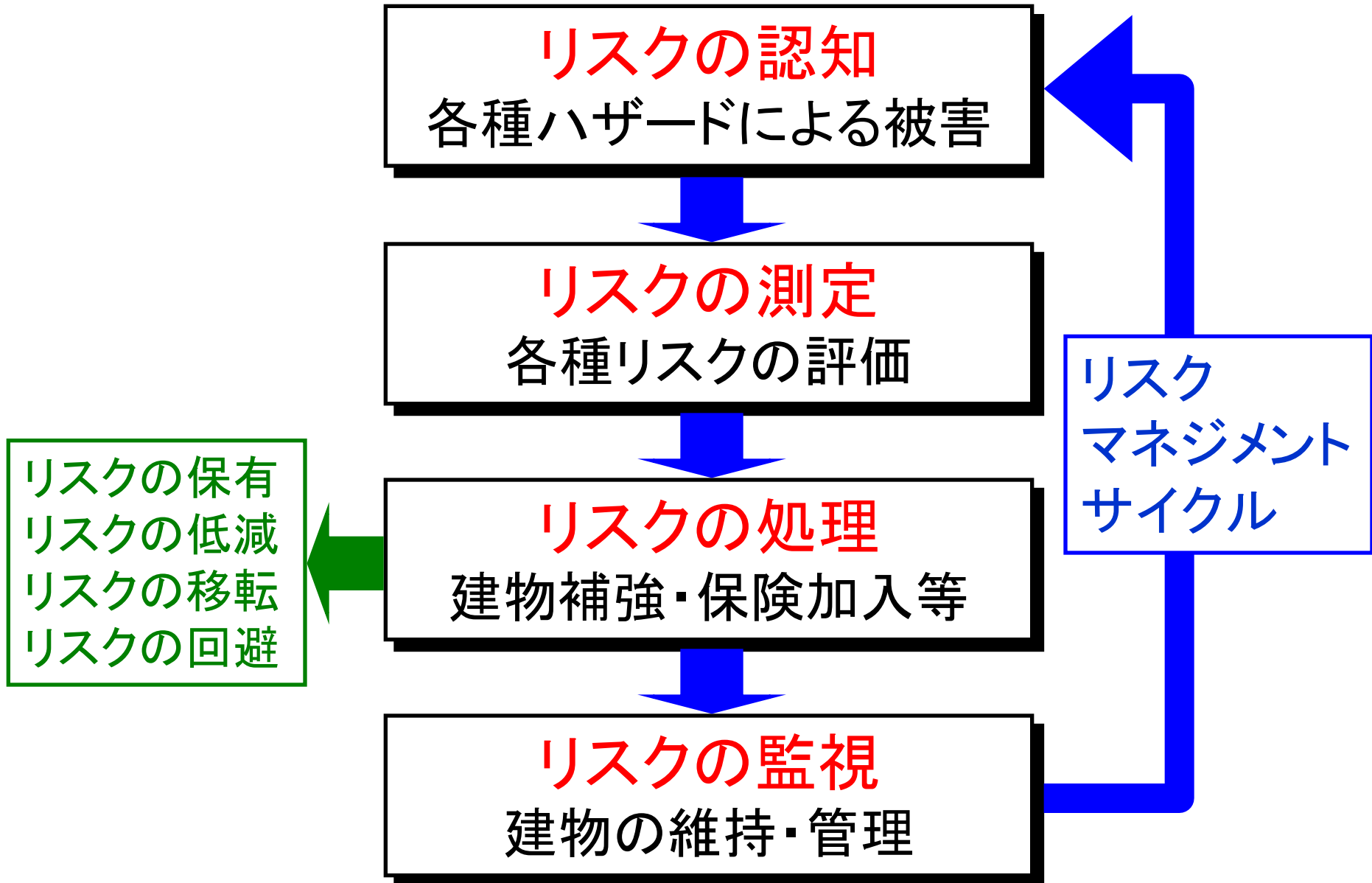
建物の安全が損なわれた時の責任の所在を明確化

自己責任: *Liability*

性能評価と維持管理の方策

リスクによる損失を軽減する有効な対策

リスクマネジメントサイクル



リスク処理の方法

■ リスクの保有

- ・リスク処理を行なわない(資金の準備)
- ・リスクが十分小さい場合

■ リスクの低減

- ・リスク低減の対策を講ずる
- ・対策費用がリスク低減効果に見合う場合

■ リスクの移転

- ・保険、証券化等により損失を移転
- ・リスクが低確率、大損失の場合

■ リスクの回避

- ・リスクを有する対象を所有しない
- ・リスクが高確率、大損失の場合

リスク処理の事例

■ リスクの保有

- ・建物：危機管理マニュアル策定、建物をそのまま維持、被災時に補修
- ・人間：災害を気にしない

■ リスクの低減

- ・建物：耐震補強、重要施設の分散・移転
- ・人間：避難経路、避難場所を確認

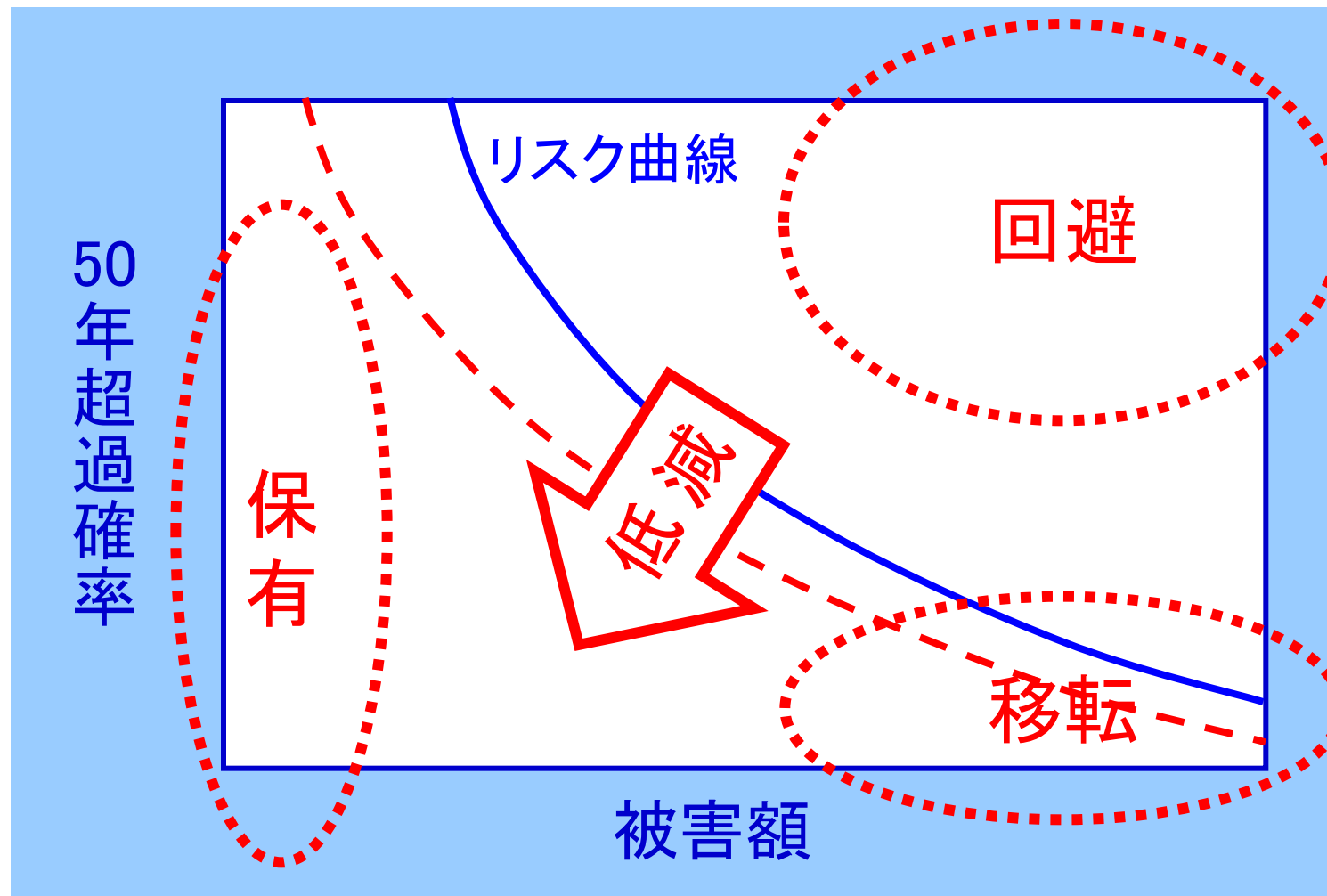
■ リスクの移転

- ・建物：保険に入る、代替的リスク移転
- ・人間：移転できない

■ リスクの回避

- ・建物：強度不足の建物を取り壊す
- ・人間：災害のない国へ移住する

リスク処理の概念



リスク曲線に基づくリスク指標

■ リスク曲線

- ・損失額とその発生確率を用いて、対象物の潜在的リスクを表現した曲線
- ・対象物の被害を発生させる可能性のある全てのイベントに対する損失予測結果から求める

■ 損失の期待値

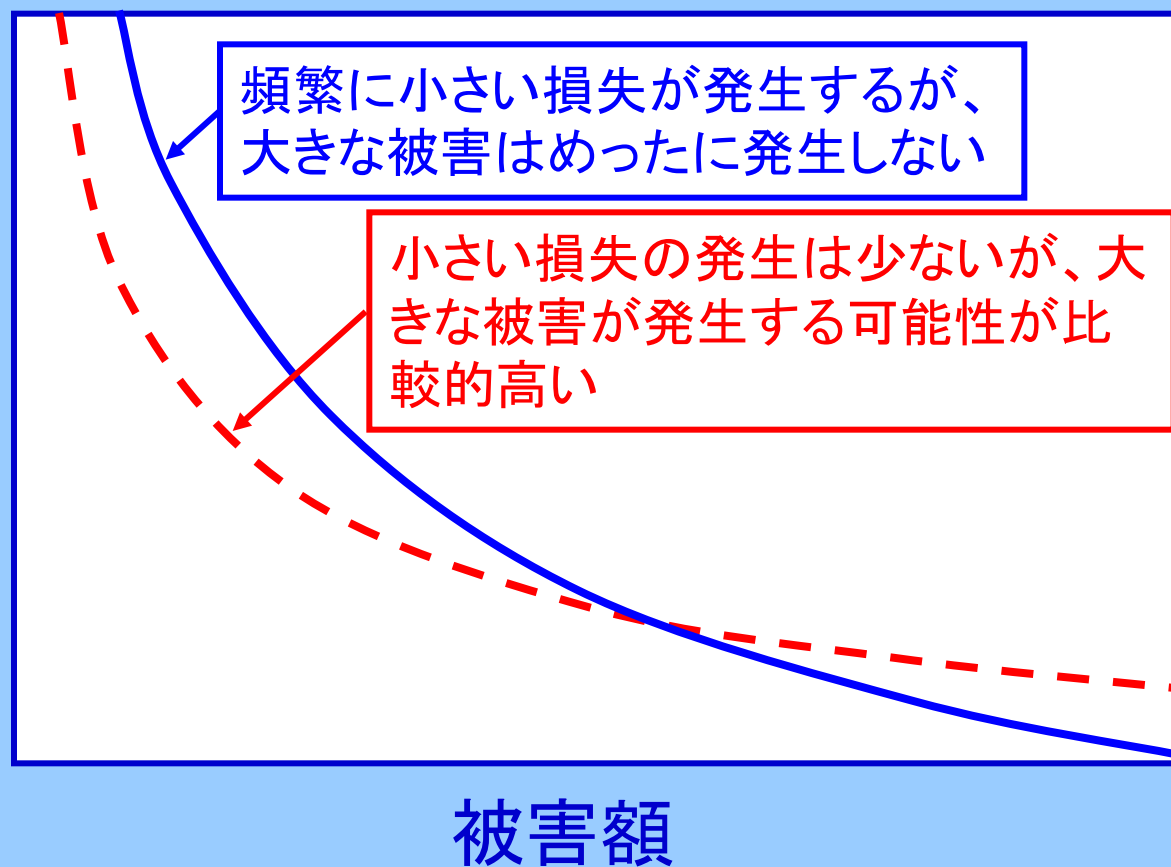
- ・損失額と年間発生確率を乗じた損失期待値を全てのイベントについて足し合わせて、対象物の年間損失期待値を計算
- ・リスク曲線と横軸で作られる領域の面積 s に等しい
- ・最も一般的であるが、損失のばらつき(特に大損失の領域)の情報を無視することになる

■ ある超過確率に対する損失の値

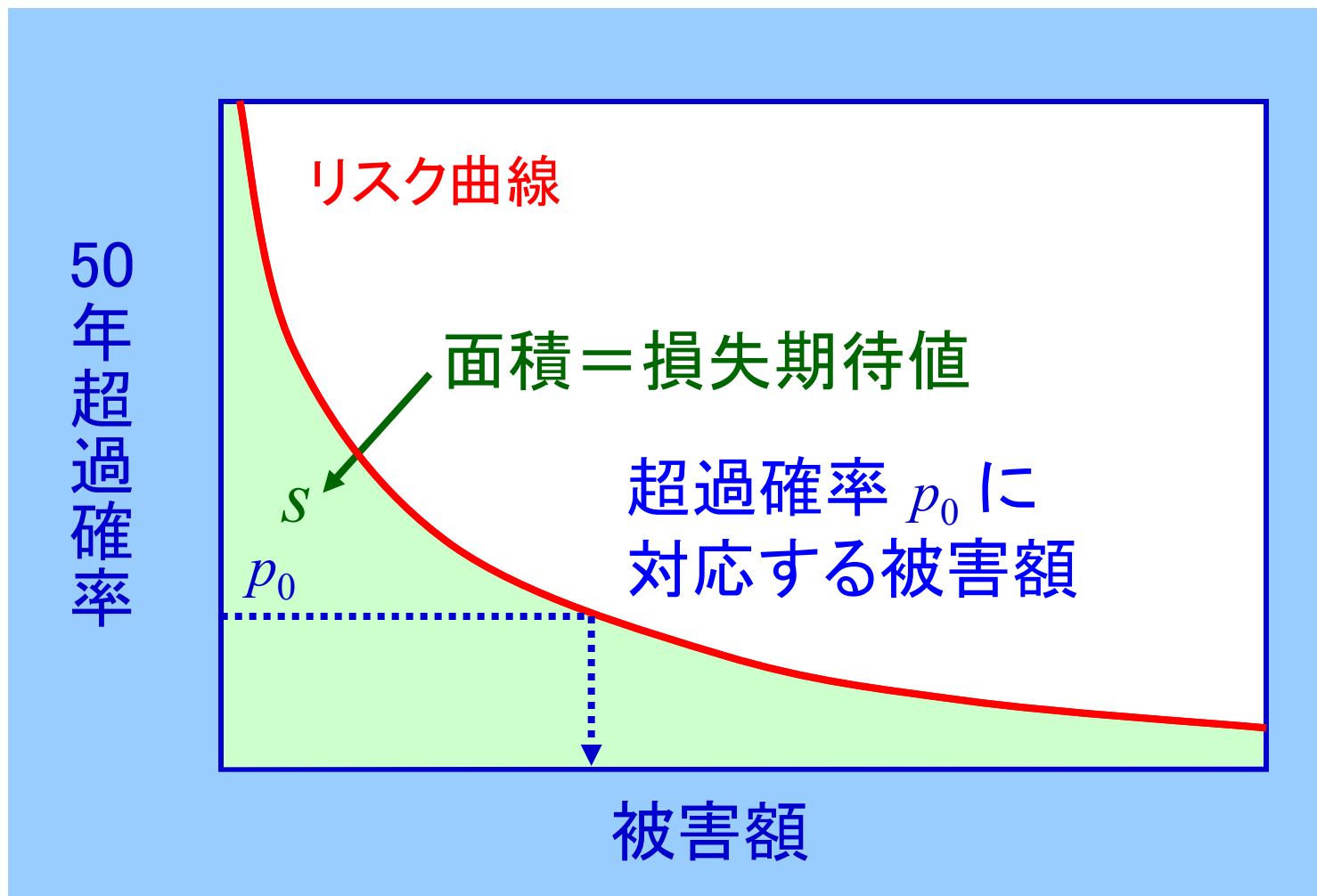
- ・例えば、50年超過確率10%の損失の値
- ・複数の超過確率やその範囲による定義も考えられる

リスク曲線の意味

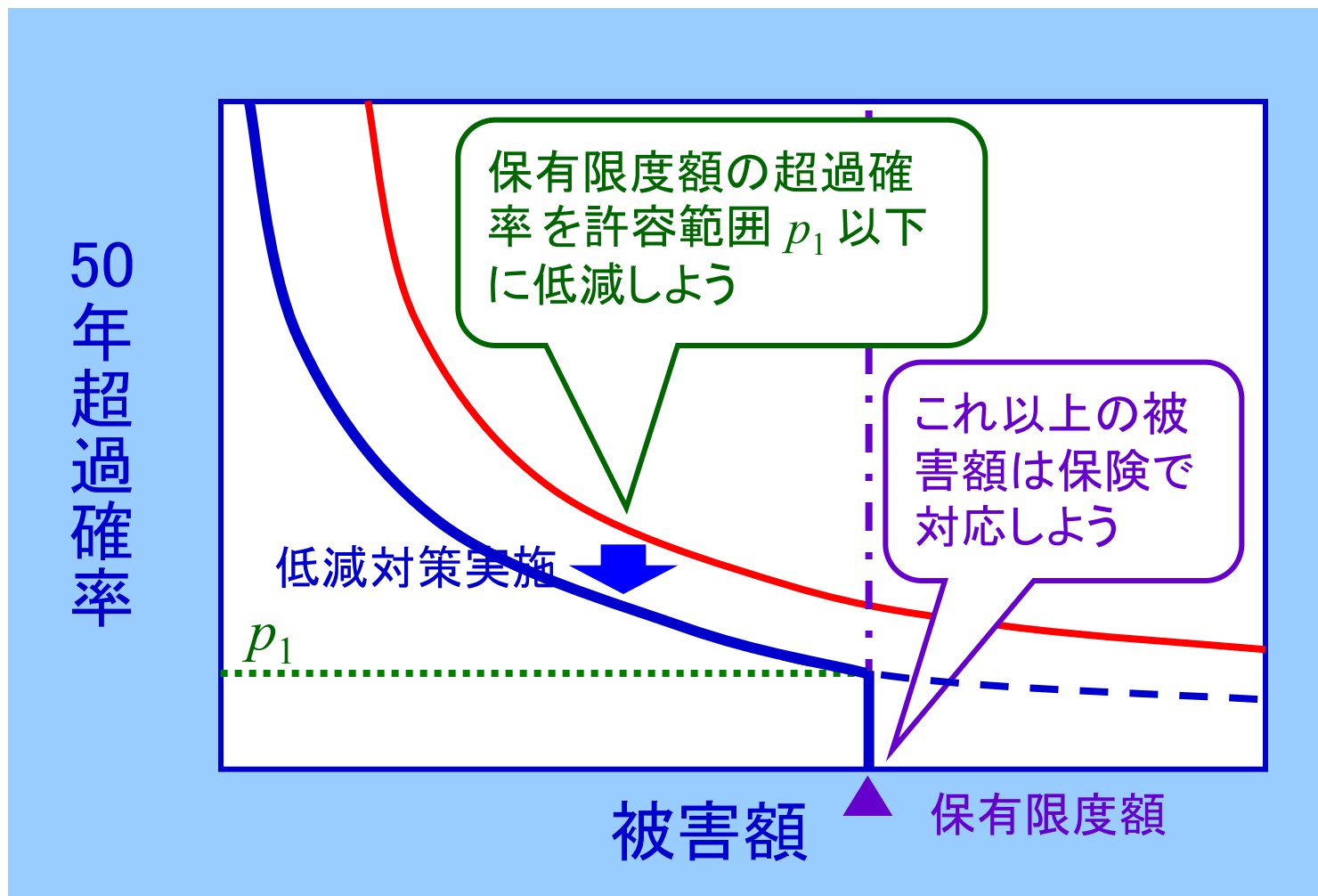
50年超過確率



リスク曲線と損失期待値



リスク曲線に基づくリスク処理の検討



建物のライフサイクルコスト

■ ライフサイクルコスト(LCC)

(1) 建物の供用期間において発生する総費用

$$C_T = C_I + C_R$$

C_I : イニシャルコスト

C_R : ランニングコスト

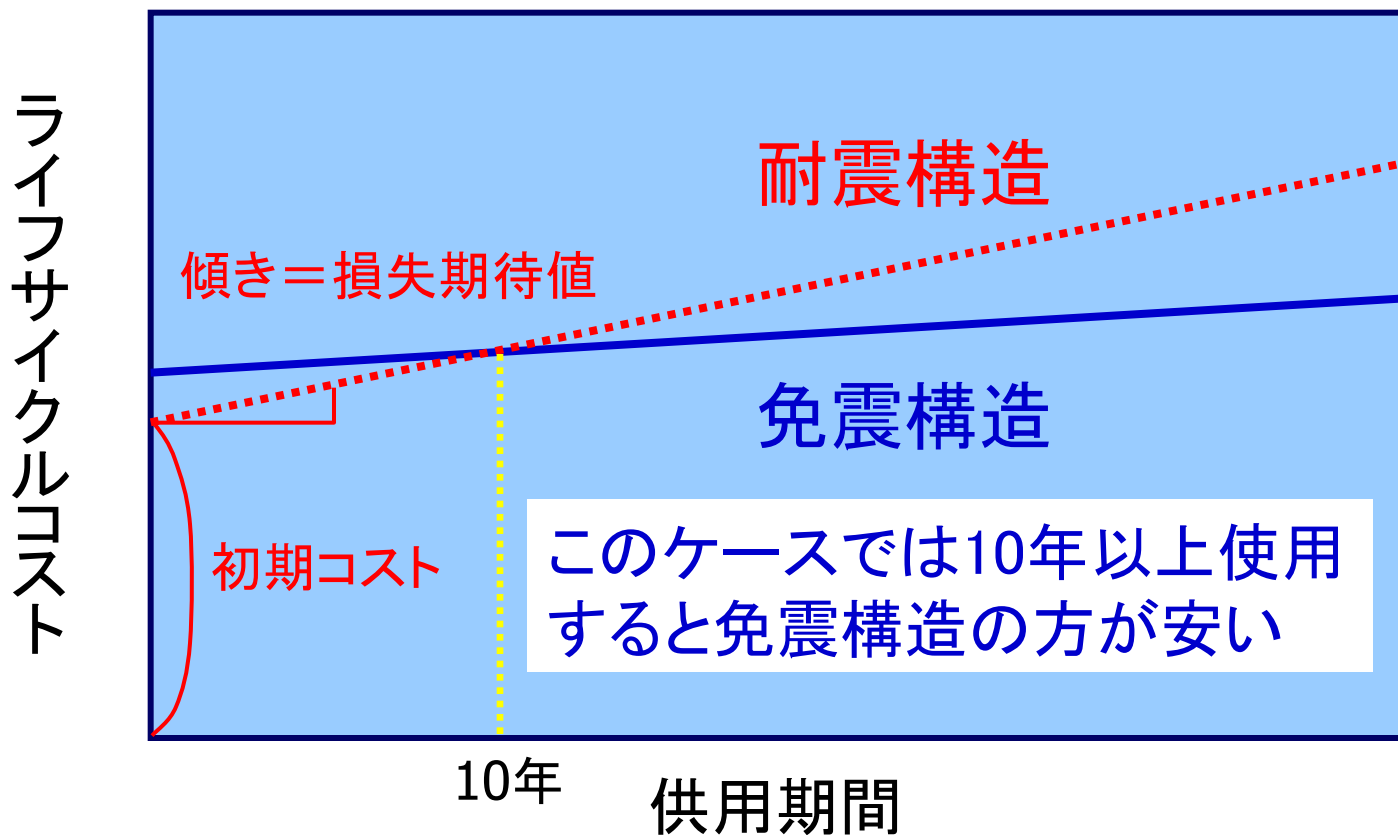
(2) イニシャルコスト

- ・土地取得費、設計費、構造・外装材・設備・外構等の費用、施工費等の初期建設費用
- ・ほぼ確定値

(3) ランニングコスト

- ・光熱費、修繕費、災害補修費等の維持管理費用
- ・確率変数、損失期待値

ライフサイクルコストの比較



マルチハザードを考慮したリスクマネジメント⁴⁹

■ 災害リスクマネジメントの現状

今後の課題

- ・地震、火災、台風、洪水等の各種災害に対するリスクマネジメント実施例は増えてつつある
- ・しかし、ほとんどのケースでは、各災害に対する個別検討のみ

限られた予算で最大の効果を得るためには？



マルチハザードを考慮したリスクマネジメント

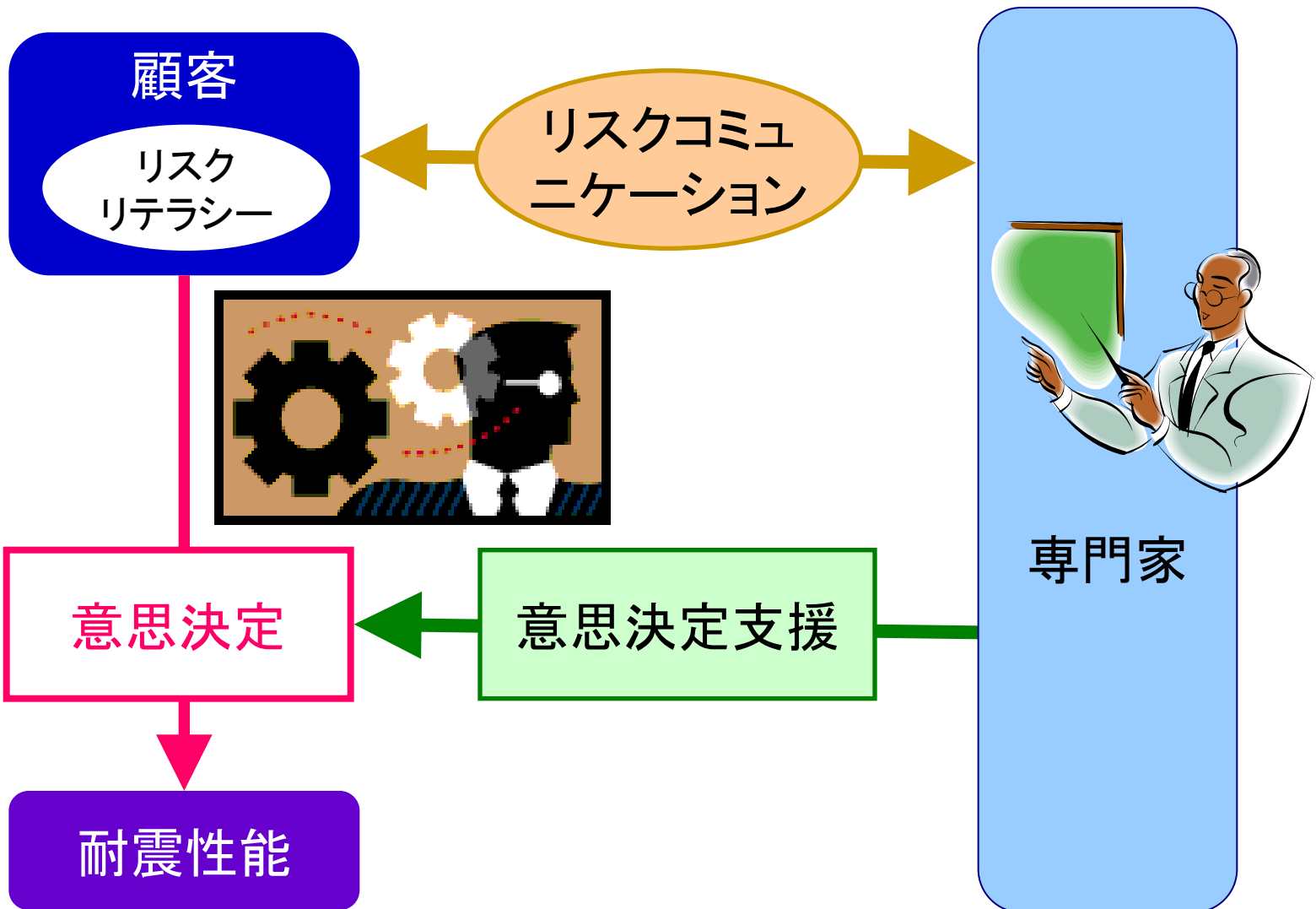
■ マルチハザードを考慮する意味

- ・影響の大きな災害リスクを抽出
- ・限られたリスク対策費用を合理的に配分

リスクマネジメントのポイント

- 金銭価値を標準としたリスクの定量化
- 将来予測の不確定性を意思決定に積極的に取り込む
- リスクの構成要素、リスクを被る主体、リスクをマネジメントできる主体の関係の明確化
- ある一定規模のリスクでも、リスクを被る主体によって、対策の判断が異なることを考慮
- リスク分析結果は、対策最適解を与えるものではなく、あくまで意思決定者への情報提供が目的

耐震性能決定における顧客と専門家の関係⁵¹



リスク関連用語

■ リスクコミュニケーション

- ・地震リスクの正確な情報に関して専門家と市民や企業の間で行なわれる情報交換過程
- ・建築主が建物の耐震性能や耐震補強の実施を意思決定するときにはリスクコミュニケーションが必要

■ リスクリテラシー

- ・リスクの本質を認識し、具体的な対処方法を検討し、実行可能解の中から次のステップを決定する力

■ 意思決定支援

- ・専門的知識を要する地震リスクマネジメントに関する判断を意思決定者の主観的な意見を活かしつつ、地震リスク等の客観的事実を勘案して総合的に意思決定を支援することが重要

(6) 事業継続計画
Business Continuity Plan (BCP)

BCPとは？

Business Continuity Plan: 事業継続計画

テロなどの「不測の事態」を想定して、対処方法につき体系化したマネジメントシステム

リスク管理意識の高い欧米で発達

業務が中断した場合であっても、短時間で重要な業務を再開させ、業務中断による顧客の流出や企業評価の低下を防ぐための

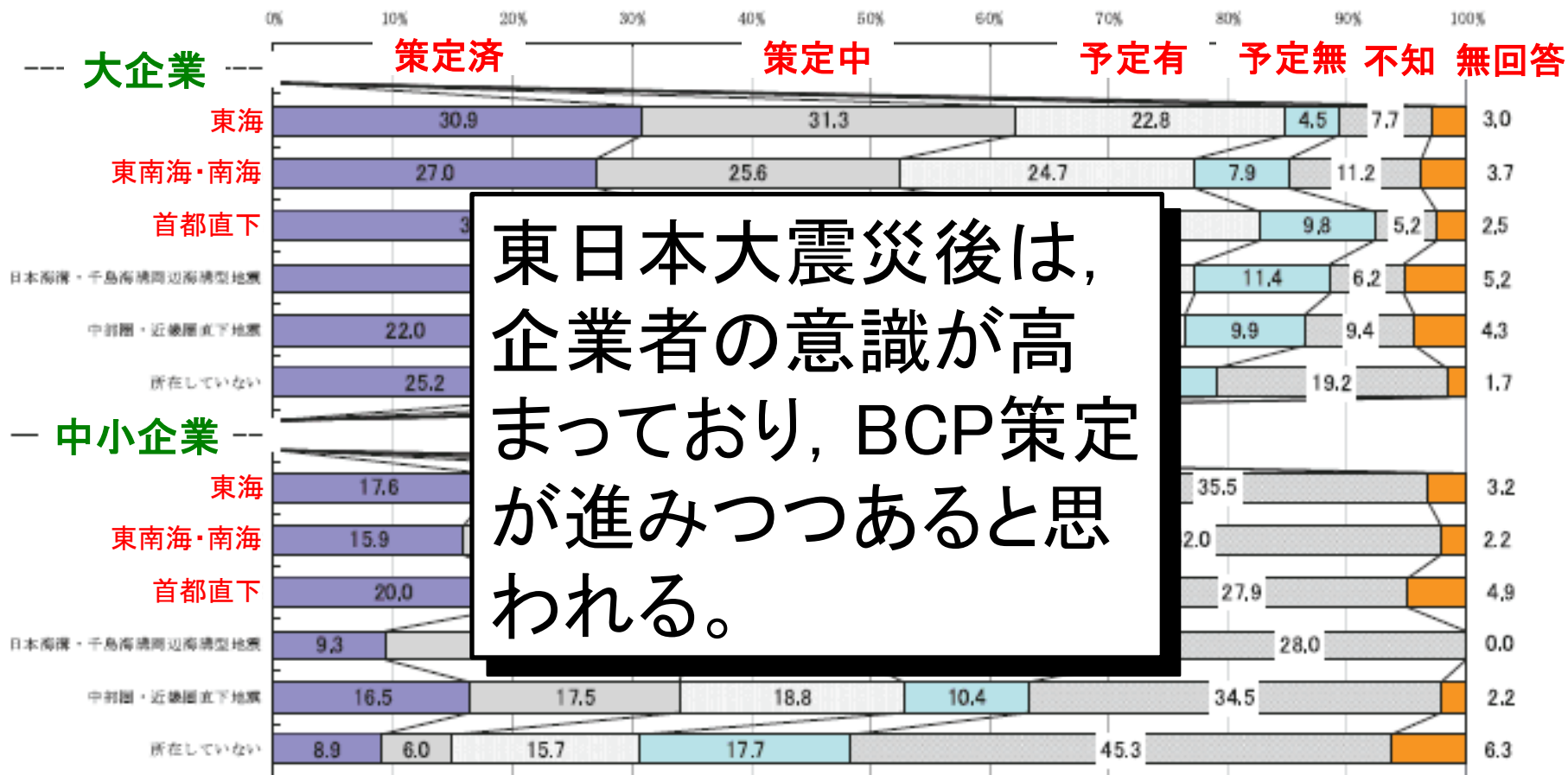
★経営戦略★

例えば、震災時の指揮命令システムの整備、バックアップシステム・オフィスの確保、安否確認の迅速化等、具体策を規定・文書化したもの

企業のBCP策定状況

図3-5-3

平成21年度 「地震」に関する地域別・企業規模別（大企業，中堅企業）



資料：内閣府調べ（平成21年11月）

（注）日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地域については、回答数が30社以下とサンプル数が少ないため
いる。

平成22年度防災白書に加筆

BCPの基本的な流れ

経営判断

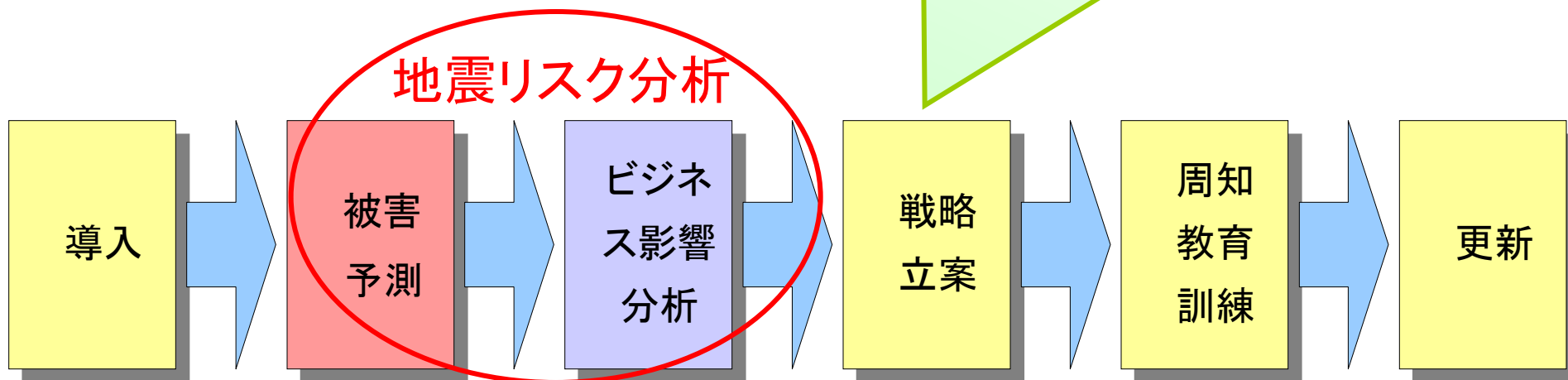
- ・守るべきコア業務の選定

利益の大きな業務、取引先に大きな影響を与える業務など

- ・復旧方針設定

方針：顧客に対して平等な対応を行う。

具体的復旧目標の設定：発災後、10日間で50%の業務回復
2ヶ月で100%の業務回復する。

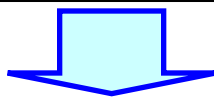


震災BCP策定の流れ①

何を守るのか？

【**経営的観点**】から守るべき業務や施設を選定

- ・ 貢献度
 - ・ 社業への影響度
 - ・ 財務への影響度
 - ・ 立地危険度 等
- を考慮して判断



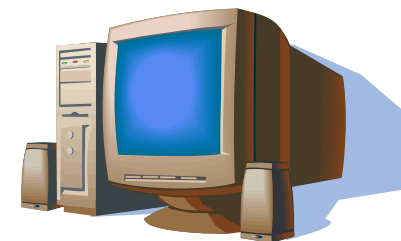
守る必要のないものは無処置



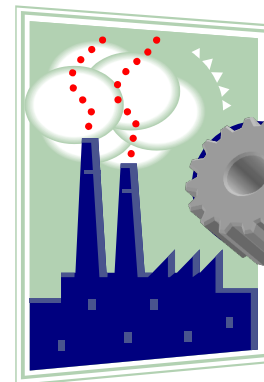
オフィス



人



データ



生産施設

震災BCP策定の流れ②

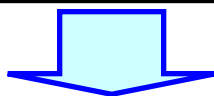
どこまで守るのか？

■ 機能維持

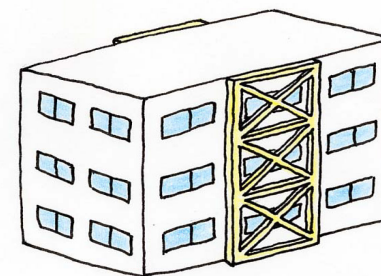
- ・建物の耐震・制震補強による直接被害の低減
- ・施設の分散立地によるリスク分散

■ 復旧期間

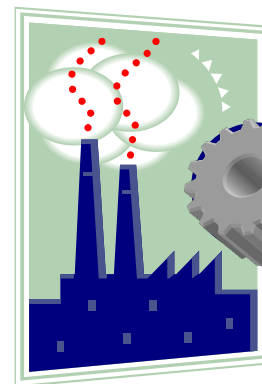
- ・事業中断期間の短縮による間接被害の低減
- ・復旧支援体制の確立



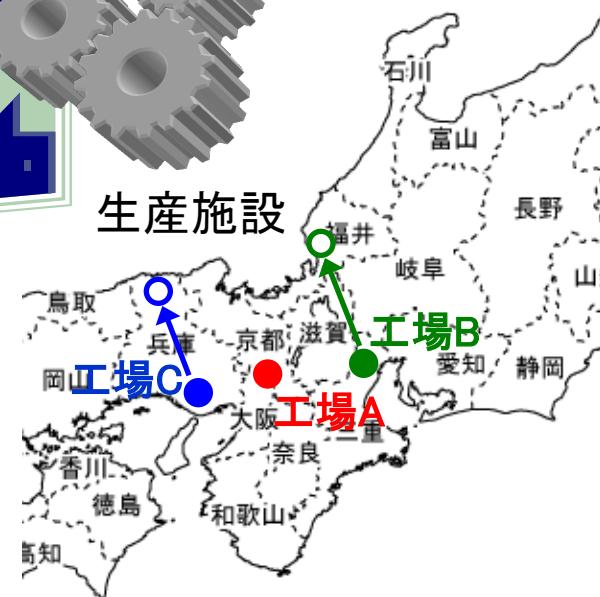
目標の設定・問題点の抽出



耐震補強



生産施設



震災BCP策定の流れ③

目標をどう達成？

■ ハードの対策

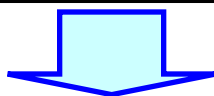
- ・耐震・制震補強
- ・施設分散

■ BCP体制の構築

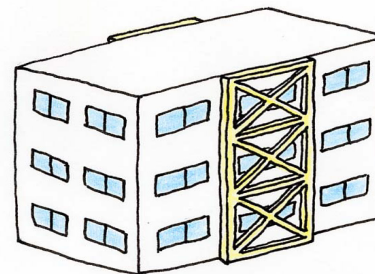
- ・震災対策組織の構築
- ・社内連絡網の整備
- ・サプライチェーンの再構築

■ リスクファイナンス

- ・保険加入



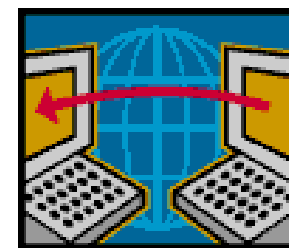
最適なリスク処理法を選択



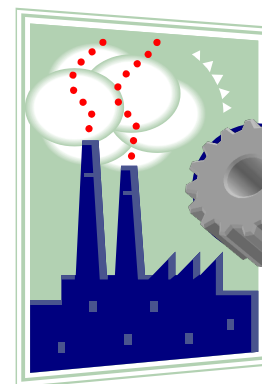
耐震補強



震災対策組織



社内連絡網



生産施設



震災BCP策定の流れ④

どう運用？

■ マニュアル化

- ・ 誰でも対応できる簡易なマニュアルの整備

■ 教育・訓練

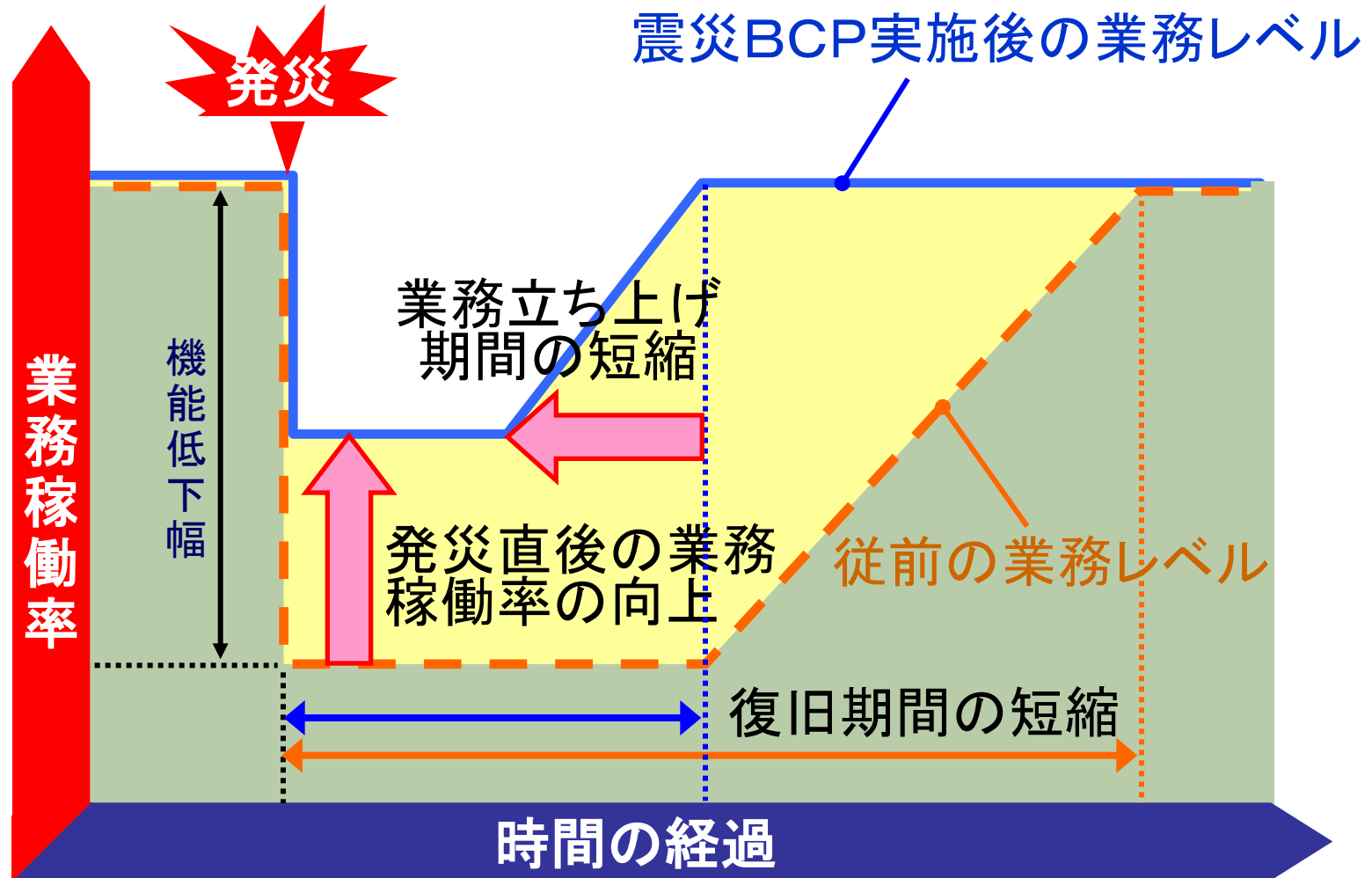
- ・ BCPを動かすのは人
- ・ 組織全体による定期訓練による習熟

■ 点検・見直し

- ・ 訓練結果の点検
- ・ 経営陣による見直し



震災BCP策定効果のイメージ



これまでの防災の基本的な考え方

- 人命の確保を最優先
- 初期被害の低減
- 応急対策

遺漏なき万遍なき対応

これらに加えて・・・事業継続への要求

BCM・BCPの概念が台頭

メリハリのある合理的対応

従来の防災対策とBCPの違い

	従来の防災	BCPの特徴
視点	<ul style="list-style-type: none"> ・人命の安全 ・物的被害の軽減 ・拠点レベルでの対応と対策 ・安全、施設部門の取り組み 	従来の防災に加えて、 <ul style="list-style-type: none"> ・事業継続可能レベルの設定と早期復旧目標の明確化 ・重要業務、ボトルネックの特定、事業継続への影響評価 ・サプライチェーンを含む総合対策
指標	<ul style="list-style-type: none"> ・死傷者数 ・物的損害額 	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧時間、復旧目標、レベルの定量化 ・経営や株主に及ぼす影響、損失額の評価

BCPの視点から見た大地震への備え

■重要機能(ボトルネック)の特定

- ・3つの視点から(経営戦略、地震危険度、建物機能)
- ・重要機能の許容損傷レベルと復旧目標

■有効な資源配分

①事前対策:重要機能の耐震化

- ・拠点施設の分散、代替化、対策の優先順位付け

②最中の対策:リアルタイム対応(想定外対応)

- ・人的対応力と危機管理システム、社員の安全、被災情報の即時収集、共有化、支援ツールの活用、2次災害の軽減

■震災後の早期復旧活動

- ・復旧シミュレーションによる人、もの(資材)、必要資金の確保、重要機能の早期復旧と優先順位

(7) 建設会社の震災BCP

首都直下地震に備える建設会社の震災BCP

建設BCPガイドライン

首都直下地震に備えた建設会社の行動指針(第2版)
(平成18年11月:日本建設業団体連合会)

- ・建設会社におけるBCP
 - ⇒自社の危機管理体制の強化と事業継続
- ・本社、建設現場、各部署
 - ⇒建設業の社会的使命の達成
- ・公共インフラ・民間企業等の復旧工事を通して、政治経済・社会活動の早期回復に大きな役割を担う

建設業の特性

- 労働集約型産業の典型
- 特別な集中拠点は持たない
- 資源(人材・資機材)は広域に分散

BCPの的確な発動には・・・

- 人(労働力)の早期確保
- 情報の伝達・共有・分析

建設業の災害時の役割

社会の早期復旧に資する建設活動の推進

- ◆大規模災害が発生した場合、建設会社の事業活動そのものが、社会から大きく期待されている

(社)日本業団体連合会「建設BCPガイドライン」より

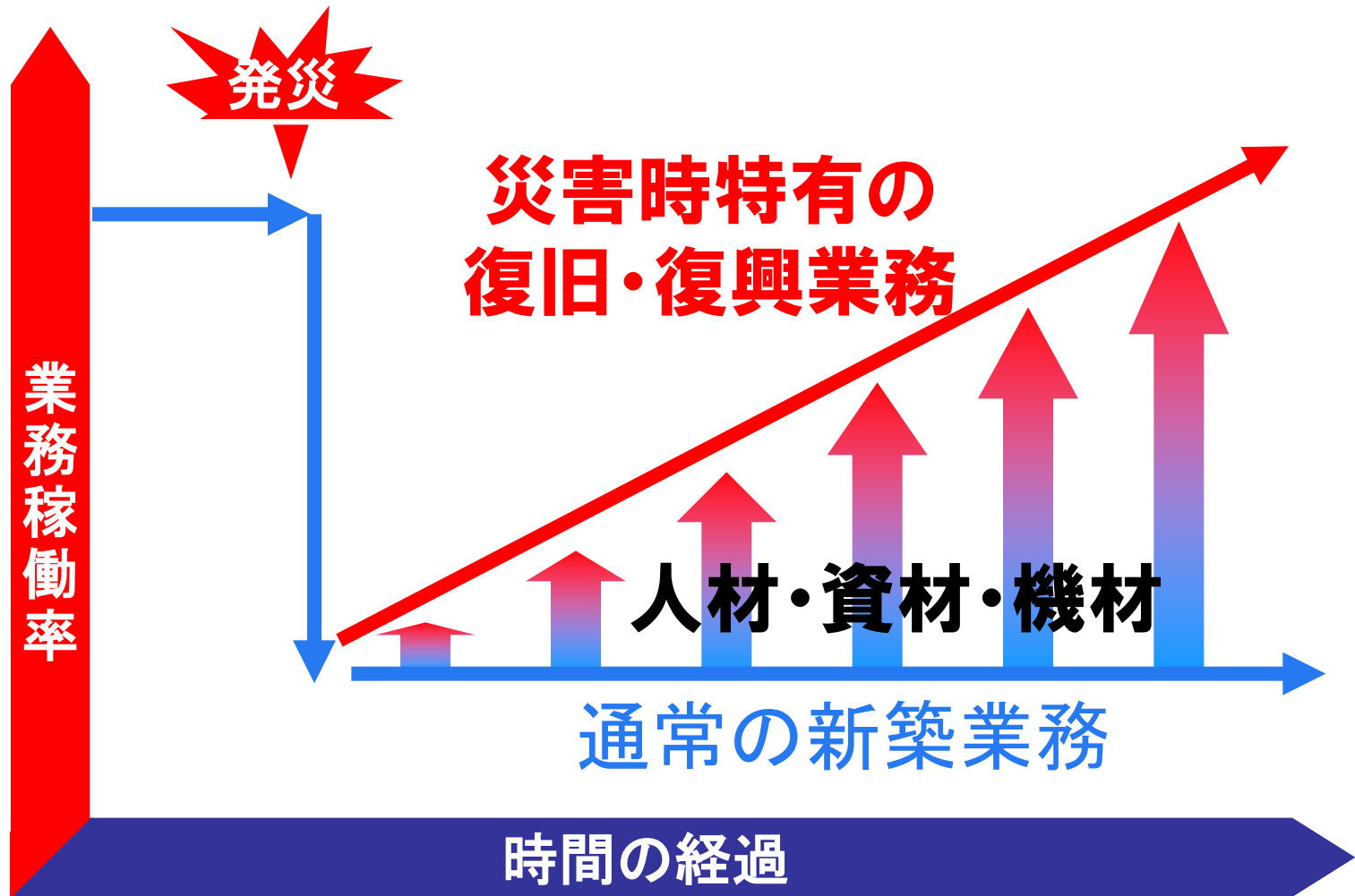
■インフラ復旧工事の迅速な実施

■施工中現場における2次災害の防止と工事の早期再開

■竣工物件の被災状況調査と復旧支援

災害時特有の業務の発生！

建設業・BCP発動のイメージ



発災時・社会活動のイメージ



生産施設を持たない建設会社のBCPとは ⁷¹

平常時と災害時の事業内容が大きく異なる

人・情報・資機材が全て

まず、企業自身の社員・家族を守り、震災対応能力を高める

即座に支援体制を整え、得意先への迅速な対応が事業継続と社会的信頼に

震災対策とアクション支援技術

事前

最中

事後

① 社員・家族の災害
対応能力の向上

② 社員、家族の
安全確認・確保

④ 会社機能回復と
事業継続

③ 地域住民と
の連携・支援

⑤ 公的機関、関連
企業との連携による
社会への貢献

- ・ 社員の防災教育
- ・ 訓練防災
- ・ 意識の向上

震災対策本部の立ち上げ

社員・家族の安否確認

本支店間のネットワーク: 連携と相互支援

被害
予測

BCP策定
事前対策

発災時アクション支援

早期復旧
支援

活用する支援技術

発災後に建設会社に期待される役割

■ 役割

- 施工中現場における2次災害の防止と工事の早期再開
- 竣工物件の被災状況調査と復旧支援
- 社会基盤、災害拠点施設の早期復旧支援
- 公的機関、民間企業の早期事業再開支援

■ 必要なアクション

- 本社への重要機能、情報、データの集中
- 活動可能人数の把握
- 膨大な対応物件、被災情報の分散、集中

The END

ご清聴ありがとうございました。