

# 地震リスク定量評価、東日本大震災による企業への影響についての考察

応用アール・エム・エス株式会社

高杉 剛

大野 大地

**OYO**RMS

応用アール・エム・エス 株式会社

応用アール・エム・エス株式会社

設立：1998年5月20日設立※

主な業務：

- 自然災害リスクの分析・調査(地震・台風)
  - 企業のリスクファイナンス(保険、震災ボンド、地震デリバティブ 他)
  - 投融资に係るリスクマネジメント(不動産取引、REIT、PF 他)
  - 企業のリスクマネジメント

■ BCP／BCM

■ その他の自然災害リスク調査・研究

※ 2006年11月6日(RMS Japan と分割)

**OYO**

応用地質株式会社

- 地盤・防災・環境分野の総合コンサルタント会社
- 国や自治体の地震被害想定調査、自然災害リスク調査を実施

**RMS**

Risk Management Solutions, Inc.

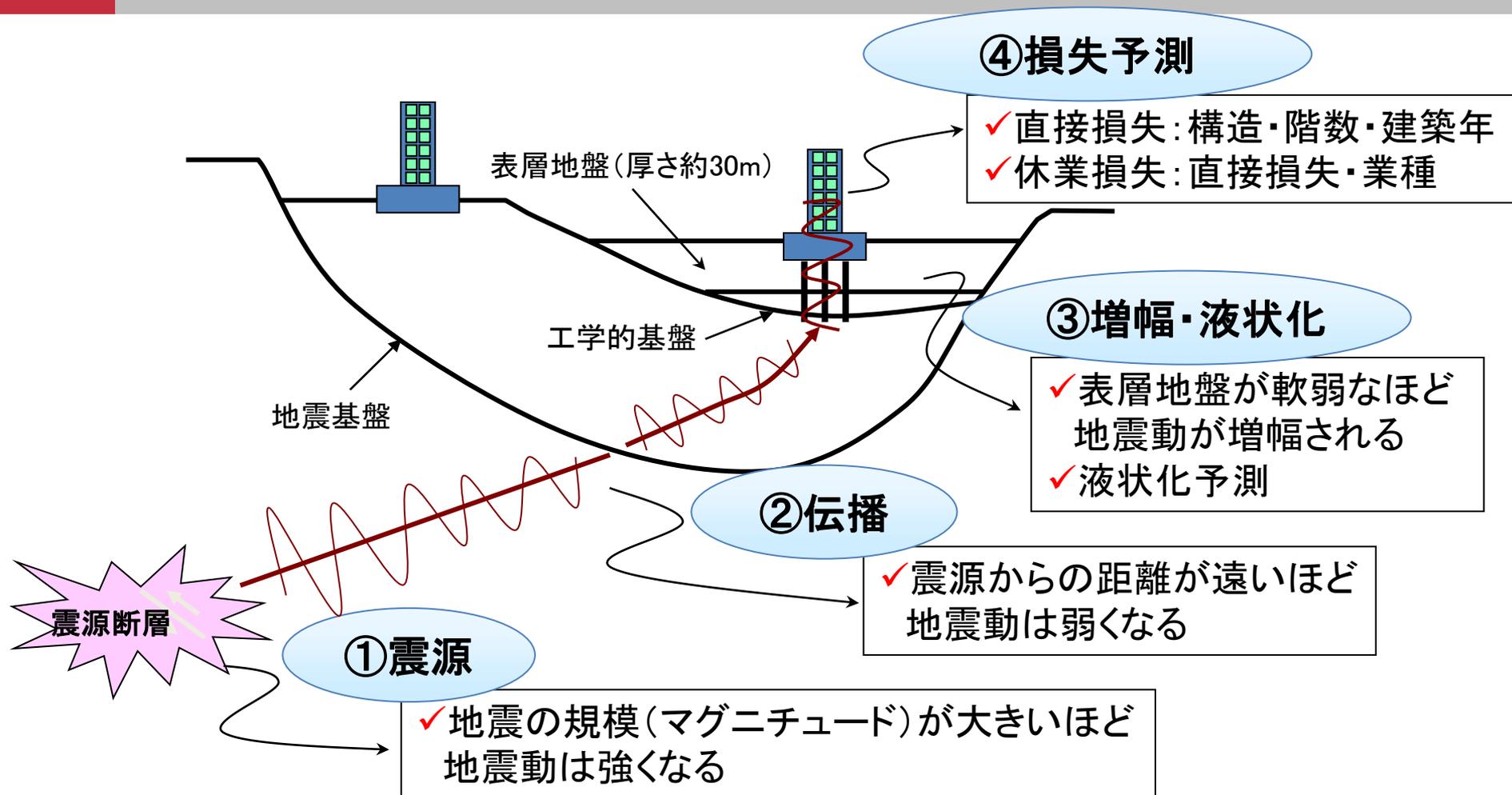
- 巨大自然災害リスク分析ソフトRiskLink®を開発・ライセンス
- 世界の自然災害損害保険契約の80%以上で利用されている
- 本社：米国カリフォルニア州

# 目次

1. 自然災害リスク評価モデルの概要
2. 地震リスク分析の方法
3. 分析結果と見方
4. 保険にかわる新しい金融商品
5. 東日本大震災が企業に与えた影響の概観
6. 財務面への影響

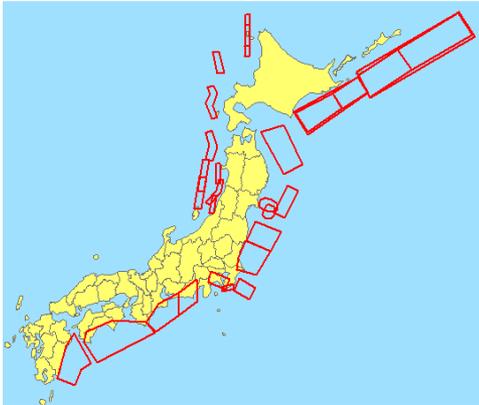
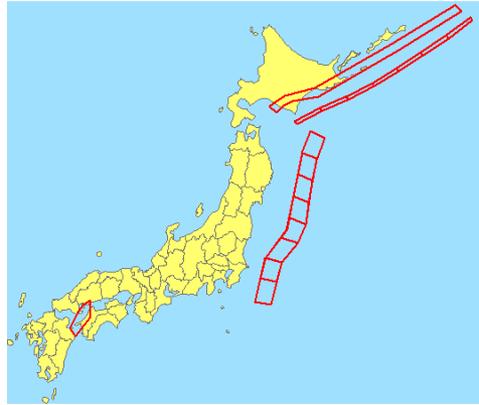
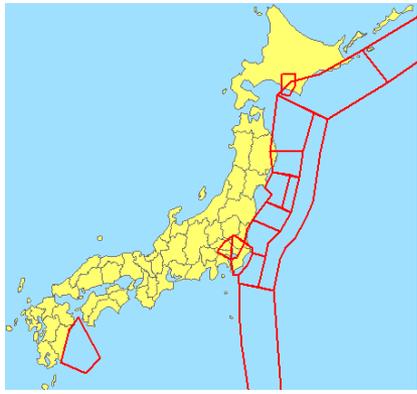
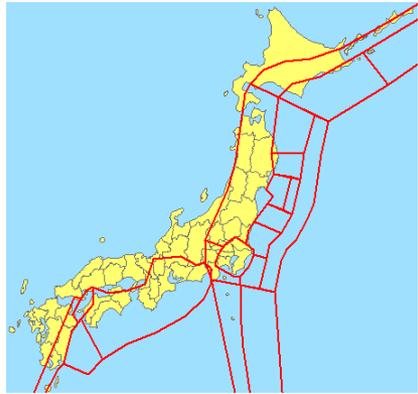
## 2. 地震リスク分析の方法

# 損失予測モデルの概念



建物・構造物の直下に到達する地震動の強さ  
 $=f(\text{マグニチュード、震源からの距離、表層地盤の増幅})$

約27,000の想定地震をモデル化

	陸域の浅い地震	プレート間(境界)地震	プレート内地震
震源を特定できる			
	活断層地震	プレート間地震	プレート内地震
震源を特定しにくい			
	震源を特定しにくい 地殻内地震	震源を特定しにくい プレート間地震	震源を特定しにくい プレート内地震

地震は同じ場所で繰り返し発生すると考えられている

### ■ 前回活動した時期が分かる場合

#### ◆ 時間依存モデル

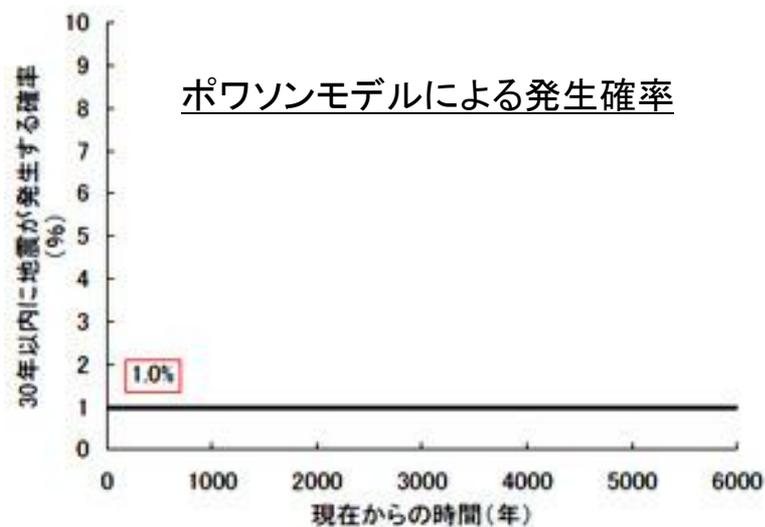
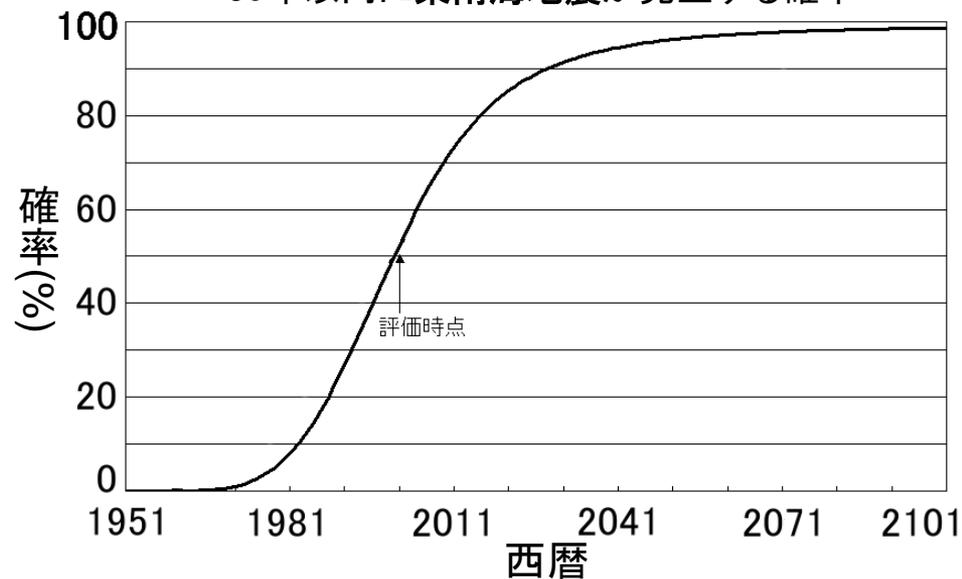
- 最新の活動時期を起点として現在の発生確率を算出
- BPT (Brownian Passage Time) 分布
- BPT分布は一定の速度でたまる応力(歪み)と不規則に変化する応力(歪み)からなる物理モデルと対応している

### ■ 前回活動した時期が分からない場合

#### ◆ ポアソンモデル

- 時間軸に対して一様に発生確率を与える

30年以内に東南海地震が発生する確率



※グラフの出典: は地震調査研究推進本部

- 工学的地震基盤面での地震動の大きさを距離減衰式を用いて推定する。
- 震源から地震波が広がっていくために振幅が小さくなっていく効果(幾何減衰)
- 不均質な地下構造により振幅が小さくなる効果(内部減衰)

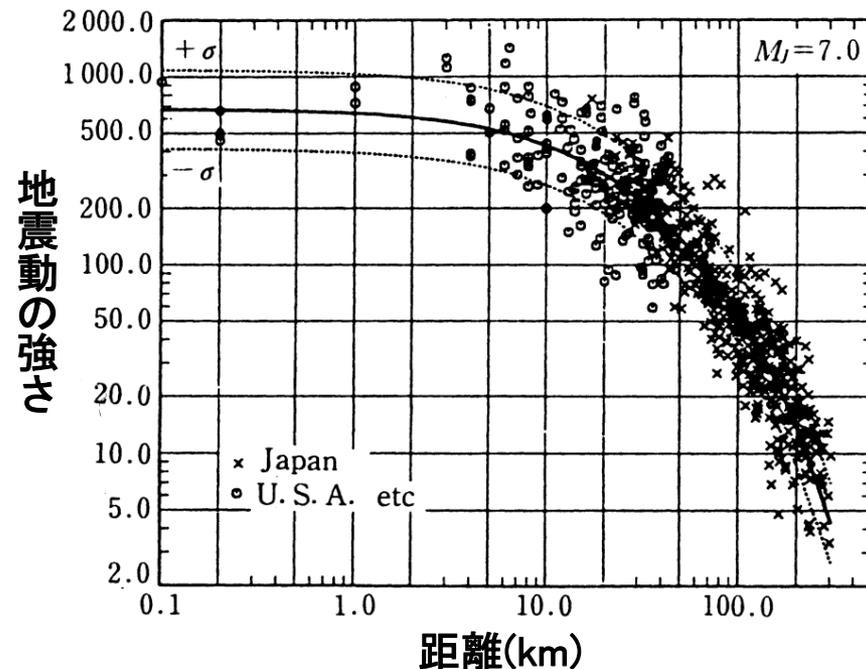
$$\log A = aM - bX - \log X + c$$

$A$ :地震動強さ、 $M$ :マグニチュード、

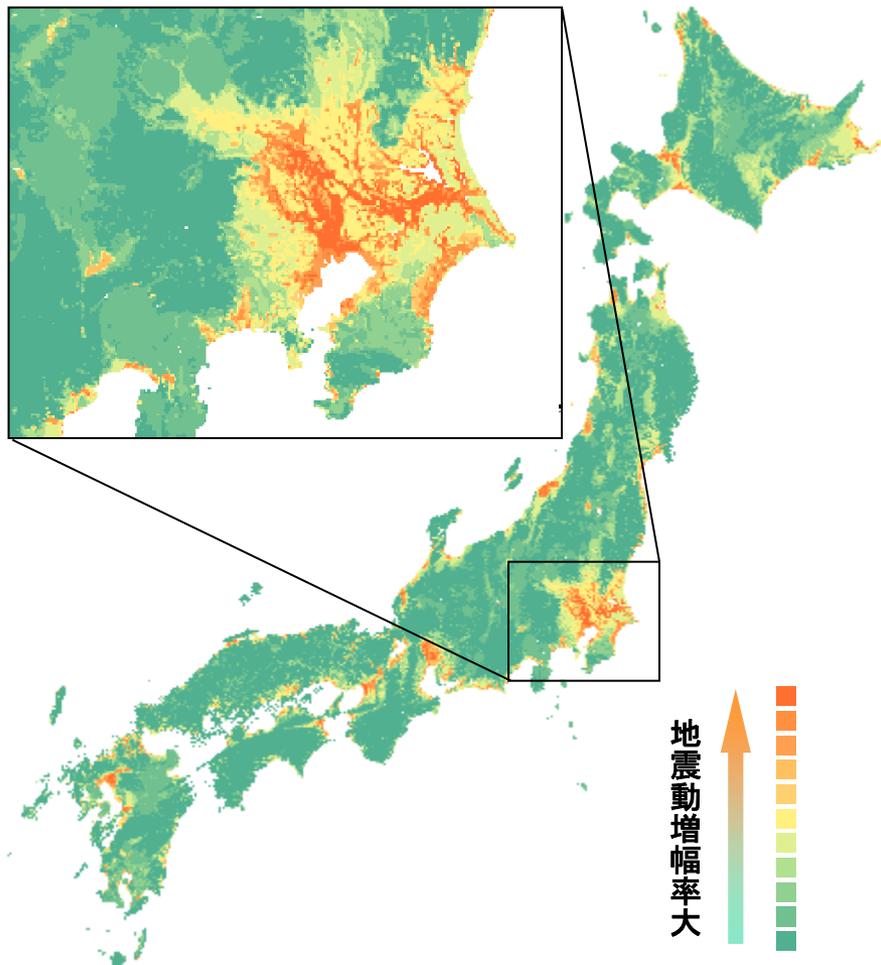
$X$ :震源距離、 $a, b, c$ 回帰係数

- 地震のタイプ(地殻内地震、プレート境界地震、プレート内地震)に応じて複数の距離減衰式を使用

### 地震動と距離の関係

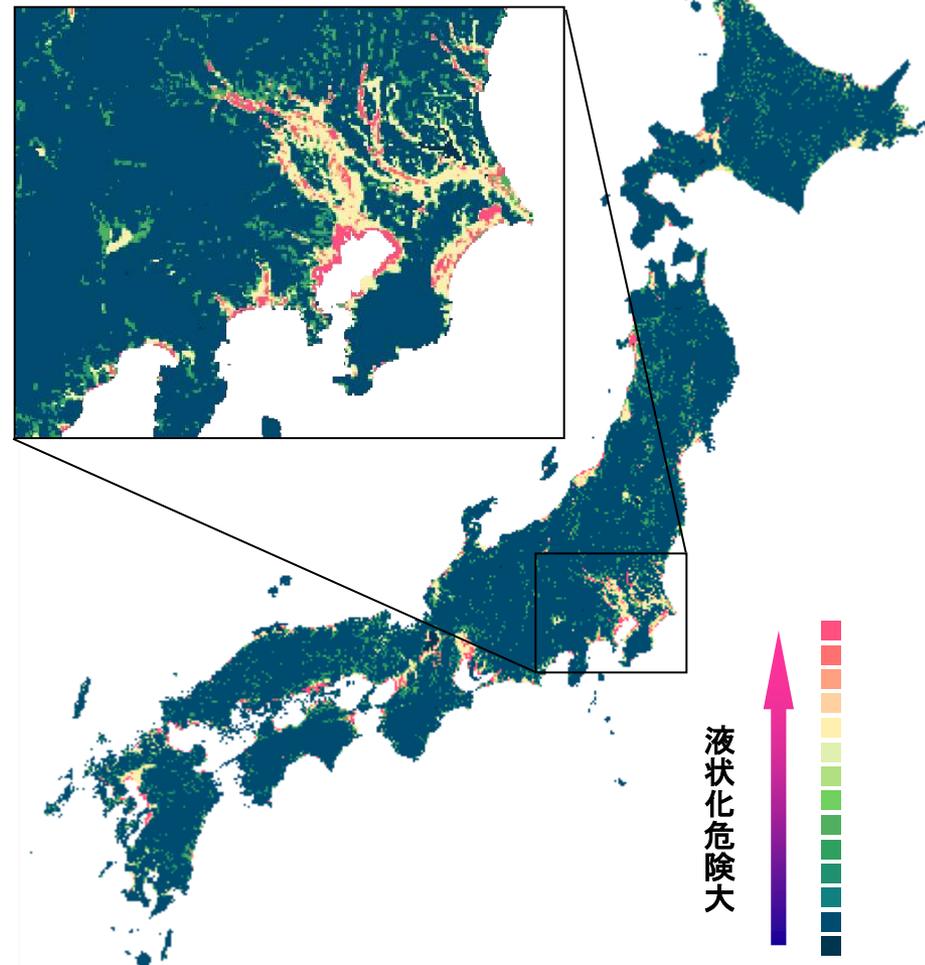


### 表層地盤の増幅率



■ ボーリング柱状図、表層地質の微地形区分より増幅率を推定

### 液状化の可能性



■ ボーリング柱状図、表層地質の微地形区分、過去の履歴より液状化危険度を推定

- 地震動の大きさと建物の損失率の関係を表した脆弱性曲線を使用して予想損失額を算出  

$$\text{予想損失額} = \text{再調達価額} \times \text{損失率}$$

- RiskLink<sup>®</sup>は、構造種別毎の標準脆弱性曲線を内蔵

### ◆ 構造種別

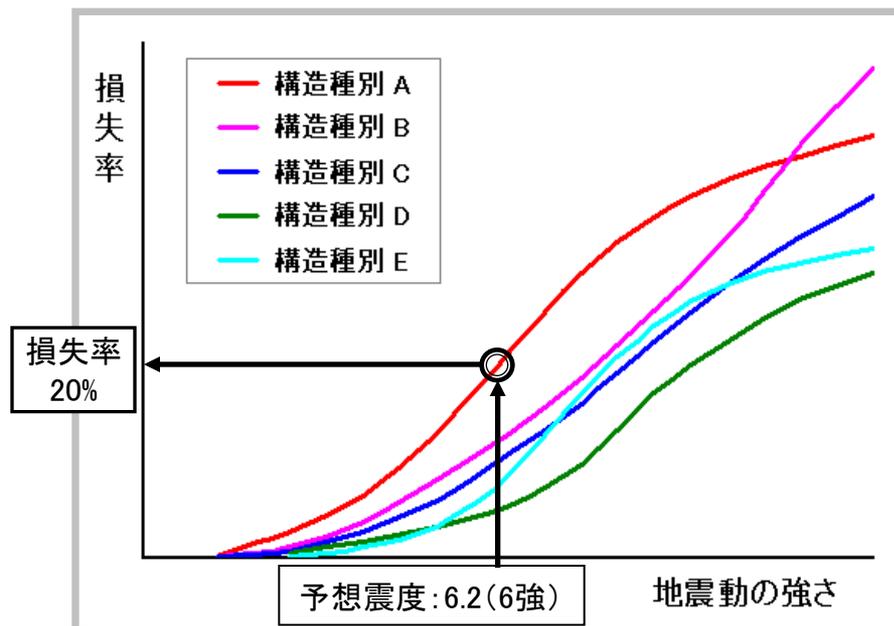
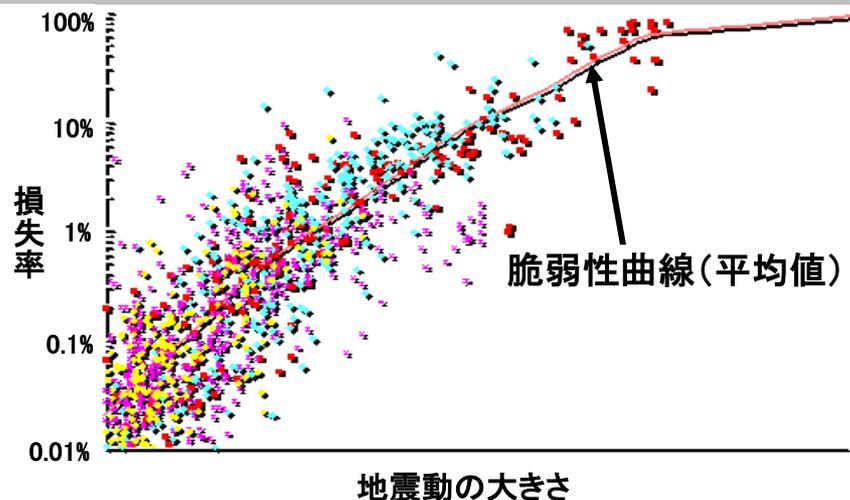
- 木造
- 鉄筋コンクリート造
- 鉄骨鉄筋コンクリート造
- 鉄骨造
- 軽量鉄骨造
- ピロティ形式

### ◆ 建築年

- 1950年以前
- 1951年～1970年
- 1971年～1980年
- 1981年～1999年
- 2000年以降

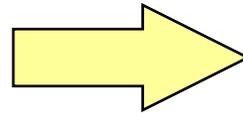
### ◆ 階数

- 低層 (1-3階)
- 中層 (4-7階)
- 高層 (8-14階)
- 超高層 (15階以上)

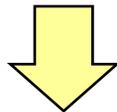
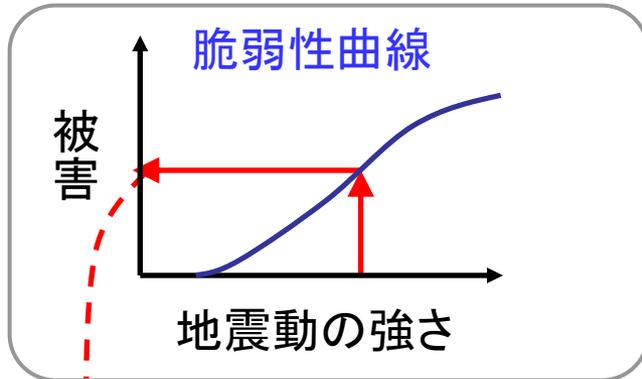


# 休業損失の予測

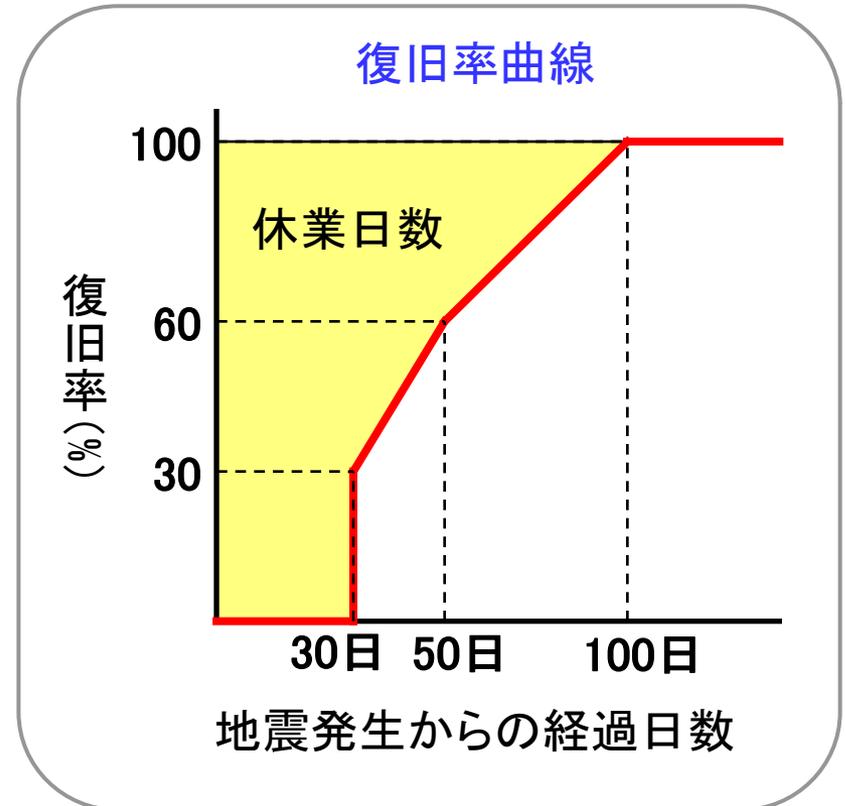
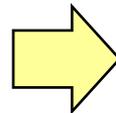
## 物的損失



## 休業損失



- 建物・構築物の被害
- 周辺ライフライン被害の影響
  - ◆ 水道・電気 etc.



# 産業別の損失予測

## 重工業

- セメント
- ガラス
- 鋳業
- 金属
- 化学
- 製紙
- 重工業一般



## エネルギー

- 石油化学精製
- 電力業
  - 水力
  - 火力
  - 熱電業
- 天然ガス
- 石油化学・ガス
- パイプライン
- 送電・配電設備
- 変電所



## その他

- 港湾施設
- 通信輸送
- 電子通信



## 軽工業

- 製薬業
- 生命医学
- 食料品
- 電子製品
- 半導体
- 製造一般
- 組立一般

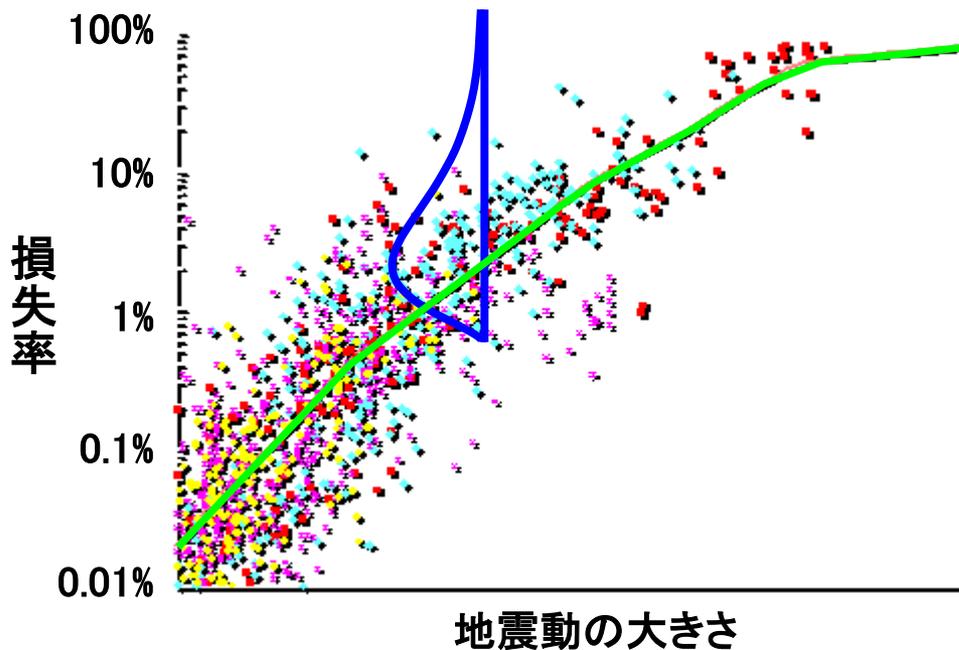


各産業に特有な生産設備の損失率曲線や復旧曲線を用いて地震リスクを評価

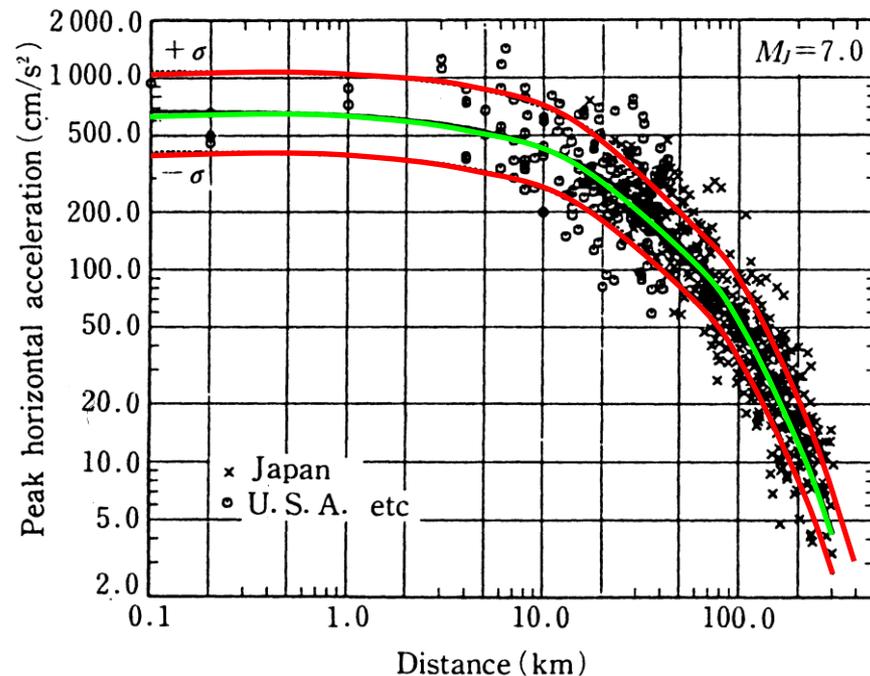
# 損失予測の不確実性

- 損失予測結果には以下の予測誤差(不確実性)が含まれる
- 地震の発生に関わる不確実性(一次の不確実性)
  - ◆ 地震のメカニズム、震源位置、規模、発生確率など
- 地震動による損失予測に関わる不確実性(二次の不確実性)
  - ◆ 地震動の距離減衰、地盤の増幅特性、液状化、建物の脆弱性など

### 脆弱性曲線



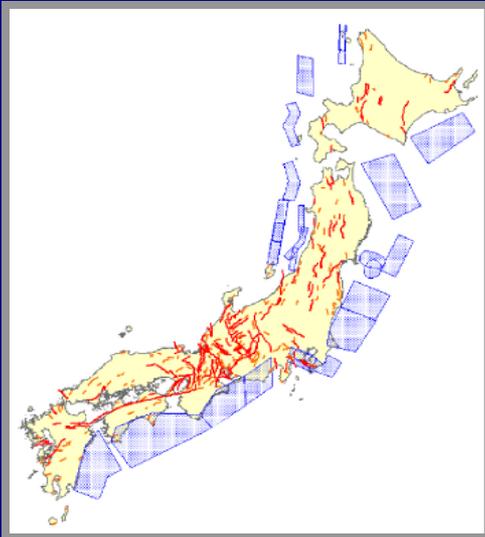
### 距離減衰式



### 3. 分析結果と見方

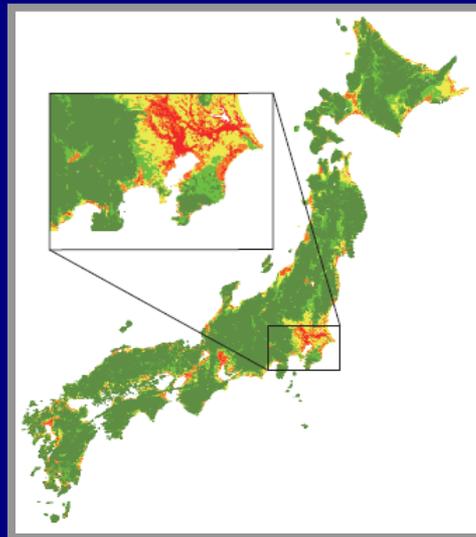
# 分析のフロー

## 地震の定義



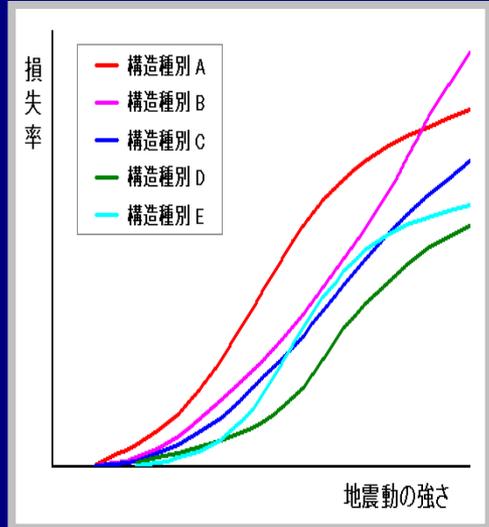
【地震モデル】  
全国の様々なタイプの地震  
27,000ケース

## 地震動予測



【地盤モデル】  
全国1kmメッシュ  
3大都市圏100mメッシュ

## 損失予測



【脆弱性曲線】  
標準：構造、階数、建築年  
等タイプごとに数百種類

この計算をすべての想定地震毎に、繰り返し計算

# イベントリスト

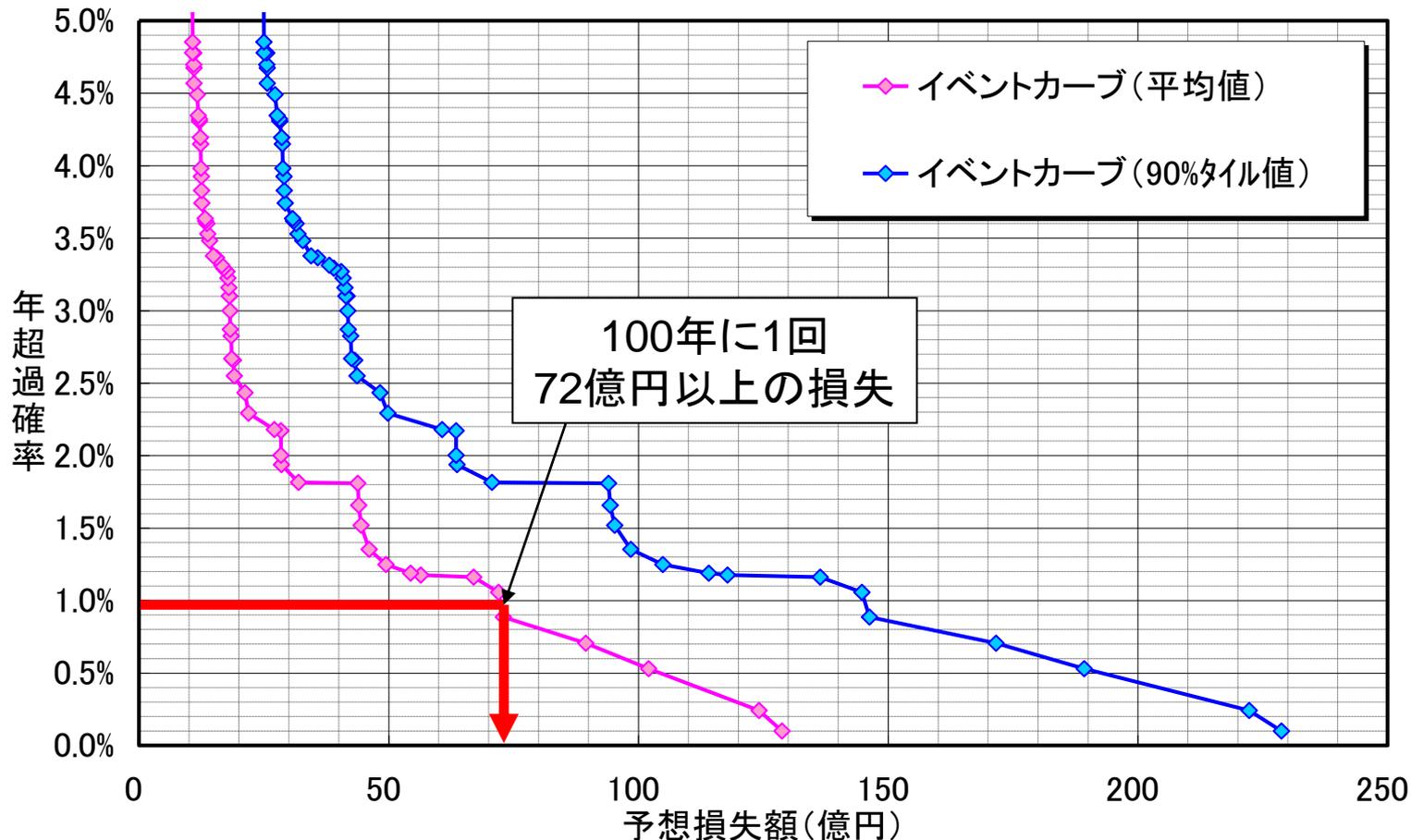
モデルに設定されている想定地震

分析結果

順位	震源名	マグニ チュード	年発生 確率	年超過 確率	予想損失額 (億円)	
					平均値	90%タイ ル値
1	相模トラフ(1703年元禄地震)	8.1	0.110%	0.110%	129	229
2	相模トラフ(関東大地震再来)	7.9	0.141%	0.251%	124	222
3	南関東直下(フィリピン海プレート)①	7.3	0.260%	0.510%	102	189
4	関東平野北西縁断層帯主部	8.0	0.195%	0.704%	89	172
5	立川断層帯	7.5	0.181%	0.883%	73	146
6	神縄・国府津-松田断層帯	7.0	0.156%	1.038%	72	145
7	南関東直下(フィリピン海プレート)②	7.2	0.107%	1.143%	67	136
8	南海トラフ(東海～東南海～南海)	8.5	0.014%	1.157%	56	118
9	南海トラフ(東海～東南海)	8.4	0.012%	1.169%	54	114
10	南海トラフ(東海)	8.3	0.155%	1.322%	49	105
⋮	⋮					

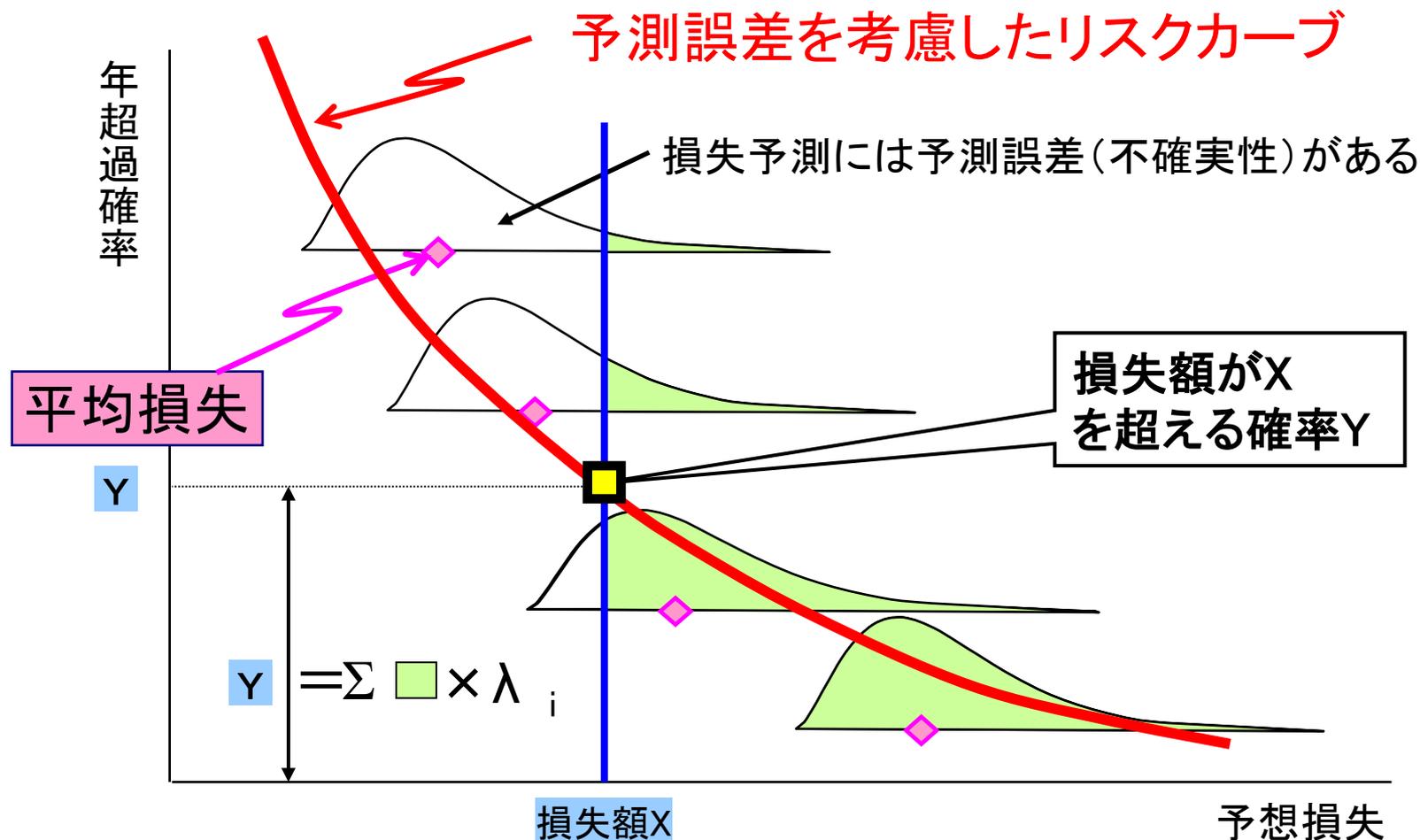
# イベントカーブ

イベントの予想損失額の高い順に  
損失額と累積年発生確率をプロット



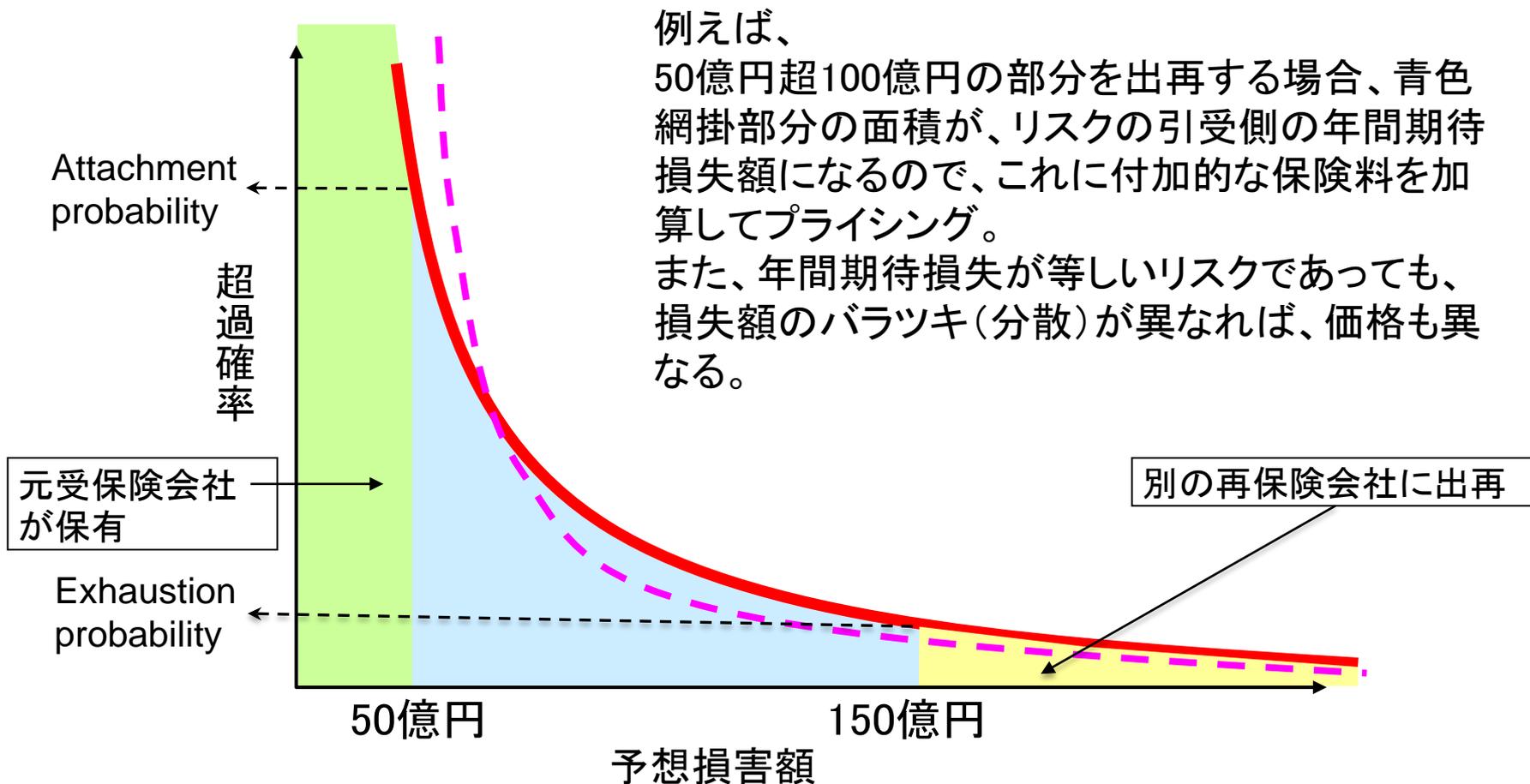
■ ある損失額を超える損失を与えるイベントの発生確率(年超過確率)

# イベントカーブからリスクカーブへ

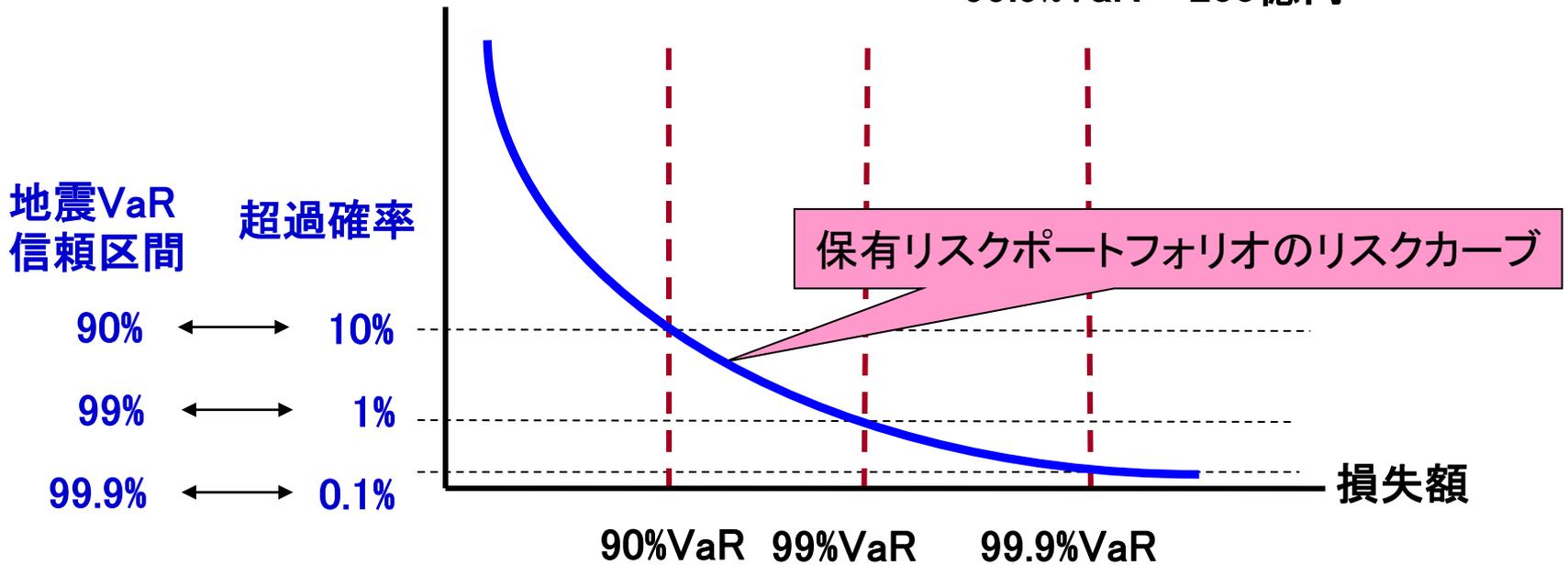
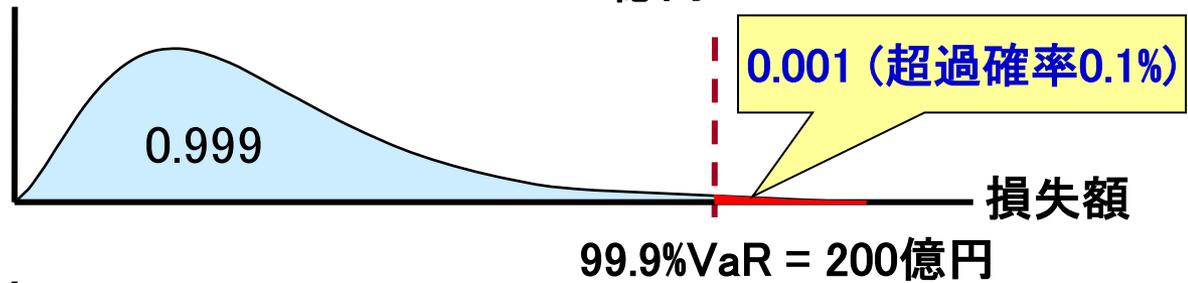
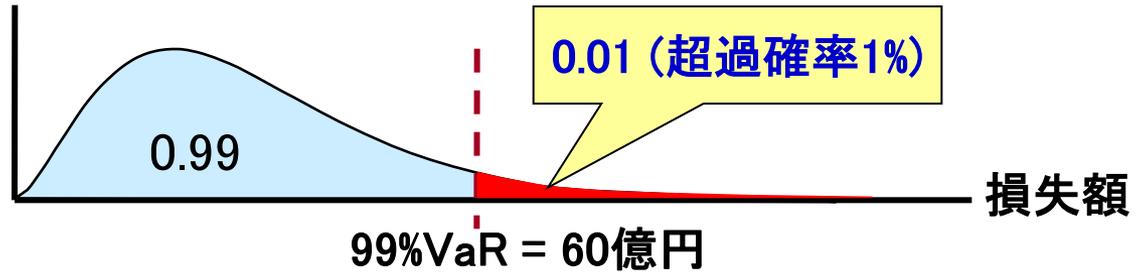


- リスクカーブは**予測誤差**を考慮した上で、ある**損失額**を超える**損失の発生確率** (年超過確率)を表現
- イベントカーブの年超過確率は地震の発生確率

## ■ 引受リスクの年間期待損失と分散



# 集積リスクの管理

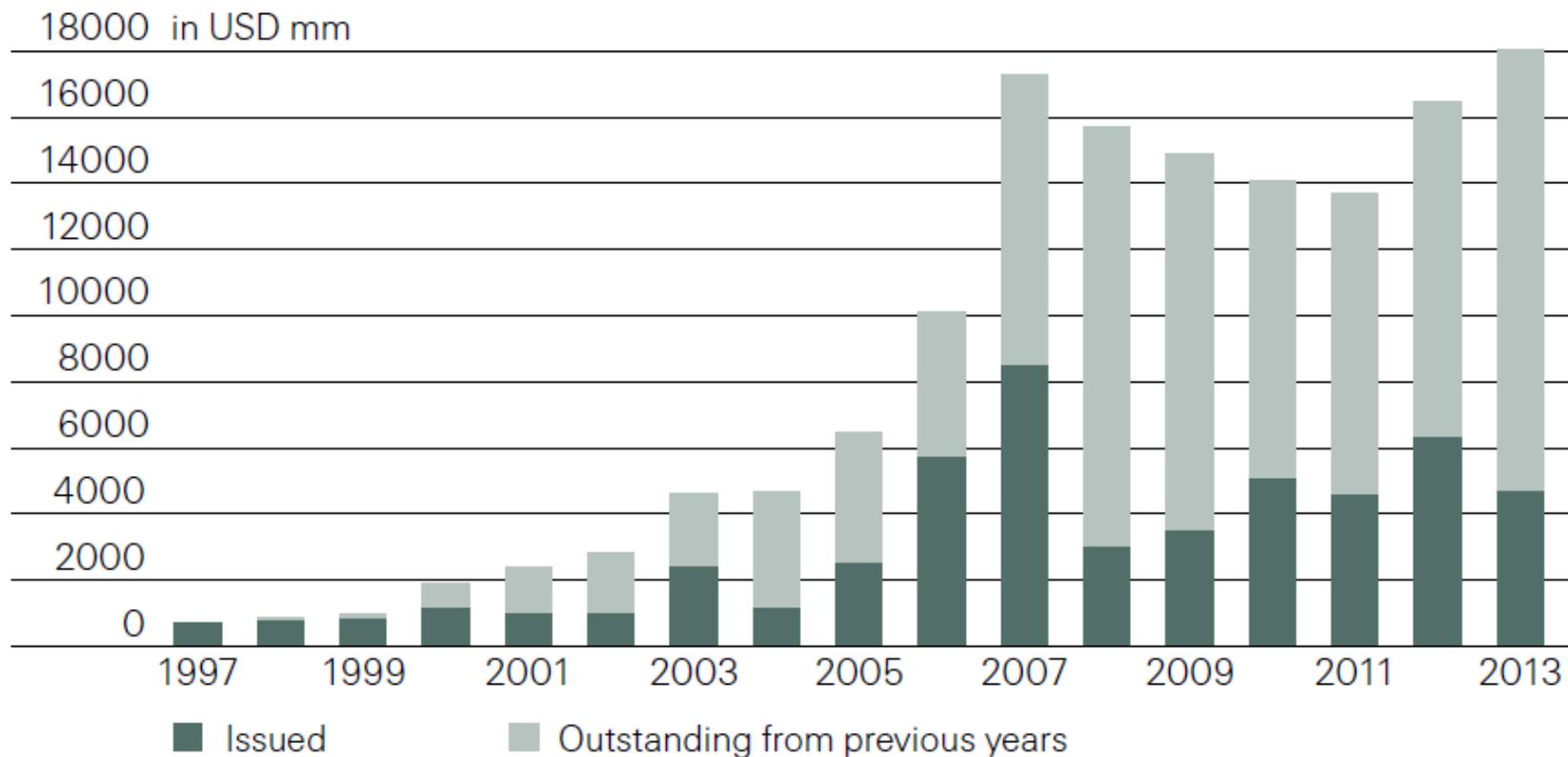


## 4. 保険にかわる新しい金融商品

# 自然災害リスクをヘッジする金融商品

- 自然災害リスクの定量化が可能となり、保険以外の金融商品が開発されてきた
- スポンサーに対しては新たなリスクヘッジ手段を提供し、投資家には新たなリスクプロファイルを持つ投資商品を提供することが可能となった
- 再保険価格の安定化にも役立つ
- 自然災害リスクをヘッジする金融商品を専門に投資するファンドもある
- CAT金融商品ポートフォリオのリスクを管理するツールもRMSによって開発されている

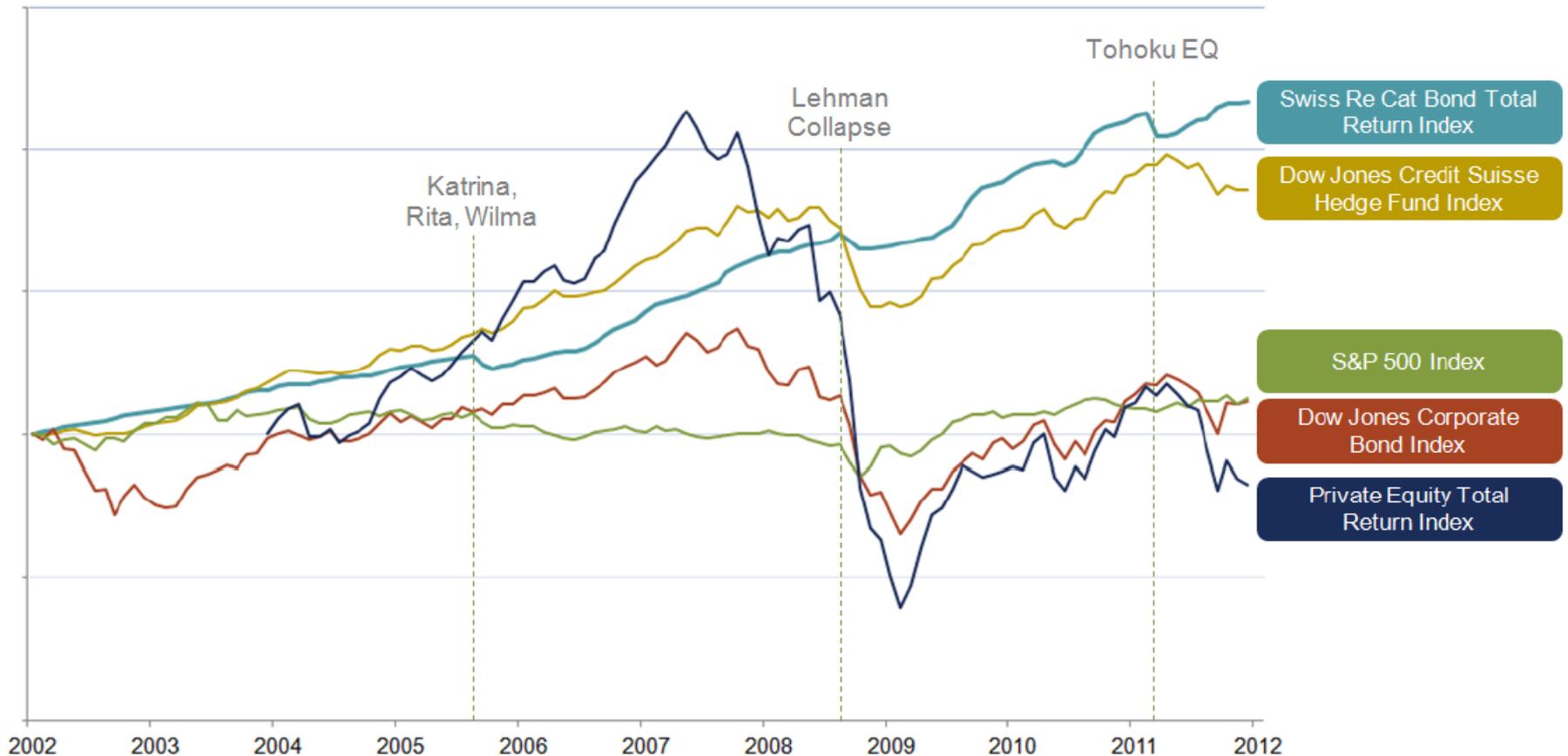
# 保険リンク証券の発行残高



(出典) Swiss Re 資料

# 大災害債券と他の資産クラスのパフォーマンス比較

【2002年を基準とした各資産クラスのトータルリターンインデックスの推移】



(出典) Risk Management Solutions

# パラメトリックトリガー型大災害債券 (CAT Bond)

## JR東日本 Midori Ltd.の例

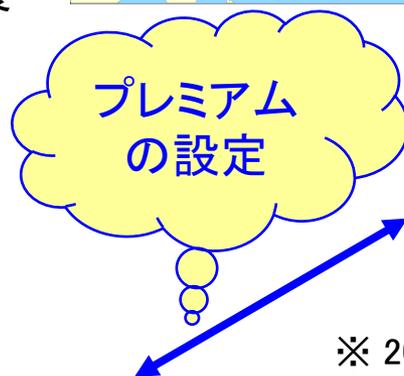
### ■目的

- ◆ 首都圏での直下型地震が財務面に与える影響を更に軽減するため
- ◆ JR東日本は大規模地震の発生に対し、耐震補強工事等の地震対策を実施するとともに地震による損害に対応すべく地震保険に加入している



### ■条件

- ◆ 発行額: 2億6000万ドル
- ◆ 対象リスク: 南関東の地震
- ◆ トリガー: パラメトリック型
  - マグニチュード
  - 発生地域
  - 震源の深さ
- ◆ リスク期間: 5年
- ◆ 格付け: BB+ (S&P社)
- ◆ 債券レート: LIBOR3ヶ月 + **275 bp**



マグニチュード	内縁 ペイアウト (<40km)	外縁 ペイアウト (<70km)
≥7.7	100.0%	100.0%
7.6	100.0%	75.0%
7.5	100.0%	50.0%
7.4	100.0%	37.5%
7.3	100.0%	25.0%
7.2	75.0%	12.5%
7.1	50.0%	0.0%
7.0	25.0%	0.0%
≤6.9	0.0%	0.0%

Attachment Probability =	0.710%
Exhaustion Probability =	0.324%
Expected Loss Percentage =	0.471%

※ 2007年10月17日 JR東日本プレスリリース  
 ※ 2009年 ミュンヘン再保険グループ資料 参照

# インデックストリガー型大災害債券 (CAT Bond)

## 【2008年JA共済連発行(商品名: Muteki)】

- The Index Value is based on Peak Ground Acceleration (PGA), as measured by 1,034 Kyoshin-Net (K-NET) stations located throughout Japan
- For any Earthquake Event, the Index Value is calculated by the Event Calculation Agent using the following Index Formula:

$$I_i = 10,000 \times \sum_{j=1}^{1034} w_j \times g_{i,j}$$

Where:  $w_j$  = the weight of Calculation Location  $j$

$$g_{i,j} = \min \left\{ \frac{28.375111 \times (x_{i,j} - 0.05)^3}{6.2700602} \right\}$$

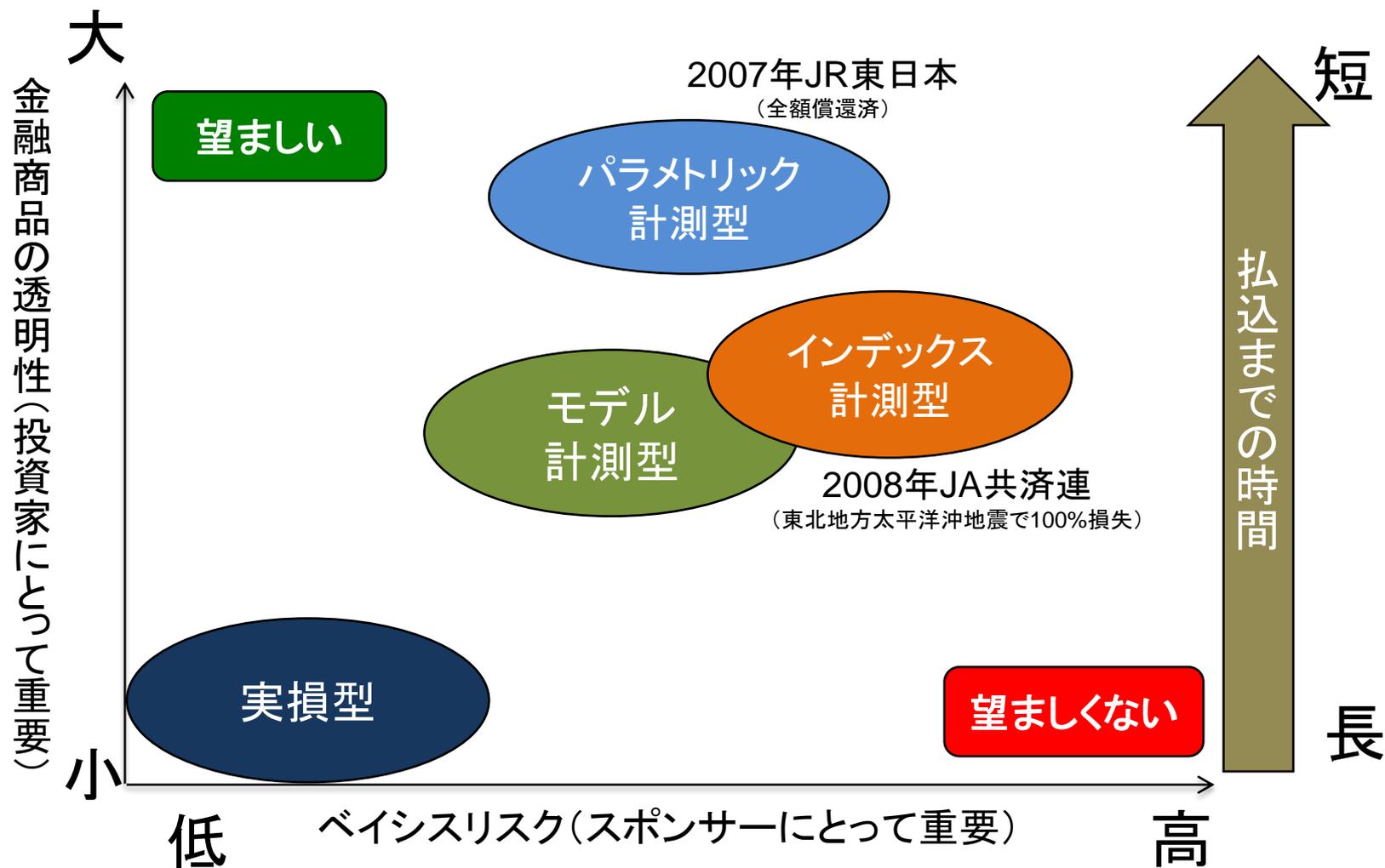
$$x_{i,j} = \max \left\{ \frac{\text{PGA at Station } j \text{ due to event } i}{0.05} \right\}$$

- The number resulting from the Index Formula is rounded to the nearest whole integer in order to obtain the Index Value
- If the Index Value exceeds the Attachment Index Value, linear reduction of principal (USD 300 mn) between Attachment Index Value and Exhaustion Index Value



(出典) Munich Re 資料

# トリガータイプの比較



## 5. 東日本大震災が企業に与えた影響

# 震災が企業に与えた影響の概観

## ■ 目的

- ◆ 東北太平洋沖地震が企業に与えた被害の実態を把握し、今後想定される地震への対応策に活かす目的で調査を行った

## ■ 調査対象

- ◆ 2011年3月～2012年3月までに震災事由の特別損失を計上した1,336社
- ◆ 調査にはHPや有価証券報告書などの公開資料を利用

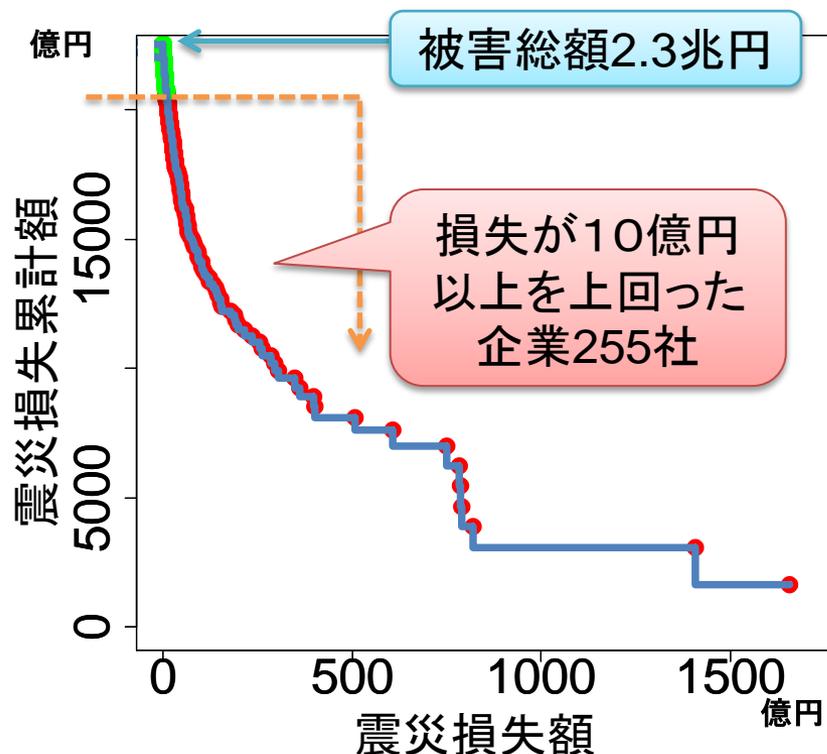
## ■ 内容

- ◆ 震災が企業に与えた影響の概観
  - 被害状況の全体的な傾向やパターンの整理
  - 財務面での影響

# データの概要

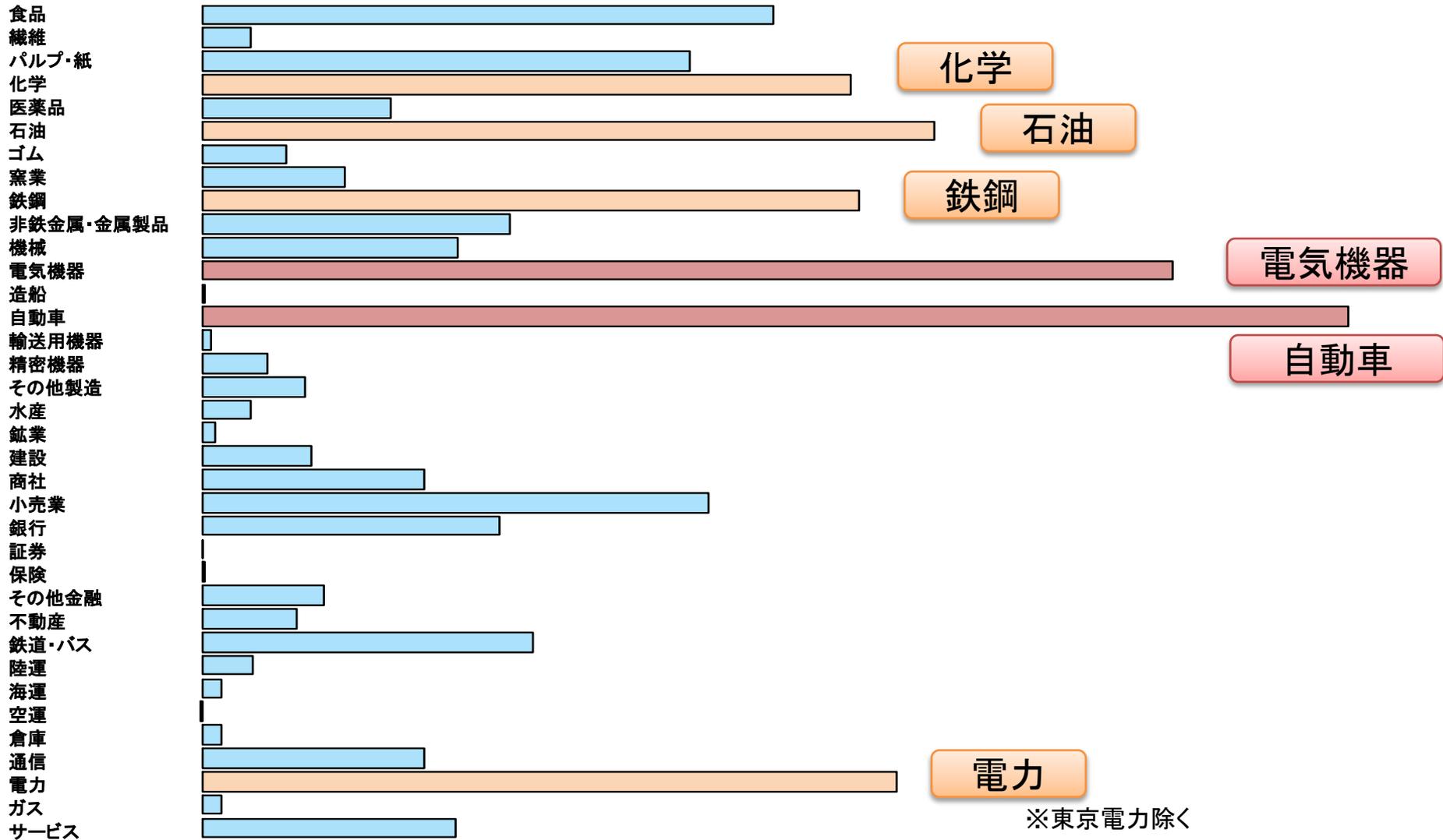
- 2012年3月までに公表された有価証券報告書等に計上された特別損失のうち、

- ◆ 震災事由の損失を抽出
- ◆ 注記より被害金額の要因(内訳)を判別
- ◆ 震災事由の受取保険金を抽出



- 収集した1,336社のうち、被害金額が10億円を上回った被災上位企業(255社)を対象に、被害金額の内訳等を調査した
- 分析対象とした被災上位企業(255社)の被害総額は、特別損失を計上した上場企業(1,336社)の被害総額の92%を占める(東京電力除く)

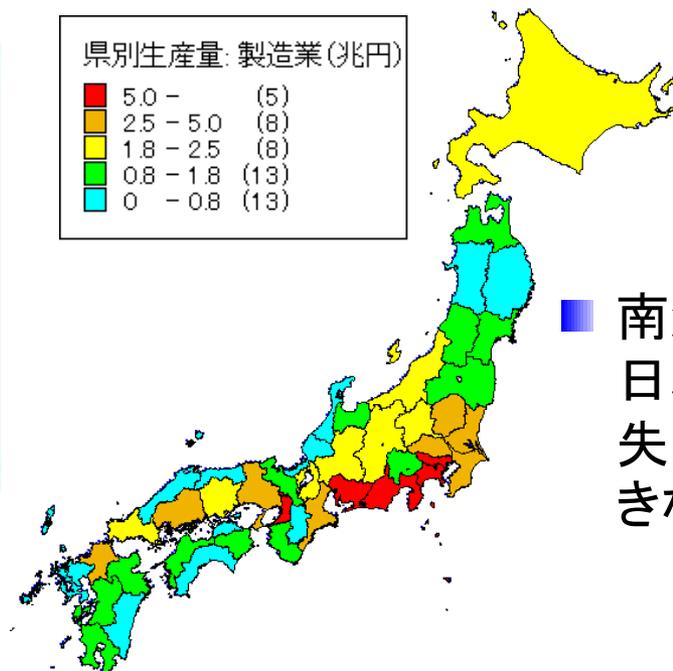
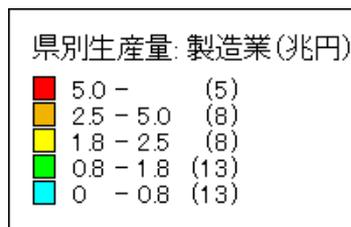
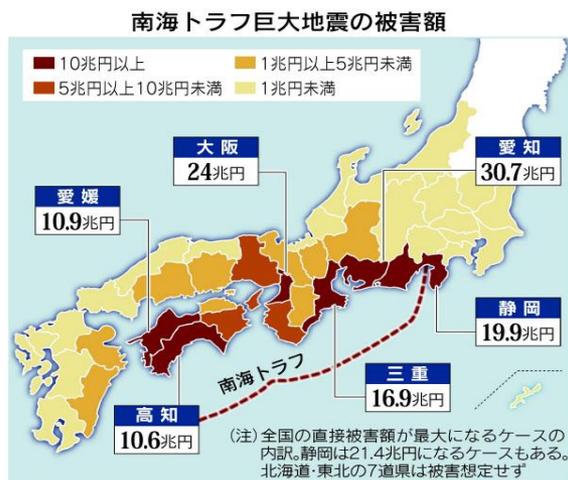
# 業種別の震災損失分布(東日本大震災)



0 500 1000 1500 2000 2500 億円

# 東日本大震災と南海トラフ巨大地震の比較

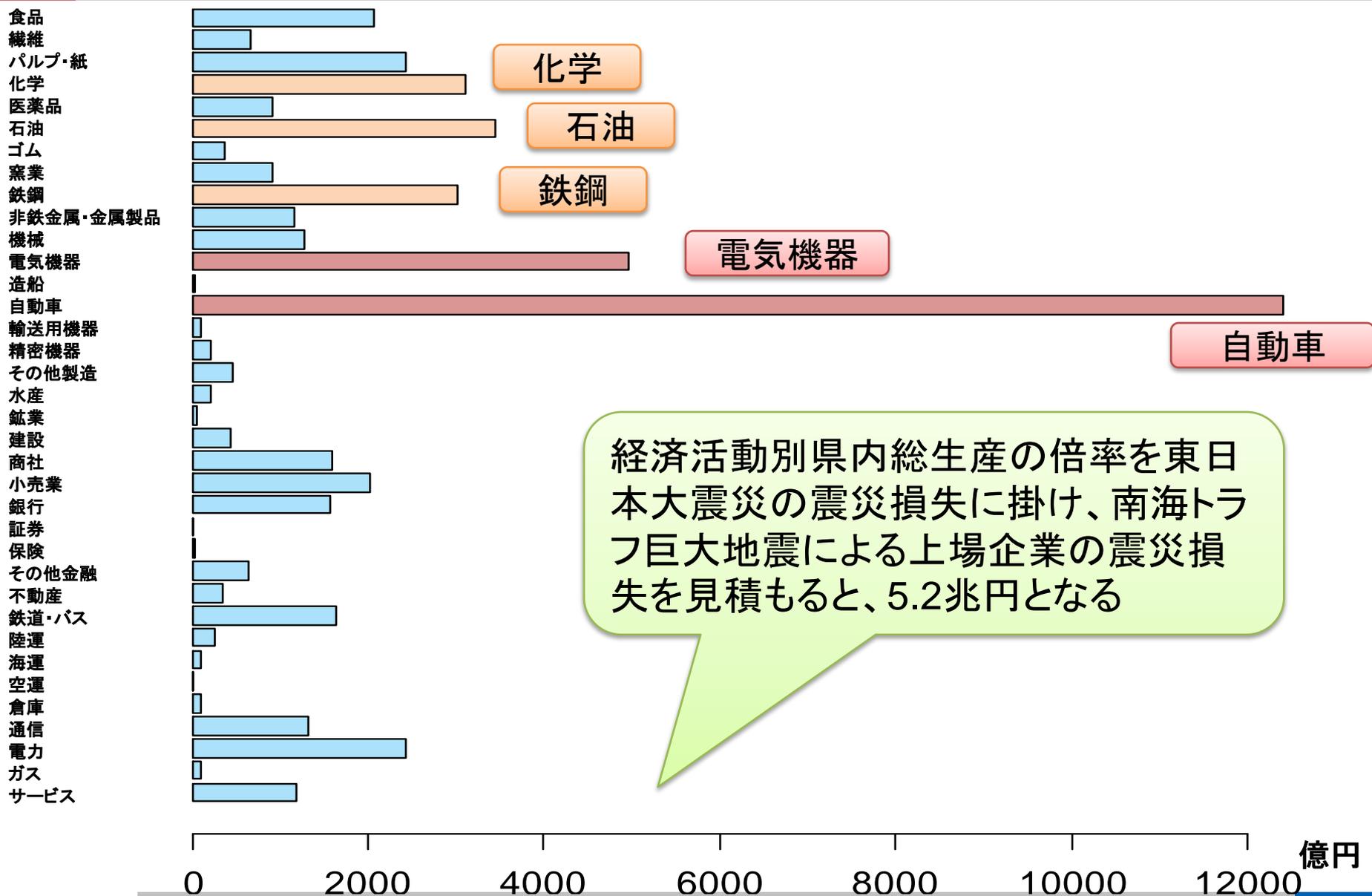
	東日本大震災	南海トラフ巨大地震	
経済活動別県内総生産(名目)(2010年)	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島, 茨城, 栃木, 群馬, 埼玉, 千葉	静岡, 愛知, 岐阜, 三重, 滋賀, 京都, 大阪, 兵庫, 奈良, 和歌山, 岡山, 広島, 山口, 徳島, 香川, 愛媛, 高知, 大分, 宮崎	全体: 2.3倍 業種別では、輸送用機器(4.6倍)、電気機器(2.1倍)
想定被害額(直接損失)	16.9兆円	97.6兆円 (基本ケース)	5.8倍



■ 南海トラフ巨大地震では、東日本大震災を遥かに上回る損失が想定され、企業がより大きな影響を受ける懸念がある

2013年3月18日 日経新聞webより図を引用

# 南海トラフ巨大地震では？



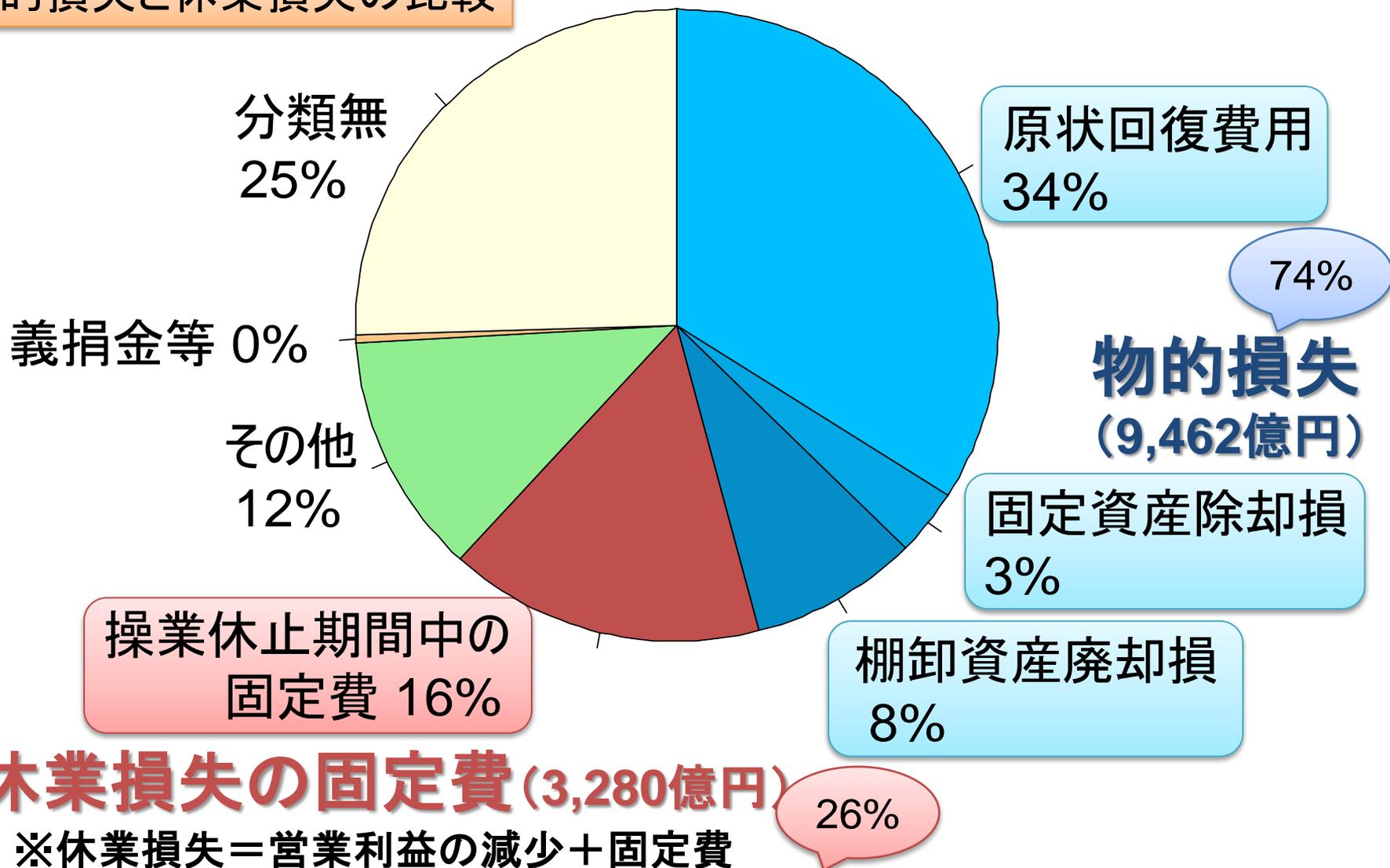
# 分析の対象企業255社

業種	会社数	総資産（億円）		
		平均	最小	最大
食品	24	6,158	852	36,828
繊維	4	6,595	685	15,809
パルプ・紙	6	8,396	2,741	16,751
化学	27	6,962	204	23,044
医薬品	12	6,125	546	15,692
石油	3	34,934	16,026	63,485
ゴム	5	8,719	2,389	27,066
窯業	10	4,765	131	17,640
鉄鋼	6	20,450	1,236	50,364
非鉄金属・金属製品	10	8,413	1,410	19,395
機械	12	11,091	628	40,952
電気機器	23	12,703	889	45,653
自動車	19	17,247	778	103,508
輸送用機器	1	590	590	590
精密機器	4	4,930	3,330	8,162
その他製造	5	7,042	347	16,374

業種	会社数	総資産（億円）		
		平均	最小	最大
水産	2	4,710	4,199	5,221
鉱業	1	4,759	4,759	4,759
建設	4	10,176	2,888	19,000
商社	14	7,560	56	23,434
小売業	24	6,152	178	37,746
銀行	6	20,721	6,271	59,822
その他金融	4	14,600	9,016	23,893
不動産	6	22,503	3,192	42,726
鉄道・バス	3	30,392	7,134	70,008
陸運	2	7,223	2,325	12,120
海運	1	1,312	1,312	1,312
通信	3	48,658	37,416	64,807
電力	1	39,664	39,664	39,664
ガス	2	9,489	945	18,034
サービス	11	4,572	539	19,495
水産	2	4,710	4,199	5,221

# 災害による損失の内訳

## 物的損失と休業損失の比較

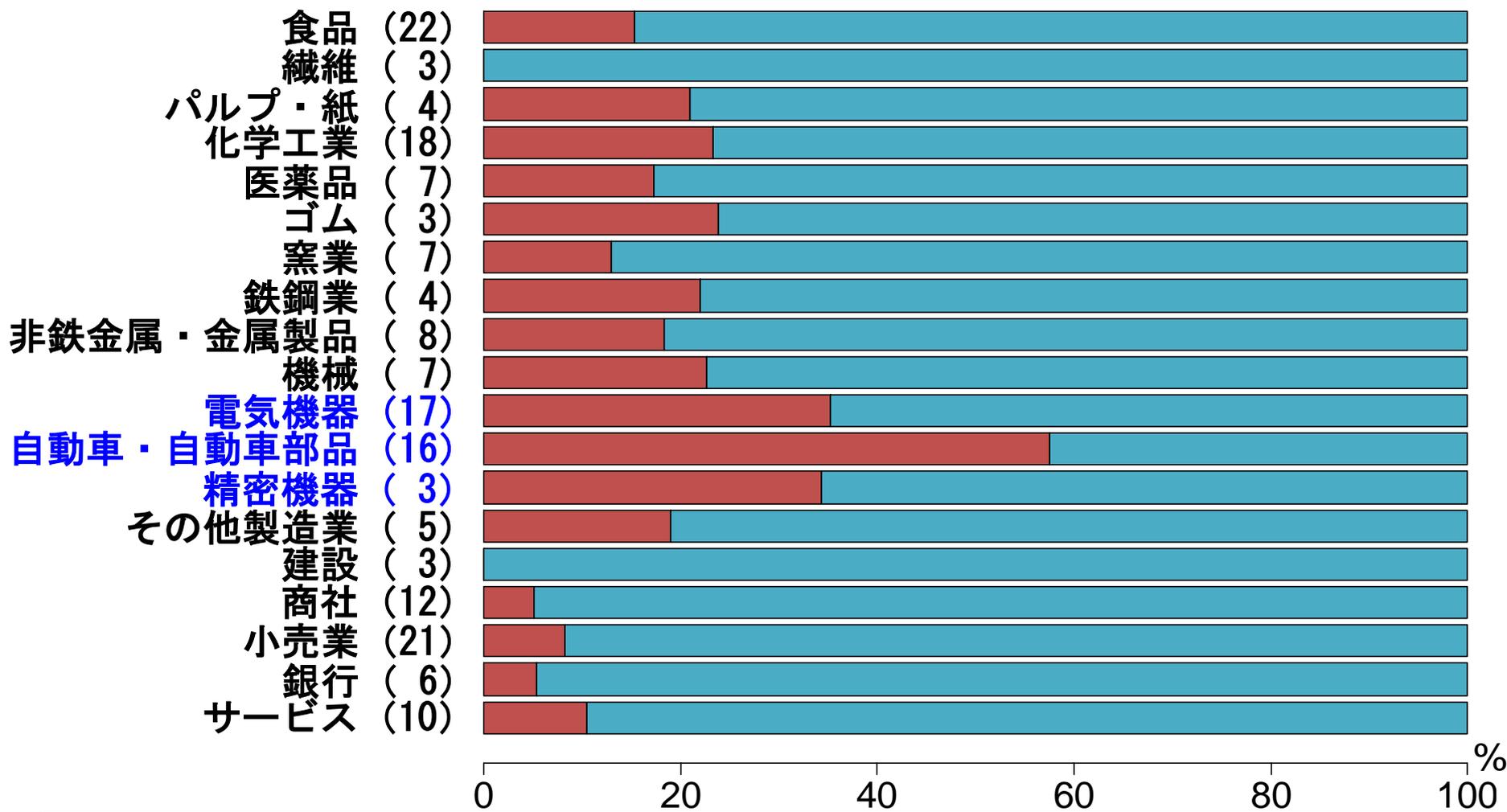


# 業種別の物的損失と休業損失の構成

内訳の詳細が分かった190社の内、業種内社数が3社以上を表示

## 休業損失の固定費

## 物的損失



部品調達を伴う自動車、電気機器、精密機器では、休業損失の割合が高い

# 受取保険金

## 損失に対する受取保険金の割合

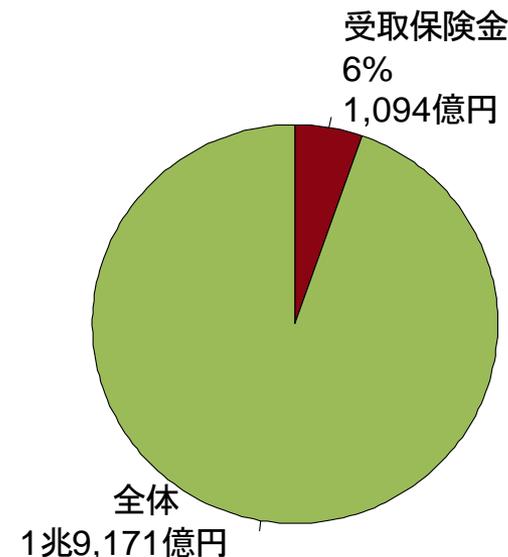
	損失額		受取企業	全体	割合
有価証券 報告書	>10億円	受取保険金	1,094億円	1.9兆円	6%
		会社数	45社	254社	18%
	対象 全社	受取保険金	1,121億円	2.3兆円	5%
		会社数	64社	1,336社	5%
企業全体※		受取保険金	5,925億円		

※共済総研レポート2011.8 参照(損保大手3グループの支払(見込)保険金合計)

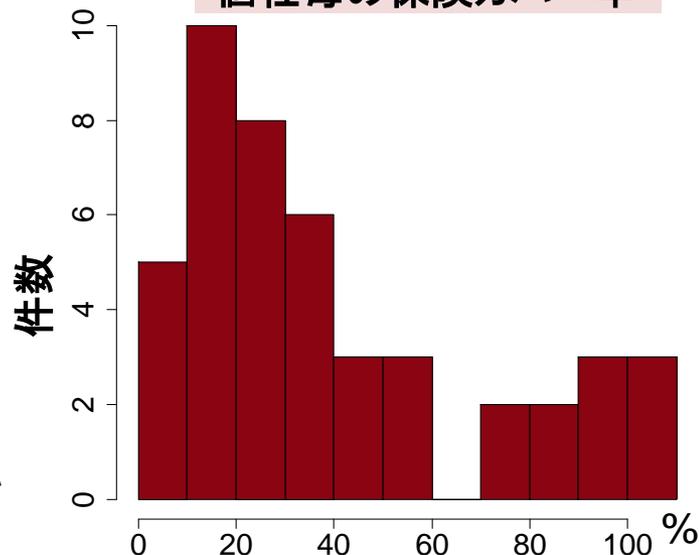
- 有価証券報告書では、受取保険金の一部は、震災損失と相殺されている可能性がある
- 保険を付保していた会社の受取保険金のカバー率は、平均約35%程度、受取保険金は最大160億円

※東日本旅客鉄道は、2013年3月期に242億円の受取保険金を計上(限度額710億円、免責100億円の地震保険を付保)

※セイコーエプソンは、2013年3月期に27億円の受取保険金を計上



## 個社毎の保険カバー率



# 震災が企業に与えた影響のまとめ

- 東日本大震災では、手持ちの現預金を大きく上回る復旧資金需要が生じた企業があった
- 一方、純資産が大きく毀損した企業は少なく、債務超過に至った企業はなかった
- ただし、南海トラフ巨大地震や首都直下地震では、物的損失だけでも東日本大震災の16.9兆円を上回る67～170兆円の損失が想定され、企業がより大きな影響を受ける懸念がある
- 企業は、これらの地震によってどのような状況になるかを事前に想定し、「当座の現預金を確保する」など、企業の実態に応じたリスクファイナンスを検討しておく必要がある