

集団のDAMAGE IMPACTの制御

因果律からみたSeismic-Damage(地震被害)の制御: 2

Hazard = Seismicity × Attenuation × Ground Amplification

Damage Impact = Hazard × $\sum_{Population} Vulnerability$

- 制御可能: Ground Amplification → 建築・土木工学
- 制御可能: Vulnerability | Population → 建築工学
- 制御不能: Hazard
- 事前評価: Seismicity → Hazard Map (地震想定)
- : Damage Impact → Damage Map, Damage Scenario (被害想定)
- 直前予測: Attenuation → Nowcast (緊急地震速報)

北海道大学

地震工学 Earthquake Engineering

第8回

被害関数の話

今日のキーワード

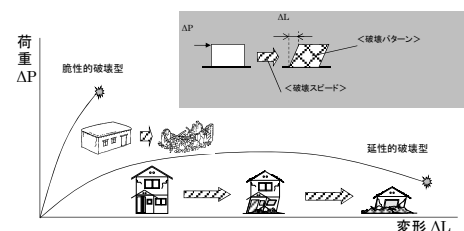
- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Vulnerability
(脆弱性) | 4. Damage Screening
(被害認定) |
| 2. Damage Rate
(被害率) | 5. Seismic Capacity Evaluation
(耐震診断) |
| 3. Damage Index
(損傷度) | 6. Damage Pattern
(破壊パターン) |

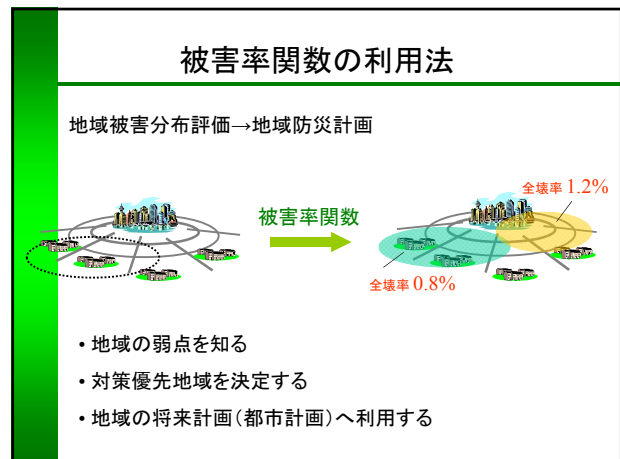
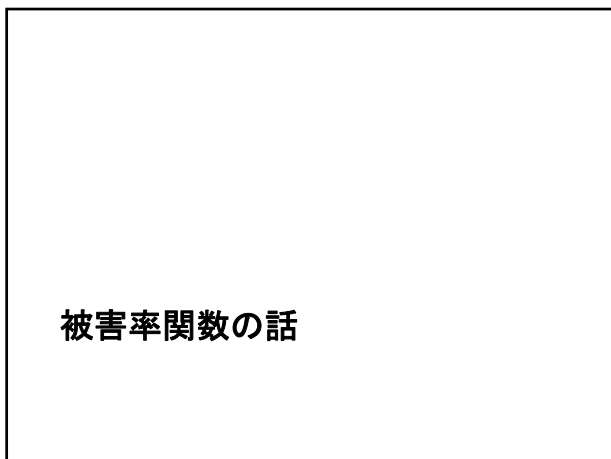
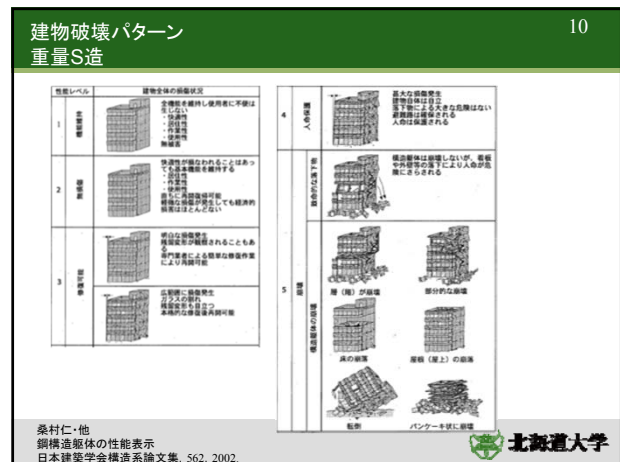
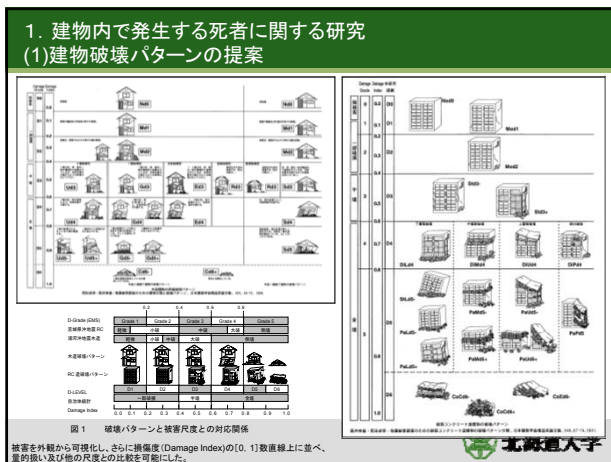
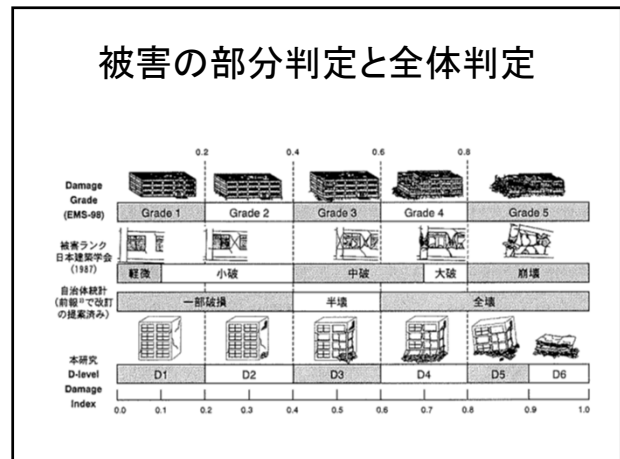
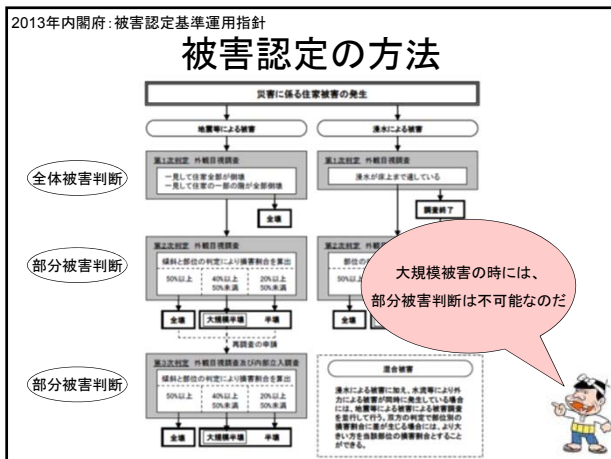
地震被害の考え方

- 単体防災: 民間ベースの防災
 - 単体構造物(一般建物)の設計
 - $Damage = Hazard \times Vulnerability$
 - Hazard: 確率論
- 集団防災: 行政ベースの防災
 - 構造物の集合(コンプレックス)
 - 個別的レベルの集合(個人、世帯、企業等)
 - 地区的レベルの集合(町内会、街区、市町村)
 - 国レベル(都道府県、外国)
 - $Damage = Hazard \times \sum_{Population} Vulnerability$
 - Hazard: 確定論(シナリオ地震)

集団のVULNERABILITY制御?
= POPULATION制御(都市防災)
↑地域のリスクマップの有効利用

行政に必要な被害情報:
部材の応力ではなく、構造物の終局状態





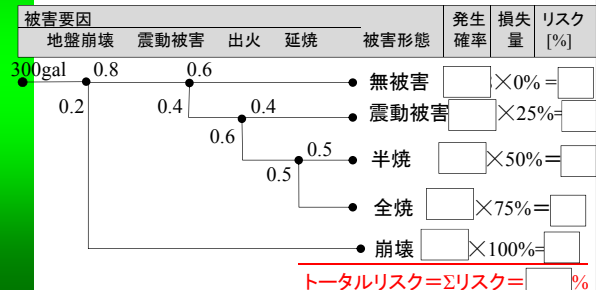
地震リスクマネジメントの方法

■ 旧来の方法: 地域被害率を求める方法

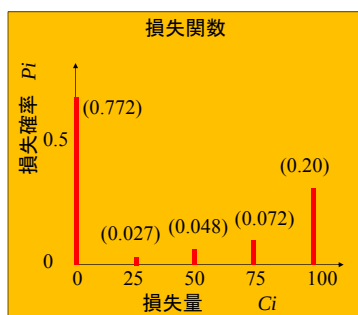
1. イベントツリー
2. 被害率関数
3. 地震ロス関数

(1) イベントツリー

- ・ サイトの地震動の最大加速度が300galのとき、**地盤被害**が発生し建物崩壊する確率が20%、**震動被害**発生確率が40%で、そしてその状況下で**出火**し半焼以上の確率が60%、さらに**延焼**し全焼する確率が50%とする。



(1) イベントツリー



(2) 被害率関数

集団特性を表す関数型

定義: 建物群としての集団的耐震性能

目的: 地域内の建物群の被害の説明。
地域の被害評価。

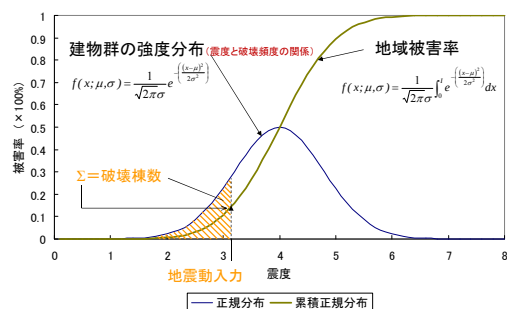
名称: 被害率関数 Fragility curve, Damage rate function

関数の特徴: 集団特性として、ある平均的耐震性強さの周りに正規分布
採用関数型: 累積正規分布

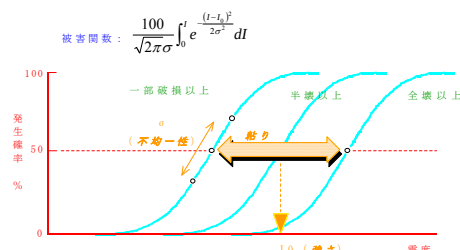
$$V(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^I \exp\left[-\frac{(I'-I_0)^2}{2\sigma^2}\right] dI'$$

様々な関数: 地震動入力指標別 (岡田・高井1999)
建築年代別 (長谷川・翠川1998)
地域別 (高井・岡田1998)

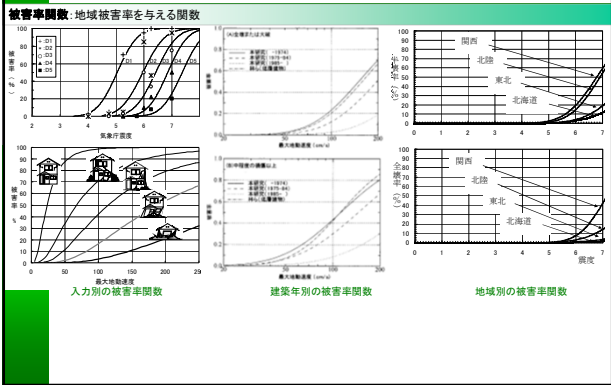
被害率関数の関数型



被害率関数の意味



木造建物の様々な被害率関数



(3) 地震ロス関数

損失関数

地震動 a	損失量				
	無被害	25%	50%	75%	100%
なし a=0	1	0	0	0	0
100gal 0<a<200	0.95	0.05	0	0	0
300gal 200≦a<400	0.50	0.15	0.10	0.10	0.15
500gal 400≦a<600	0.05	0.05	0.20	0.20	0.50
700gal 600≦a<800	0.02	0.02	0.16	0.20	0.60

地震ハザード情報

地震動 a	発生確率
なし a=0	0.80
100gal 0<a<200	0.10
300gal 200≦a<400	0.05
500gal 400≦a<600	0.03
700gal 600≦a<800	0.02

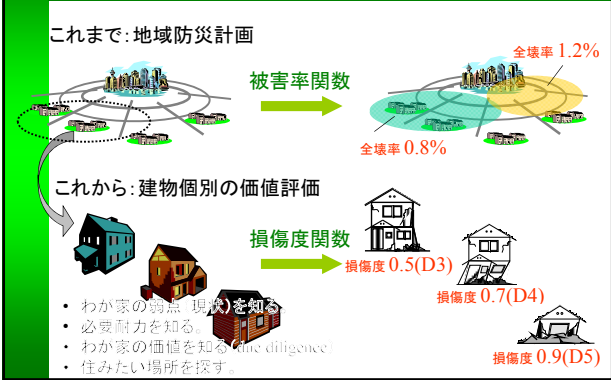
(3) 地震ロス関数

地震動 a		リスク (%)
100gal	R ₁₀₀	
300gal	R ₃₀₀	
500gal	R ₅₀₀	
700gal	R ₇₀₀	

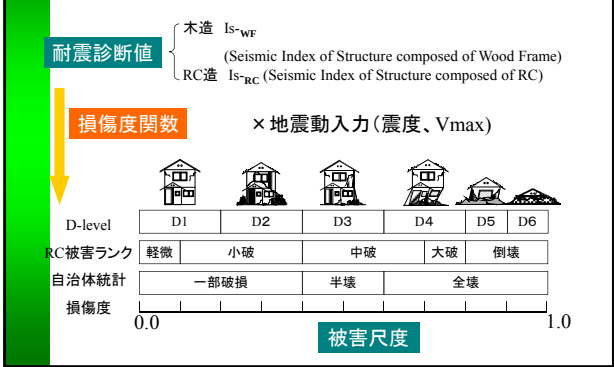
(3) 年間損失関数

損失量		リスク (%)
無被害	R _{無被害}	
25%	R _{25%}	
50%	R _{50%}	
75%	R _{75%}	
100%	R _{100%}	

新しい被害関数の提案



個別建物の耐震性の記述



損傷度関数(岡田・高井の方法)

個体特性を表す関数型

定義: 建物単体の耐震性能

目的: 一建物の耐震性(価値)評価・被害評価
ある建物内での死傷者発生評価

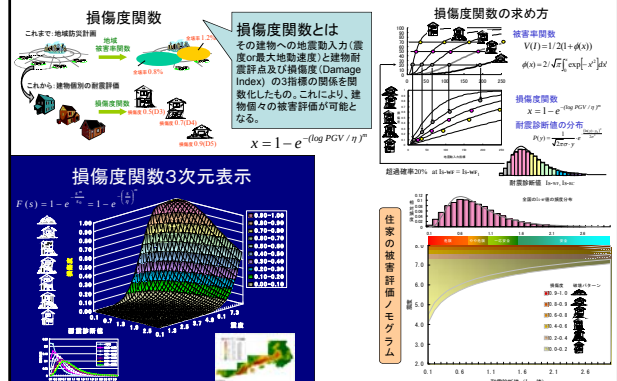
名称: 損傷度関数 Damage Index Function

関数の特徴: 耐震性軸におけるあるインターバルで極値を持つ関数
極値周りの対象性は保証されない
最弱要素が全体の耐震性を規定

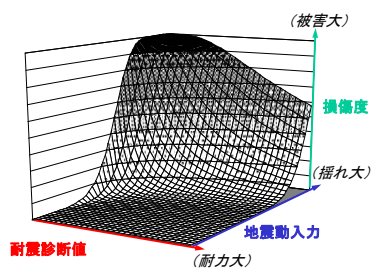
採用関数型: ワイブル分布

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x^m}{x_0}} = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^m}$$

(2)建物損傷度関数の提案



損傷度関数の表現

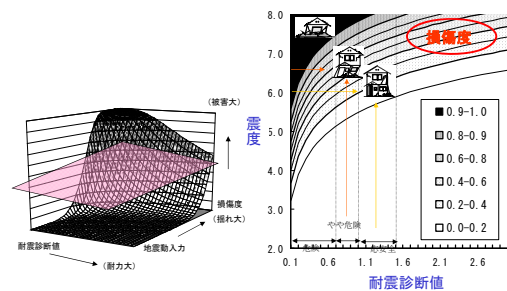


損傷度関数の利用法(1)

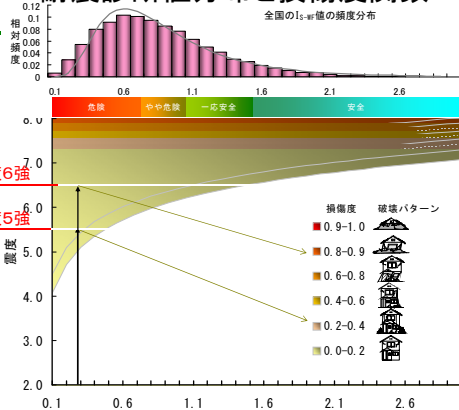
耐震診断値—地震動入力 (求値: 損傷度)

(1) 耐震診断値から損傷度評価: 地震被害評価

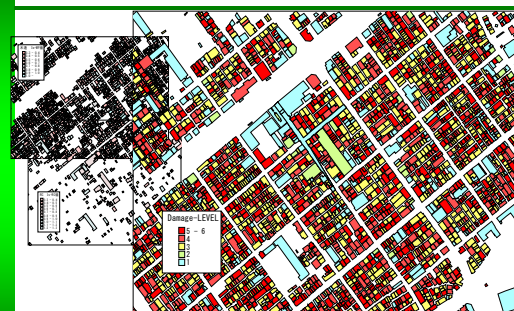
(2) 個別建物の地震リスク評価: 建物価値評価 (デューデリジェンス)



耐震診断値分布と損傷度関数



損傷度関数=建物の個別被害評価が可能

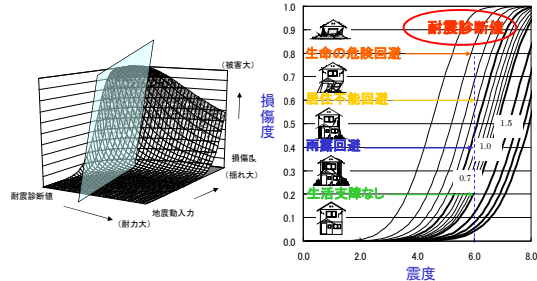


Is-WF:0.3-1.0 Is-RC:0.3-1.2で乱数発生させて140kineを想定した場合

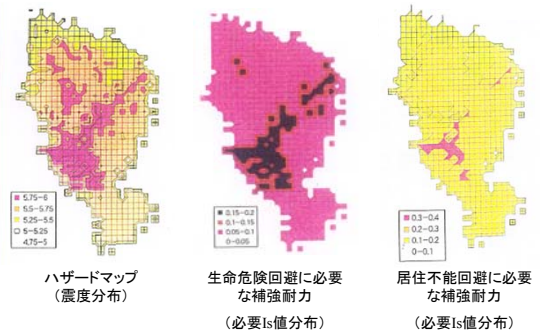
損傷度関数の利用法(2)

地震動入力ー損傷度 (求値:耐震診断値)

(1)建物耐震性評価:必要耐力の見積もり



瑞浪市の耐震補強目標値の設定

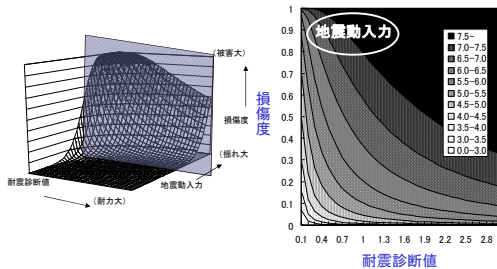


損傷度関数の利用法(3)

損傷度ー耐震診断値 (求値:地震動入力)

(1)影響するハザード評価:再来期間の推定(施設の想定使用年)

(2)ハザード評価:自分たちが住みたい場所探し(土地の評価)



民間によるリスクマネジメントで扱う損失

リスク=発生確率×損失

リスク数値化のために損失を費用換算することが多い

- ・物的被害による損失:施設が被害を受けたときの復旧費用
- ・人的被害による損失:代替労働力賃金+人的補償費用
- ・機能低下による損失:生産停止・営業停止に伴う損失費用
- ・派生被害による損失:間接的影響による損失(周辺住民への補償費用等)
- ・経済的損失:社会的経済損失(行政レベルで見たとき)

リスク(被害)の指標化

- ・企業:BCP
- ・個人世帯:FCP

上位概念としてのBCM(Business Continuity Management)

BCPとは

Business Continuity Plan(事業継続計画)

なぜ、BCPが重要なのか?

いかなる危機に見舞われても、組織の社会的責任(義務)を果たすべく、業務継続を目標に掲げて対策を実行すれば、組織の信頼を勝ち取る好機にも繋がる。

- 危機
- ①自然が誘因となる災害
 - ②人間の過失による事故
 - ③意図した暴力行為テロ

組織には社会的責任が存続する



危:自らの脅威としての危機
機:信頼を勝ち取る好機

組織の業務継続

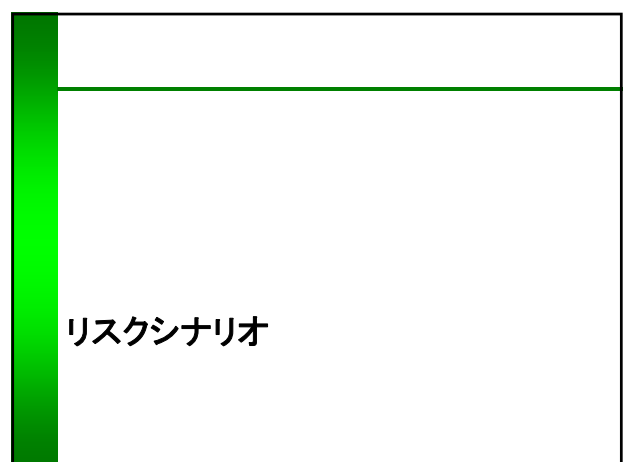
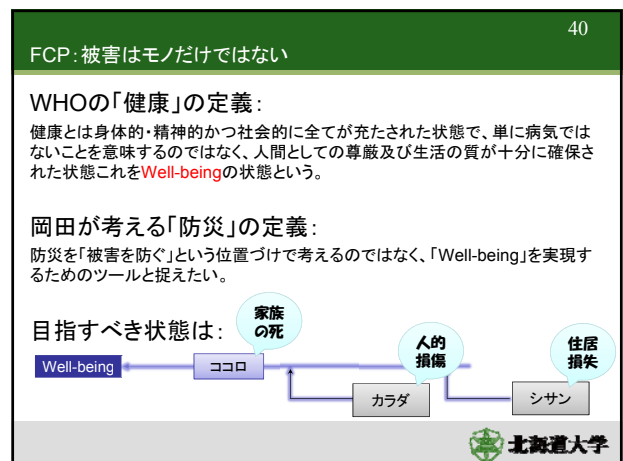
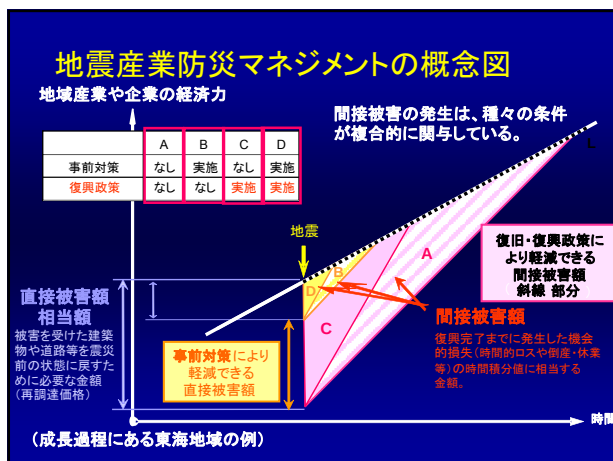
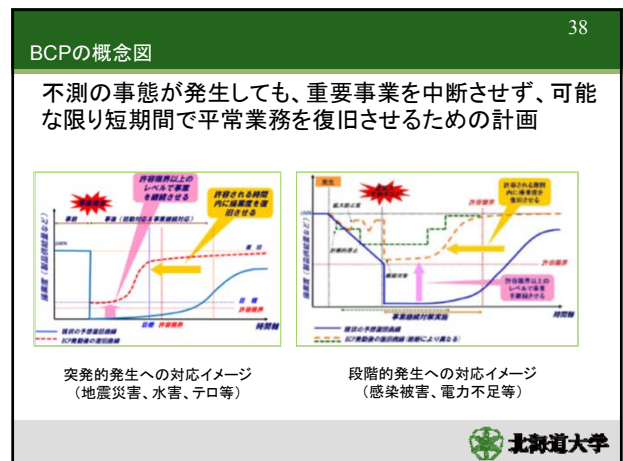
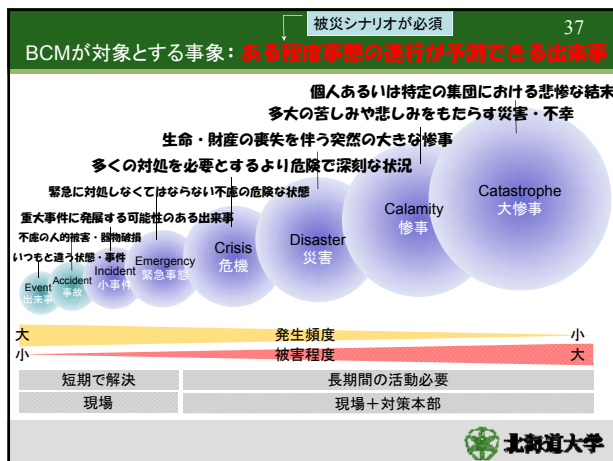
社会的背景

企業:組織の事業構造は多様化・複雑化

1組織の停滞が事業連関停止に繋がり影響は大

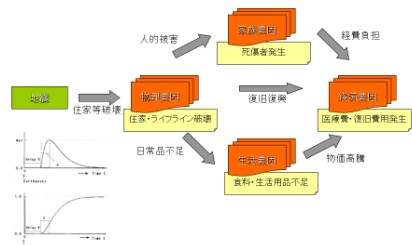
目標達成

北海道大学



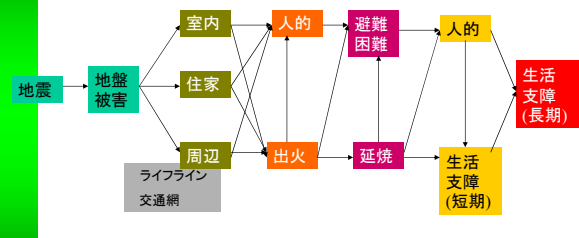
リスクシナリオ(簡単な例)

世帯の生活水準に影響する要因モデル

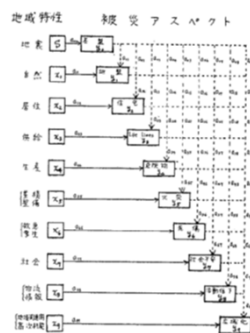


太田・岡田(1989): 震災のダイナミクスより

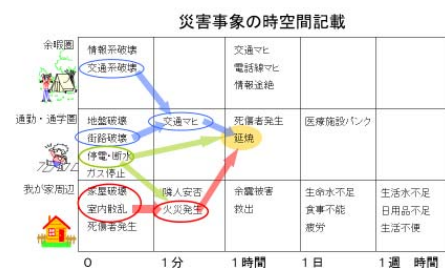
被害の連関モデル



リスクシナリオ(都道府県単位の例)



リスクシナリオ(世帯単位の例)



リスクマップの使い方(総集編)

1. リスクマップについて
 - ① 従来の使い方と問題点
 - ② 本来の使い方
2. 現状のリスク評価に欠落している視点1
 - ① 危険箇所認定・ゾーニング
3. 現状のリスク評価に欠落している視点2
 - ② 時間軸とまちの発展と衰退
4. 現状のリスク評価に欠落している視点3
 - ③ 直下型地震の危険度評価(対策のパターン分類)
5. 現状のリスク評価に欠落している視点4
 - ④ 地震動分布の戦略的選択法(被害分布の分類)
6. 被害想定を考える

1. リスクマップについて

リスクマップの例



Hazard & Risk Mapの従来からの使い方

- 住民に公開し防災意識の向上を図る。
 - Hazard & Risk Mapの公開→危険箇所の認識
 - 被害量(被害棟数、死者数)の公開→被害量の認識
- 建築行政に反映し災害に強いまちづくりを目指す。
- 災害時配備職員人数
 - 災害規模→第1・2・3非常配備決定
- 避難所必要面積
 - 罹災者数 × 1m²
- 備蓄量の算定
 - 水: 罹災者数 × 3^{リットル}/日 × 3日

スローガン

対応マニュアル
の数的根拠

現状での問題点と解決への方針

- (問題点)
- Map作成が目標になってしまっている。
- (解決への方針)
- スローガンから利用具体案の提示へ。
 - 応急対応への利用から総合防災利用へ。
 - 被害率対策(目標設定)から個別損傷度対策(個別耐震化対策)へ。

都市防災に必要なハザード情報

- 単体の防災
 - Risk = Hazard × Vulnerability
 - Hazard: 構造物への入力
 - 確率論的: ベースシア係数 × 補正項
 - 確定論的: 地震動時刻歴
- 集団の防災
 - Risk = Hazard × Vulnerability × Population
 - Hazard: 地域への入力分布
 - 確率論的: 確率論的地震動分布(震度分布)
 - 確定論的: シナリオ地震による地震動分布(震度分布)

地震動入力と防災情報

地震動入力への影響要因

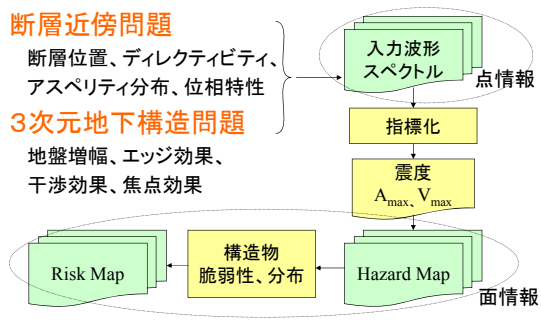
断層近傍問題

断層位置、ディレクティビティ、
アスペリティ分布、位相特性

3次元地下構造問題

地盤増幅、エッジ効果、
干渉効果、焦点効果

防災情報



現状のリスク評価に欠落している視点1

2. 危険箇所認定・ゾーニング

地域誘導(日本の例:法令による方策)

現状における方策

- 条例による開発行為規制
 - 一急傾斜地崩壊危険区域指定／開発行為に許可必要
 - 一災害危険区域(水害関係)指定／同上
- 都市計画法による建築制限
 - 一用途地域制限／建築物の用途・形態・容積等に制限
(Hazard Mapの積極的活用は見られない。)
- 断層法
(日本学術会議:阪神淡路大震災調査特別委員会第二次報告において断層法を提言するが未制定。)

地域誘導(日本の例:法令による方策)

これからの方向性

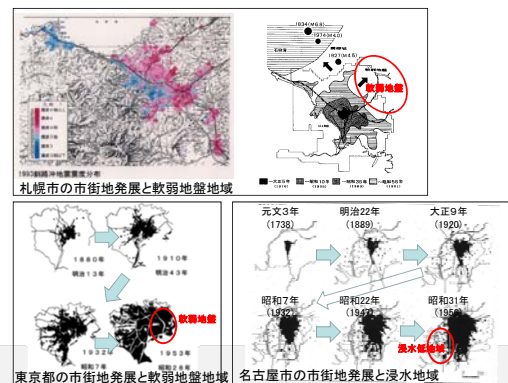
- 都市マスタープラン(都市全体の発展方向と骨格的施設)作成
 - 手順1. 問題地区の選出 ← Hazard Map
 - 強度改善地区／改善地区／根幹施設整備地区／保全地区
 - 手順2. 情報の公開 ← Hazard Map
 - 住民参加型まちづくり
 - 手順3. 整備費用の見積もり ← Hazard Map
 - 整備の程度・順番の決定→整備シナリオ
(Hazard Mapの積極利用に期待)

現状のリスク評価に欠落している視点2

3. 時間軸とまちの発展と衰退

岡田成幸・太田 裕:都市圏居住域の時間拡大性を考慮した地震危険性の長期評価ー札幌圏を例としてー, 日本建築学会構造系論文報告集, 389, 10-20, 1988.

都市のスプロール現象



Risk評価の方法

$$Risk = Hazard \times Vulnerability \times Population$$

$$Risk(t) = Hazard(t) \times Vulnerability(t) \times Population(t)$$

Hazardの時間変化: 発生確率

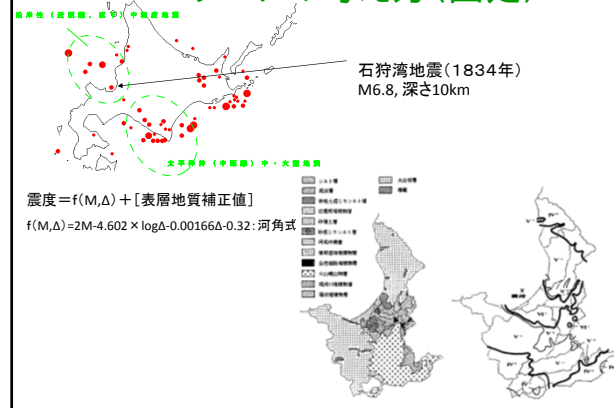
Vulnerabilityの時間変化: 耐震技術の進歩・経年劣化

Populationの時間変化: 都市開発行為・都市計画・都市の成長と衰退

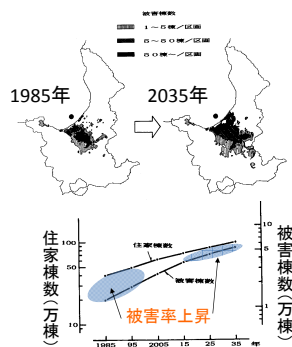
本研究

$$Risk(t) = Hazard \times Vulnerability \times Population(t)$$

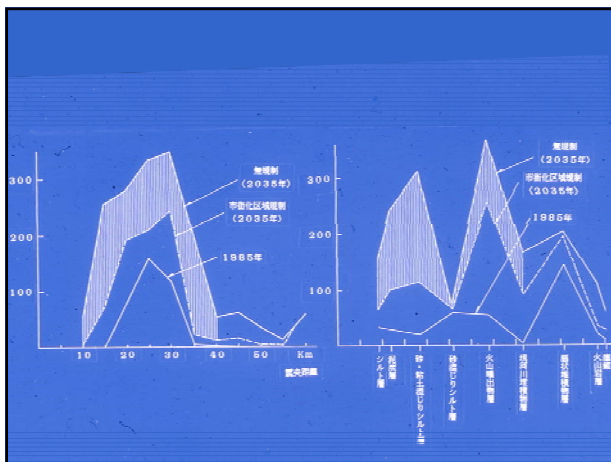
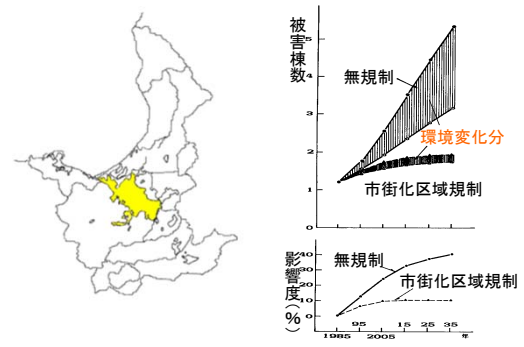
ハザードの考え方(固定)



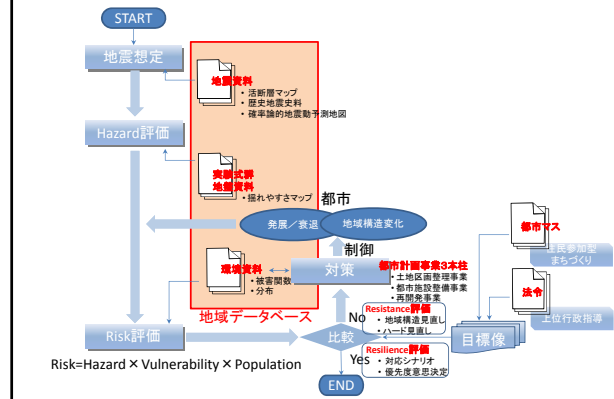
札幌市の将来的危険度診断



市街化調整区域指定による対策



都市防災の基本的プロセス



現状のリスク評価に欠落している視点3
行政の対策意思決定の問題点：シナリオの1本化

- ・ 内閣府の対策指針：死者数を半減させるための耐震化対策（数）
- ・ 当研究室の提案1：死者の発生の地域格差を是正（分布）
- ・ 当研究室の提案2：分布パターンにより優先対策が異なる（分布）

4. 直下型地震の危険度評価

岡田成幸・戸松誠：都市直下地震を想定した入力地震動の考え方と地域防災計画への指針 ～震源パラメータの不確実性がもたらす地震動入力及び被害評価への影響～，日本建築学会構造系論文集，530，37-44，2000。

ハザードマップの不確実性

自治体はハザードがユニークなもの
だと思ひこんでいる

- 文科省:地震調査研究推進本部(2005年に発表)
- 内閣府:中央防災会議(2006年に発表)

→ 詳細な震度分布が公表。
同じ地震を想定しているのに、ハザードが大きく異なっている。

中央防災会議		愛知県(2002)	
上端崖2-4m (m)	40	地震発生時分布	5.00
下端崖2-4m (m)	15.0	震害発生時分布	11.00
崖高が 1	134	100	2000
崖高が 2	40	40	40
崖高が 3	5	5	5
崖高が 4	2	2	2
崖高が 5	1	1	1
崖高が 6	1	1	1
崖高が 7	1	1	1
崖高が 8	1	1	1
崖高が 9	1	1	1
崖高が 10	1	1	1
崖高が 11	1	1	1
崖高が 12	1	1	1
崖高が 13	1	1	1
崖高が 14	1	1	1
崖高が 15	1	1	1
崖高が 16	1	1	1
崖高が 17	1	1	1
崖高が 18	1	1	1
崖高が 19	1	1	1
崖高が 20	1	1	1
崖高が 21	1	1	1
崖高が 22	1	1	1
崖高が 23	1	1	1
崖高が 24	1	1	1
崖高が 25	1	1	1
崖高が 26	1	1	1
崖高が 27	1	1	1
崖高が 28	1	1	1
崖高が 29	1	1	1
崖高が 30	1	1	1
崖高が 31	1	1	1
崖高が 32	1	1	1
崖高が 33	1	1	1
崖高が 34	1	1	1
崖高が 35	1	1	1
崖高が 36	1	1	1
崖高が 37	1	1	1
崖高が 38	1	1	1
崖高が 39	1	1	1
崖高が 40	1	1	1
崖高が 41	1	1	1
崖高が 42	1	1	1
崖高が 43	1	1	1
崖高が 44	1	1	1
崖高が 45	1	1	1
崖高が 46	1	1	1
崖高が 47	1	1	1
崖高が 48	1	1	1
崖高が 49	1	1	1
崖高が 50	1	1	1
崖高が 51	1	1	1
崖高が 52	1	1	1
崖高が 53	1	1	1
崖高が 54	1	1	1
崖高が 55	1	1	1
崖高が 56	1	1	1
崖高が 57	1	1	1
崖高が 58	1	1	1
崖高が 59	1	1	1
崖高が 60	1	1	1
崖高が 61	1	1	1
崖高が 62	1	1	1
崖高が 63	1	1	1
崖高が 64	1	1	1
崖高が 65	1	1	1
崖高が 66	1	1	1
崖高が 67	1	1	1
崖高が 68	1	1	1
崖高が 69	1	1	1
崖高が 70	1	1	1
崖高が 71	1	1	1
崖高が 72	1	1	1
崖高が 73	1	1	1
崖高が 74	1	1	1
崖高が 75	1	1	1
崖高が 76	1	1	1
崖高が 77	1	1	1
崖高が 78	1	1	1
崖高が 79	1	1	1
崖高が 80	1	1	1
崖高が 81	1	1	1
崖高が 82	1	1	1
崖高が 83	1	1	1
崖高が 84	1	1	1
崖高が 85	1	1	1
崖高が 86	1	1	1
崖高が 87	1	1	1
崖高が 88	1	1	1
崖高が 89	1	1	1
崖高が 90	1	1	1
崖高が 91	1	1	1
崖高が 92	1	1	1
崖高が 93	1	1	1
崖高が 94	1	1	1
崖高が 95	1	1	1
崖高が 96	1	1	1
崖高が 97	1	1	1
崖高が 98	1	1	1

図 7.1.1 本調査会の断層モデル

図 7.1.2 愛知県の新雇モデル

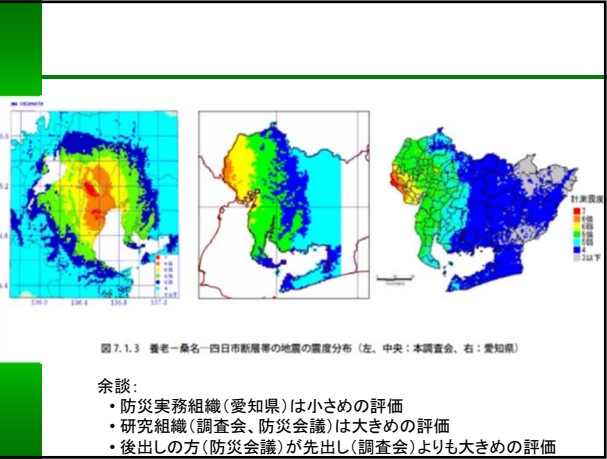


図 7.1.3 養老一桑名一四日市断層帯の地震の震度分布（左、中央：本調査会、右：愛知県）

余談：

- ・防災実務組織(愛知県)は小さめの評価
- ・研究組織(調査会、防災会議)は大きめの評価
- ・後出しの方(防災会議)が先出し(調査会)よりも大きめの評価

中央防災会議(2006) 地震調査研究推進本部(2005)

- ・地震・災害の事後解釈は防災ではない
- ・地震を事前予測し、その情報を配信するのが理学的防災である

－ 地震予知の3要素

- ・規模(マグニチュード): 想定可能と言われていたが、連動型が発生し・・・?
- ・場所: 想定可能と言われていたが、内陸地震については・・・?
- ・時間: 不確定性が大きく、確率で表記。しかし、確率の解釈が難しい・・・?

➡ 地震学情報のみでは確実な想定は難しい！

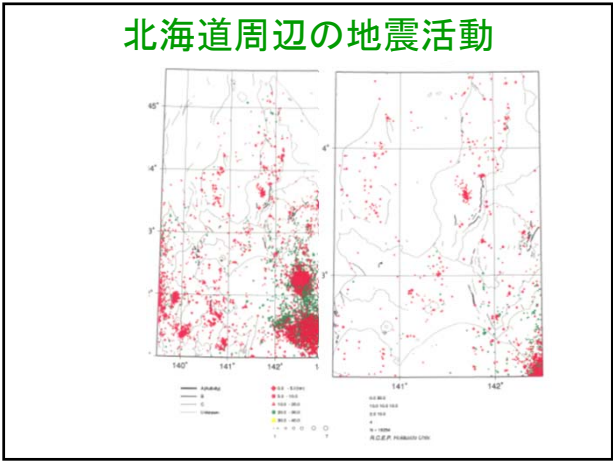
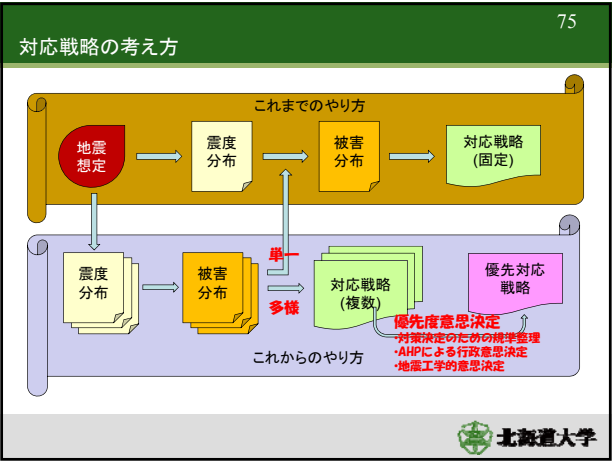
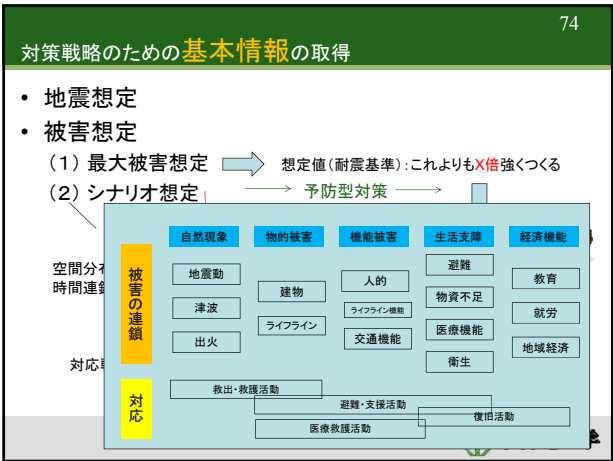
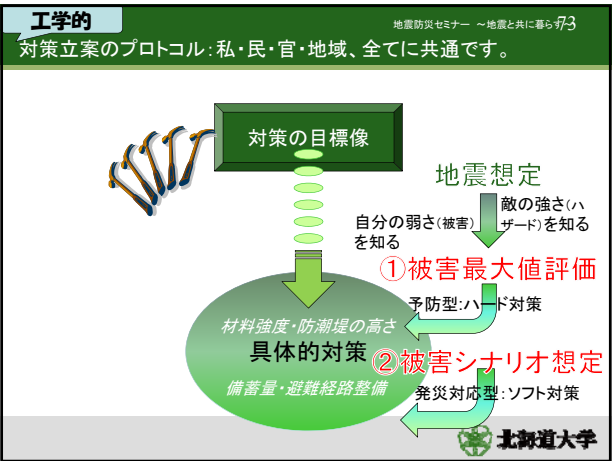
防災工学的な考え方を導入せよ！

➡ 様々な入出力(地震動～災害パターン)を考慮し、多重防御で対応せよ！



被害想定とは・・・モデルを使ったシミュレーションであり、
地域(都市)の地震健康性に関する人間ドック(モニタリ
ング)に相当する。防災対策の第一歩である。





札幌市を襲う地震

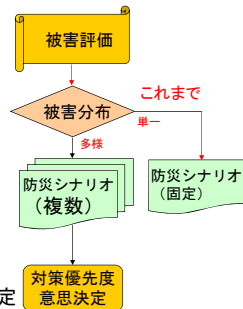
- 遠距離海洋性地震
M7. 5級(大地震) 距離: 200km
- 都市直下地震
M6. 5級(中地震) 距離: 直下

札幌市の被害想定結果

	全壊 家屋数 (棟)	半壊 家屋数 (棟)	死者数 (人)	重傷者 数 (人)	軽傷者 数 (人)	罹災者 数 (人)
海溝型	60	110	0	0	0	430
直下型	6,900	42,100	240	1,165	11,825	127,100

札幌市の防災対策優先意思決定

- 断層パラメータ不確定
- 36タイプでシミュレーション
- 被害分布パターンの見極め



- 対策決定のための規準整理
- AHP法による行政意思決定
- 地震工学的観点からの意思決定

札幌市の想定直下地震



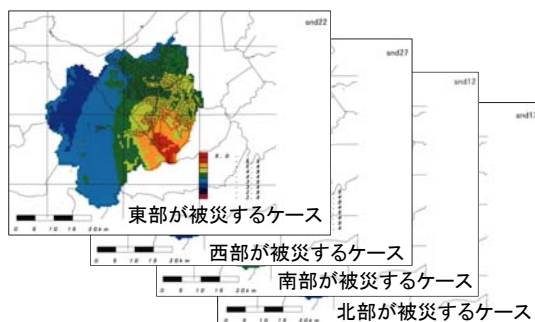
震度分布への影響を検討するための震源パラメーター一覧

パラメータ	単位	想定直下地震		遠距離地震	
		標準設定	揺らぎ幅	標準設定	揺らぎ幅
断層長さ	km	20		120	
断層幅	km	10		25	
変位量	m	1		4	
断層面分割数		12×12		15×5	
破壊開始点		断層南端	北端-南端	断層南端	北端-南端
立上がり時間	秒	1.1	±75%	4.5	±75%
傾斜角	°	45	45, 90, 135	55	
深さ	km	1	1~26	4.3	1~26
S波速度	km/秒	3.5		3.4	
破壊速度	km/秒	2.3	±30%	2.9	±30%
断層位置		図2①	図2①②③④⑤⑥	N42.53° E139.45°	

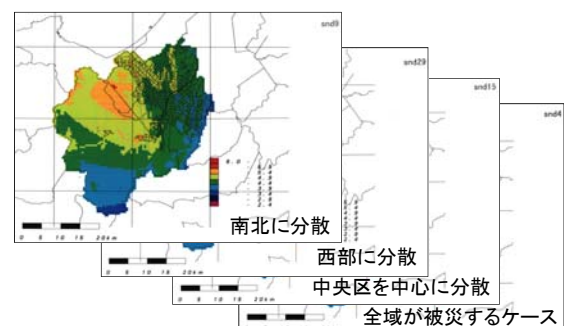
震源パラメータの地震動への影響と決定法

記録からの推定 (マグニチュード)	分布に影響 (シミュレーション)	max-min 判断原理 (防災計画安全側)
断層長さ 幅 すべり量	傾斜角 破壊開始点 断層位置	破壊伝播速度 震源深さ

直下地震による震度分布(1)



直下地震による震度分布(2)



地震被害評価例と対策パターン分類

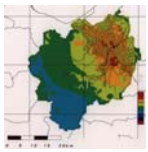
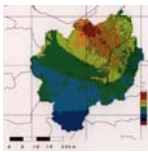


Table with 4 columns: 地域, 揺れ制御要因, 地盤条件, 断層位置. It details seismic hazard levels and control factors for different regions like 北東部, 北西部, etc.

行政区別の評価被害量のばらつき

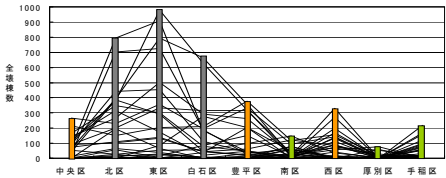
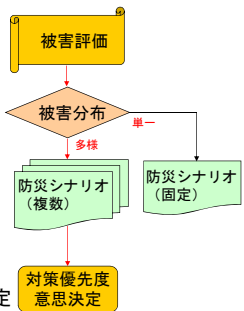


Table with 4 columns: 被害量, 行政区, 要因, 対策. It summarizes damage levels, administrative districts, causes, and countermeasures for various areas.

札幌市の防災対策優先意思決定

- 断層パラメータ不確定
- 36タイプでシミュレーション
- 被害分布パターンの見極め
- 対策決定のための規準整理
- AHP法による行政意思決定
- 地震工学的観点からの意思決定



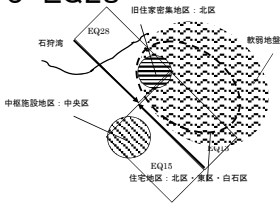
対策パターン分類

Table with 2 columns: 工学A, 工学B, 工学C. It categorizes disaster response patterns based on engineering perspectives like 物理的最大被害, 間接被害, etc.

Table with 2 columns: 防災A, 防災B, 防災C, 防災D. It details disaster response strategies and their corresponding cases, such as 対応パターンが大きく異なるケース, etc.

対策意思決定

- 行政による決定 ~AHP法による~ EQ13 EQ15
- 地震工学からの決定 EQ13 EQ15 EQ28



現状のリスク評価に欠落している視点4

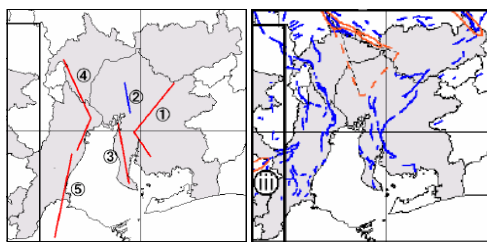
5. 地震動分布の戦略的選択法

中嶋唯貴・岡田成幸: 死者低減を目的とした行政レベルの震災対策意思決定のための多種想定地震の戦略的選択法 一 名古屋地域における事例研究一, 日本建築学会構造系論文集, 639, 775-783, 2009.

愛知県に影響する地震

内閣府(中央防災会議)の想定地震より

活断層のトレースとモデル化



①猿投—高浜断層帯

②名古屋市直下M6.9

③加木屋断層帯

④養老—桑名—四日市断層帯

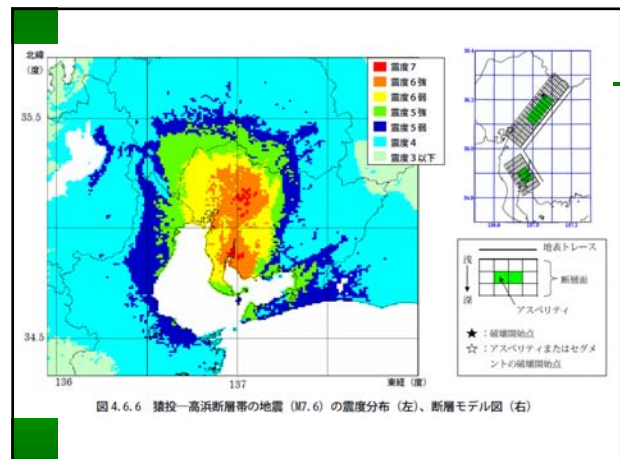


図 4.6.6 猿投—高浜断層帯の地震 (M7.6) の震度分布 (左)、断層モデル図 (右)

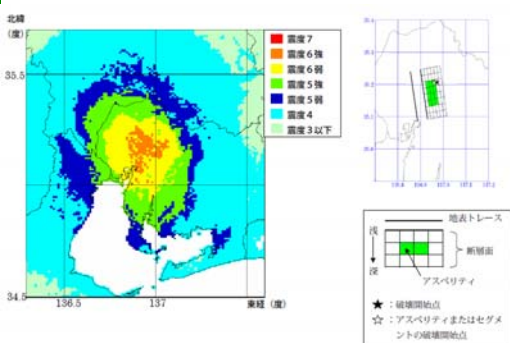


図 4.6.7 名古屋市直下 M6.9 の地震の震度分布 (左)、断層モデル図 (右)
(場所も大きさも未定: 伏在断層に対応させた)

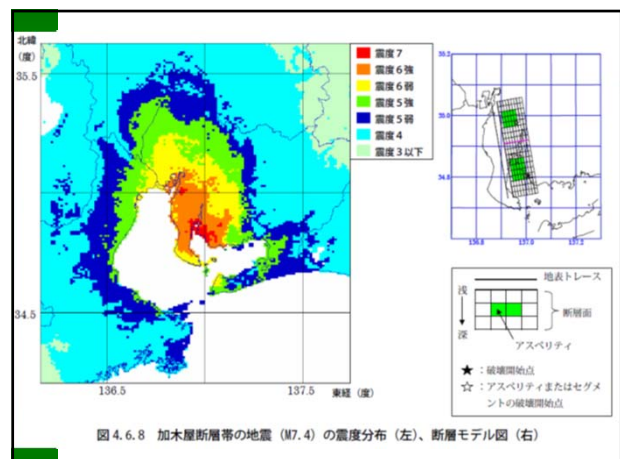
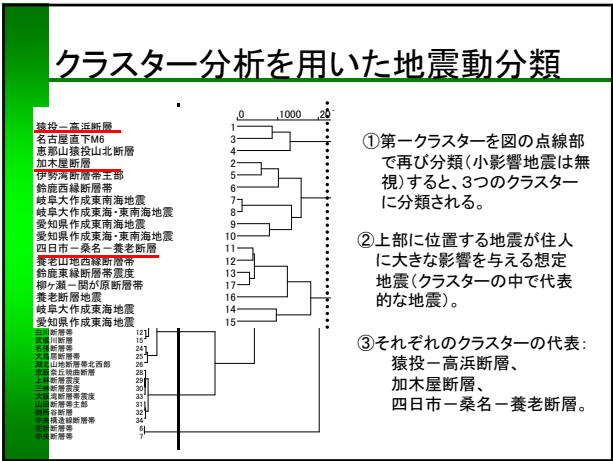
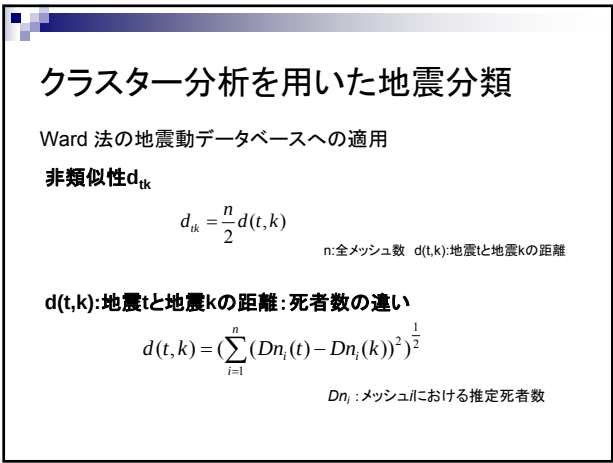
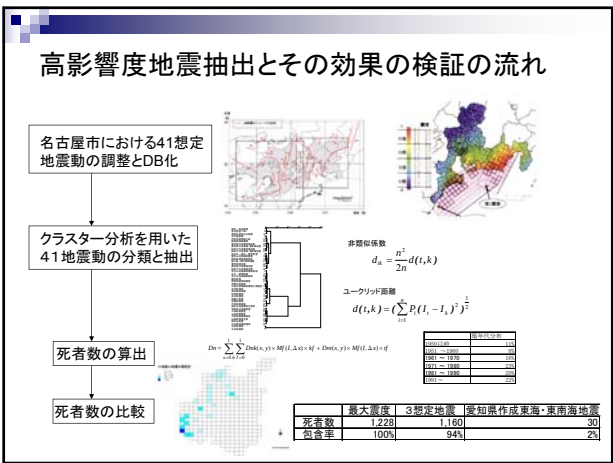
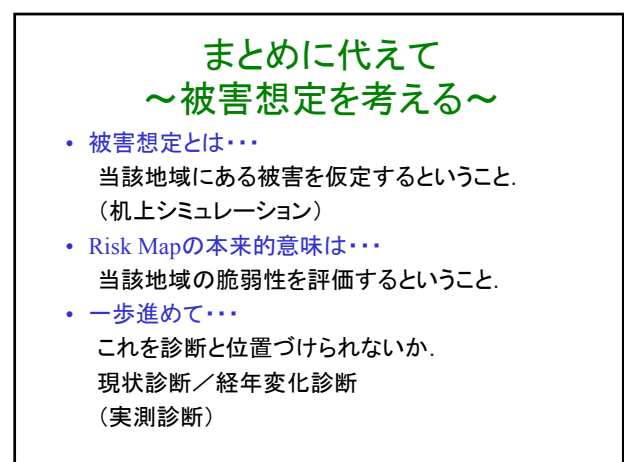
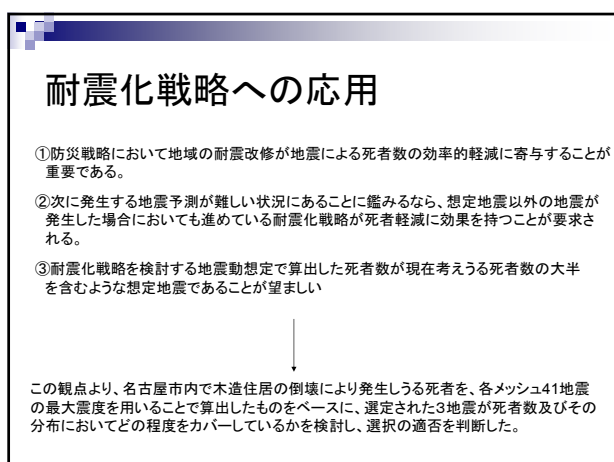
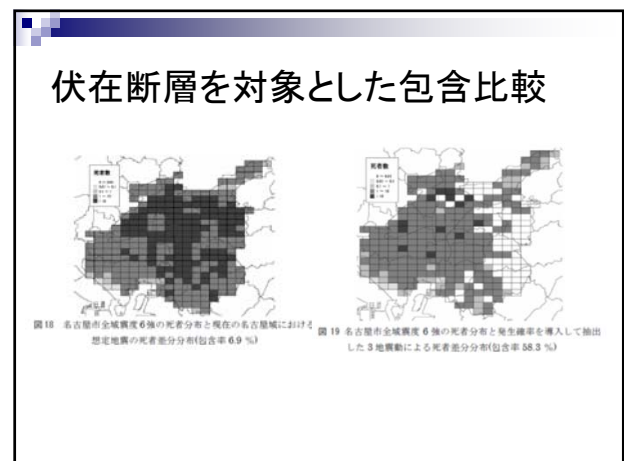
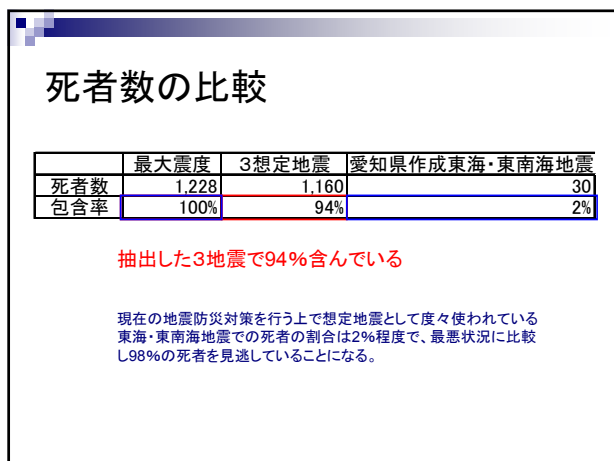
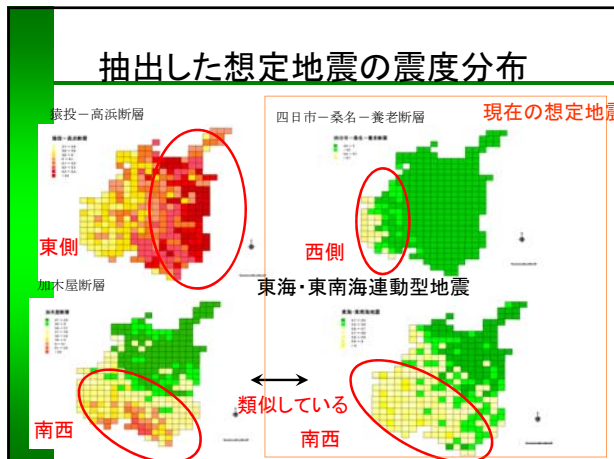


図 4.6.8 加木屋断層帯の地震 (M7.4) の震度分布 (左)、断層モデル図 (右)





参考文献

岡田成幸: 大都市圏の3次元地下構造モデルの防災への利用, 第1回日本地震工学研究発表討論会, 2001.
岡田成幸・太田 裕: 都市圏居住域の時間拡大性を考慮した地震危険性の長期評価ー札幌圏を例としてー, 日本建築学会構造系論文報告集, 389, 10-20, 1988.
岡田成幸・戸松誠: 都市直下地震を想定した入力地震動の考え方と地域防災計画への指針 ~震源パラメータの不確実性がもたらす地震動入力及び被害評価への影響~, 日本建築学会構造系論文集, 530, 37-44, 2000.
岡田成幸・村田さやか・高井伸雄: 地域性を考慮した地震災害対策指針と担当行政の対策意識診断, 地域安全学会論文集, 3, 241-248, 2001.
中嶋唯貴・岡田成幸: 死者低減を目的とした行政レベルの震災対策意思決定のための多種想定地震の戦略的選択法ー名古屋域における事例研究ー, 日本建築学会構造系論文集, 639, 775-783, 2009.

建築領域に見る様々な解析手法

Table with 6 columns: Main Division, Object, Object Example, Data Acquisition Method, Basic Equation/Model, and Analysis Method. It details various analysis techniques used in the construction field, such as vibration analysis, structural analysis, and human behavior analysis.

多変量解析と数量化理論

Table with 3 columns: Multivariate Analysis Method (量的データ), Quantification Theory (質的データ), and Explanation. It lists methods like Multiple Regression Analysis, Discriminant Analysis, Principal Component Analysis, and Cluster Analysis, along with their corresponding quantification theory types and explanations.