

地震調査研究推進本部の調査研究成果の 活用事例、および、今後10年間に期待すること (建築分野より)

地震調査研究推進本部 政策委員会
第3期総合的かつ基本的な施策に関する専門委員会
文部科学省 15F特別会議室
2018年10月24日

○久田嘉章(工学院大学建築学部)

日本建築学会構造委員会幹事

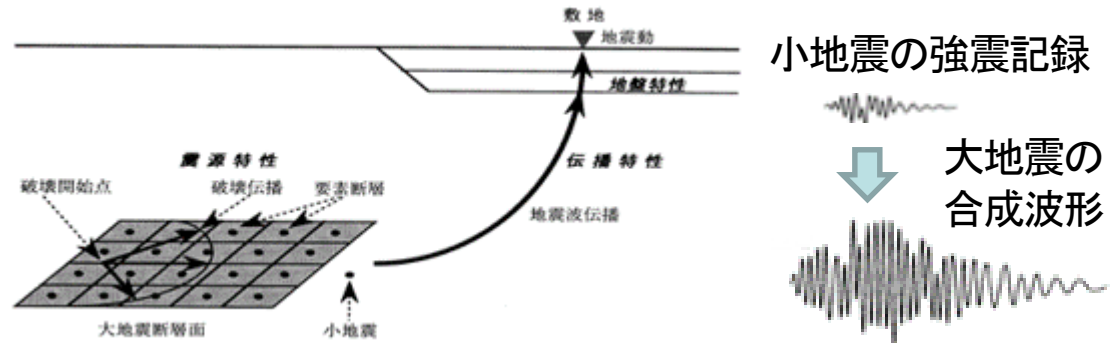
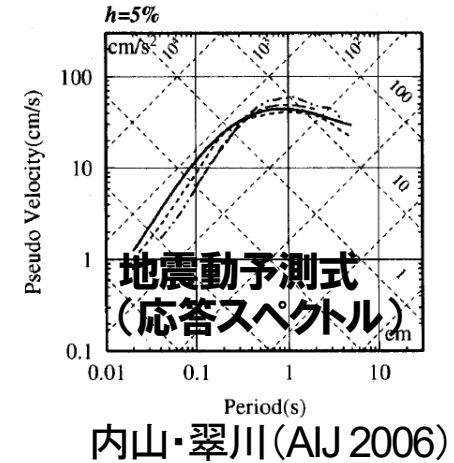
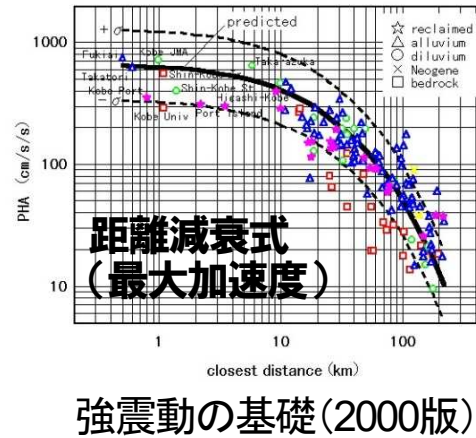
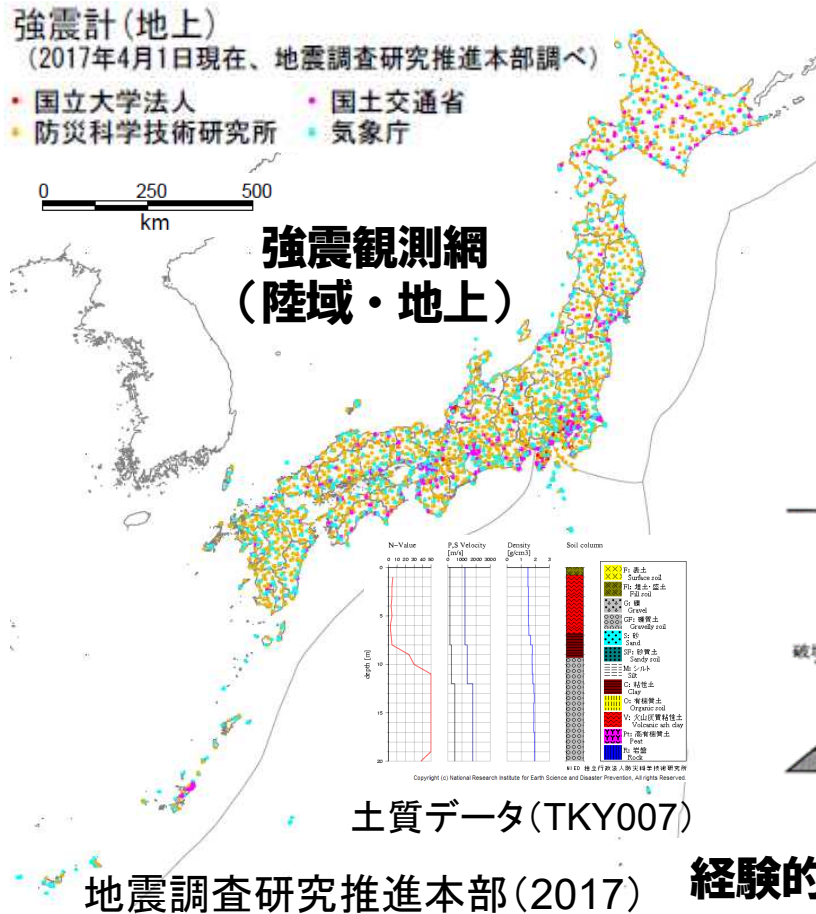
地震調査研究推進本部・調査観測部会委員

調査研究成果の建築分野での活用事例

- **地震観測網データ(強震観測網:K-NET、KiK-Netなど)**
 - ⇒設計用地震動(サイト波)、建物被害調査、耐震性能評価など
 - 強震動予測式(最大加速度・速度、地震応答スペクトルなど)
- **地震に関する評価(長期評価・強震動評価・地震動予測地図など)**
 - ・地震動予測地図(ハザード情報)⇒建物のリスク評価
 - ・震源モデル、地盤情報、強震動予測レシビ
 - ⇒設計用地震動(サイト波)、建物・地域・まちの被害推定など
- **即時予測(気象庁等の他機関との連携)**
 - ・緊急地震速報、津波警報、長周期地震動情報、被害推定情報
 - ⇒建物・施設・地域の初動対応、社会実装実験(SIP防災)など

活用事例：地震観測網データ

- ・ 強震観測記録(K-NET、KiK-netなど)+表層地盤データ
 - ・ 全国強震観測網・基盤強震観測網(20~30 km間隔の強震観測網)
 - ⇒ 強震動予測式(最大加速度・速度、応答スペクトルなど)、設計用模擬地震波
 - 設計用地震動(サイト波)への活用(経験的グリーン関数法など)



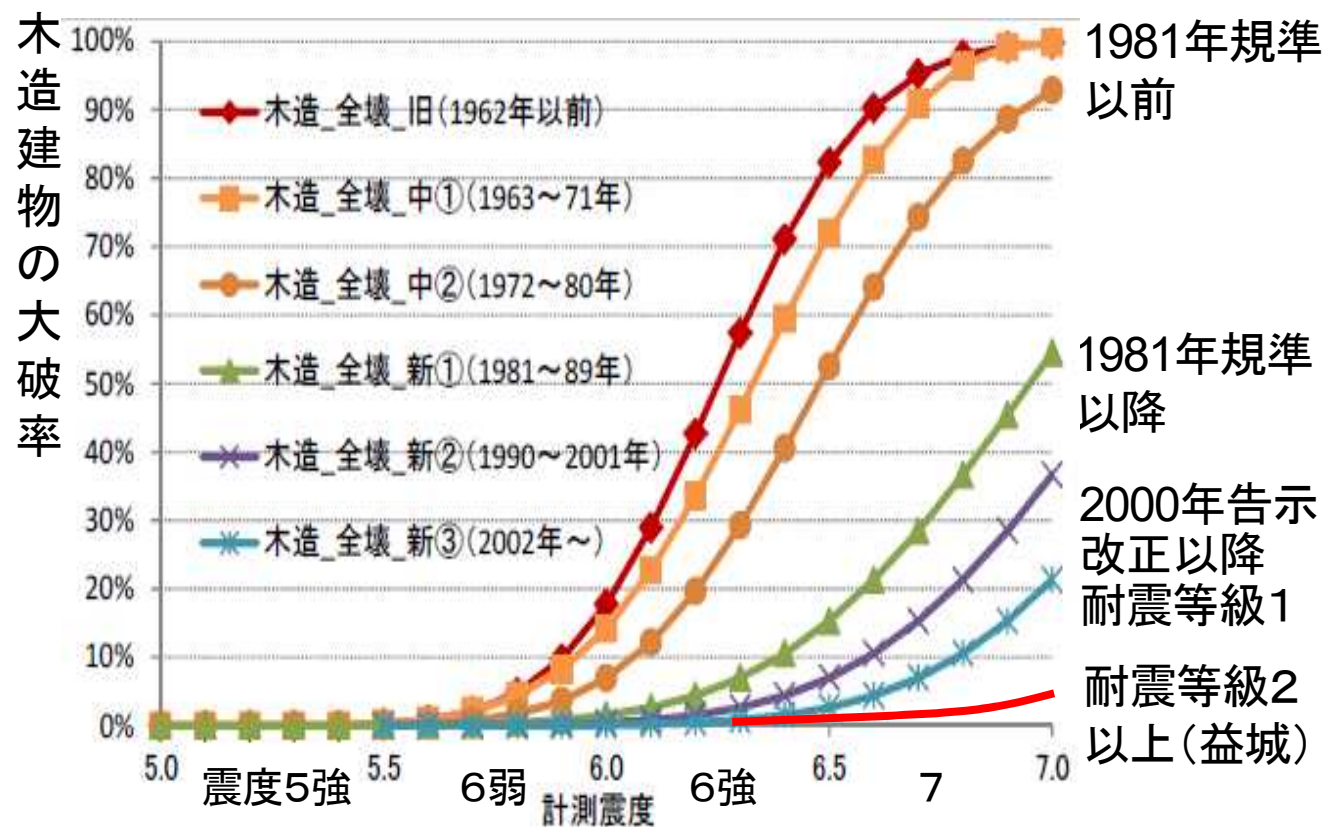
経験的グリーン関数法(小地震記録から大地震動記録を合成)

活用事例：地震観測網データ

- 強震観測記録(K-NET、KiK-Netなど)+表層地盤データ
⇒建物被害調査による建物の耐震性能確認
建物の被害予測(被害関数など)、地震被害想定など



KiK-net益城(震度6強)と周辺建物の被害調査(境、2016)



木造建物の被害関数(内閣府 2013)

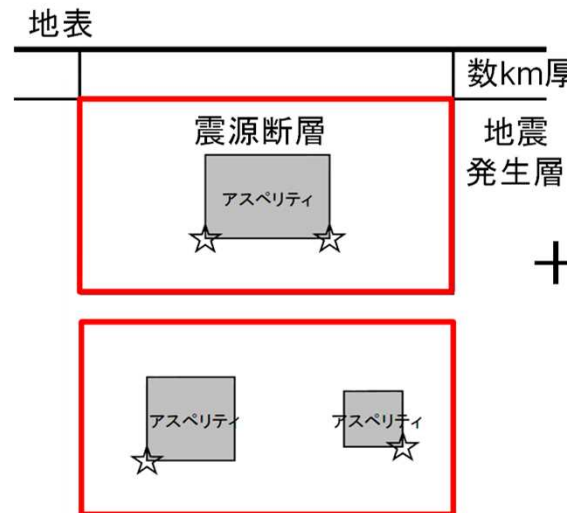
活用事例：地震に関する評価結果

- ・ 長期評価（地震本部HP、J-SHIS 地震ハザードステーションなど）
- ・ 地震動予測地図（確率論的・震源断層を特定した予測値図）
 - ・ 主要活断層帯・海溝型地震の震源モデル(断層パラメータ)
 - ・ 地下構造モデル(表層・深部地盤データ)
- ・ 強震動評価（震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」）
 - ⇒ 建物・地域リスク評価、超高層等の設計用地震動(サイト波)など

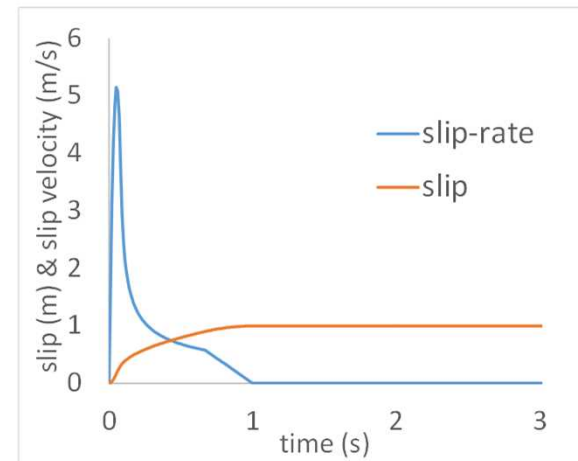


震源断層パラメータ
 M、30年発生確率、位置、断層サイズ、すべり量など

地下構造モデル
 深部地盤、浅部地盤



強震動予測レシピによるアスペリティ
 (アスペリティ設定に各種経験則)



中村・宮武のすべり関数

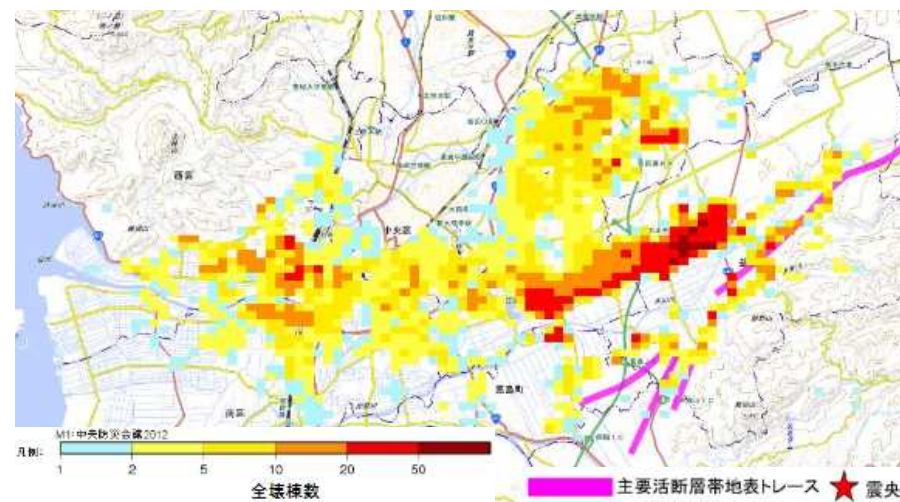
強震動予測レシピ（標準的な強震動予測手法）

活用事例：即時予測(気象庁等と連携)

- ・ 緊急地震速報(警報・予報)、長周期地震動情報(予報は予定)
- ・ 津波警報・注意報、津波情報、津波予報
- ・ SIP防災(レジリエントな防災・減災機能の強化、内閣府・JST)
課題①(津波遡上予測)、課題④(情報共有、SIP4Dなど)、
課題⑤(リアルタイム被害推定)、課題⑦(地域連携)
⇒ 観測情報・被害推定情報、建物・施設・地域の初動対応支援



2011年東日本大震災時の緊急地震速報
(工学院大25階、P・S(震度)、表面波の予想)
「高度利用者向け」緊急地震速報(予報)
「一般向け」緊急地震速報(警報)



熊本地震(本震)による推定全壊棟数分布
(観測情報+地盤増幅率+建物データ)
J-RISQ+SIP4D(防災科学技術研究所)

地震調査推進本部の変遷・役割

・地震本部の変遷

- ・地震予知研究推進連絡会議(1974年、科学技術庁など)
- ・地震予知推進本部(1976年、科学技術庁、東海地震予知など)
- ・1995年阪神・淡路大震災を契機として、地震防災対策特別措置法を制定、地震調査研究推進本部(1995年、総理府)
- ・地震調査研究推進本部(2001年、央省庁再編で文科省)
- ・2011年東日本大震災を契機に、防災・減災対策強化(「新総合基本施策」の見直し:海溝型地震・津波・活断層・工学等の連携など)

・地震本部の役割

地震に関する調査研究の成果が国民や防災を担当する機関に十分に伝達され活用される体制になっていなかったという課題意識の下に、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進する特別機関

⇒ **地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進**

⇒ **地震予知から地震防災・減災のための調査研究の推進へ**

地震本部に今後10年間に期待すること (工学・建築分野との連携)

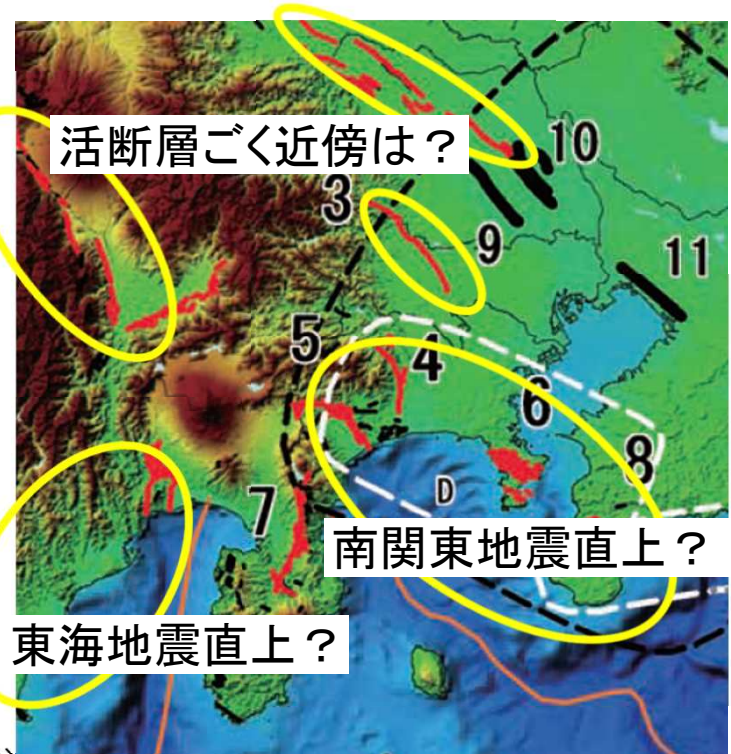
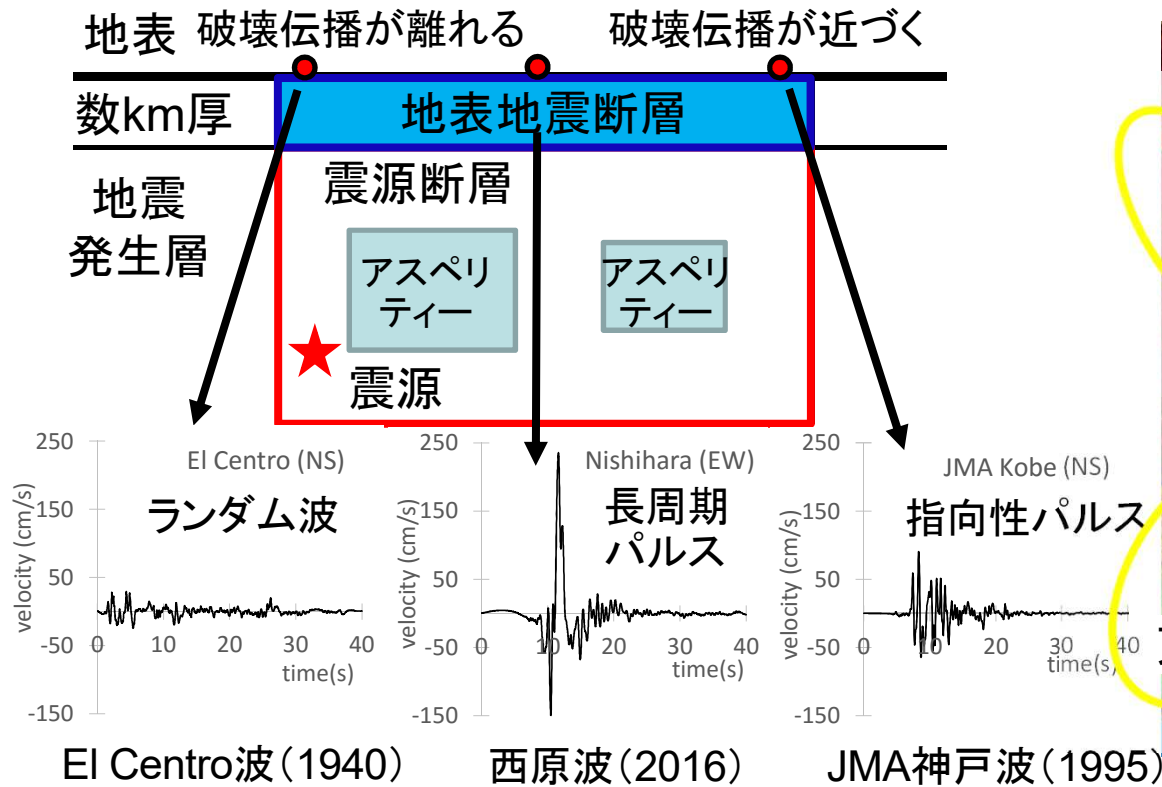
- **震源の調査研究は基本だが、より防災・減災対策の強化を**
⇒高いポテンシャルを生かし、地中からもっと地表へ
- **地震観測網データの拡充**
 1. 震源近傍強震動の解明: 高い震度、長周期パルスの成因など
 2. 暴露人口の高い地域(大都市圏など)の複雑な地震動特性
 3. 建物の強震観測との連携(例: 避難所となる小中学校など)
- **地震に関する評価(長期評価・予測値図・強震動評価)**
 1. 地震の長期評価: 「固有地震モデル」から「発生しうる地震の多様性を考慮した評価」とは? 地震規模と発生確率の評価
 2. 強震動評価: 地域別に標準的設計用地震動の策定
 3. 地下構造モデル(表層・深部地盤)の高精度化・メンテナンス
- **即時予測・観測情報とデータ流通・公開・利活用**
 1. 地震動の即時予測・観測: 建物の揺れ・被害予測と初動対応
 2. 民間事業者との連携(付加価値の創出)
 3. 各種即時情報(地震・津波・豪雨など)からオールハザード対応へ

地震観測網：大地震の震源近傍の強震動特性の解明

- 様々な震源近傍の強震動特性(重点的観測)

- ・標準的地震動(短周期地震動が卓越するランダム波: El Centro波など)
- ・指向性パルス(キラーパルス: 1995年兵庫県南部地震の神戸波など)
- ・フリングパルス(長周期パルス: 2016年熊本地震の西原波など)

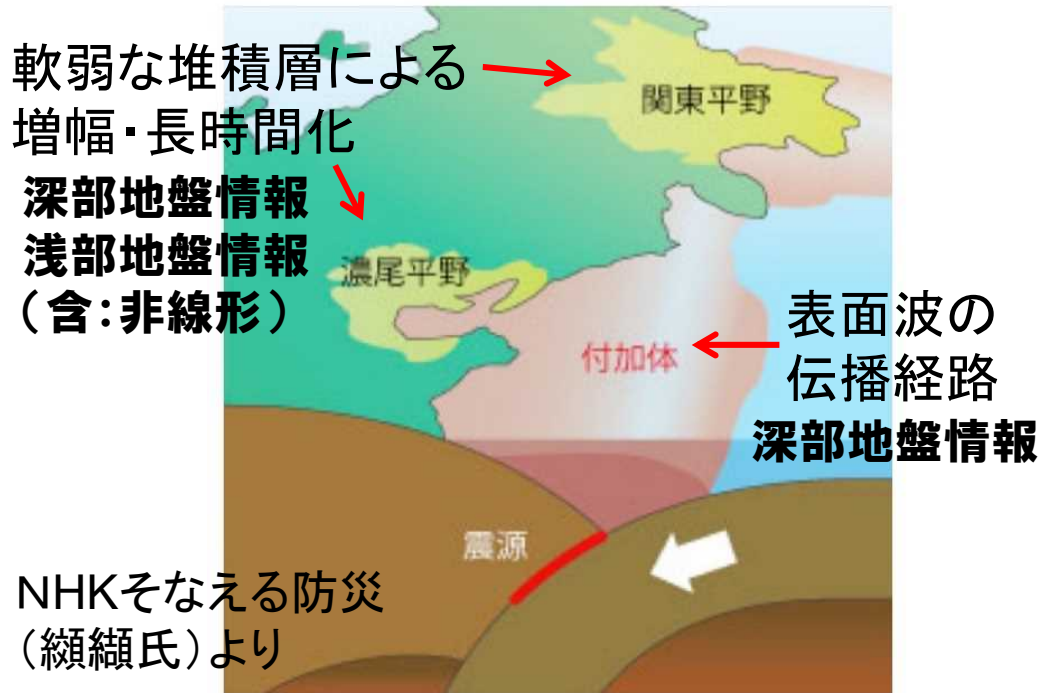
⇒大地震(M7以上の地震)ごく近傍の強震動は不明、観測強化が望まれる



大地震の断層近傍の強震動とは？
(長周期パルス？ ランダム性？)

活断層近傍の強震動 (M7級地震)

大都市圏等の強震観測網 (例:震源域・到来方向・表層地盤で異なる長周期・長時間地震動)

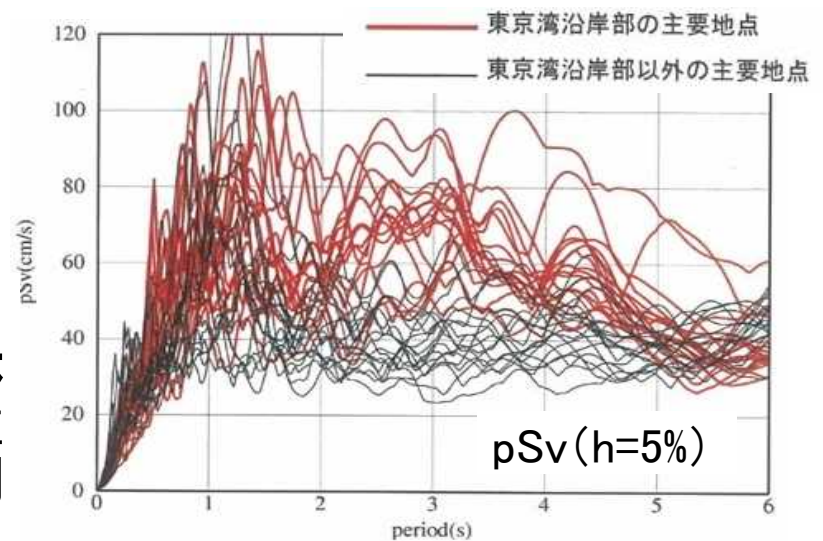
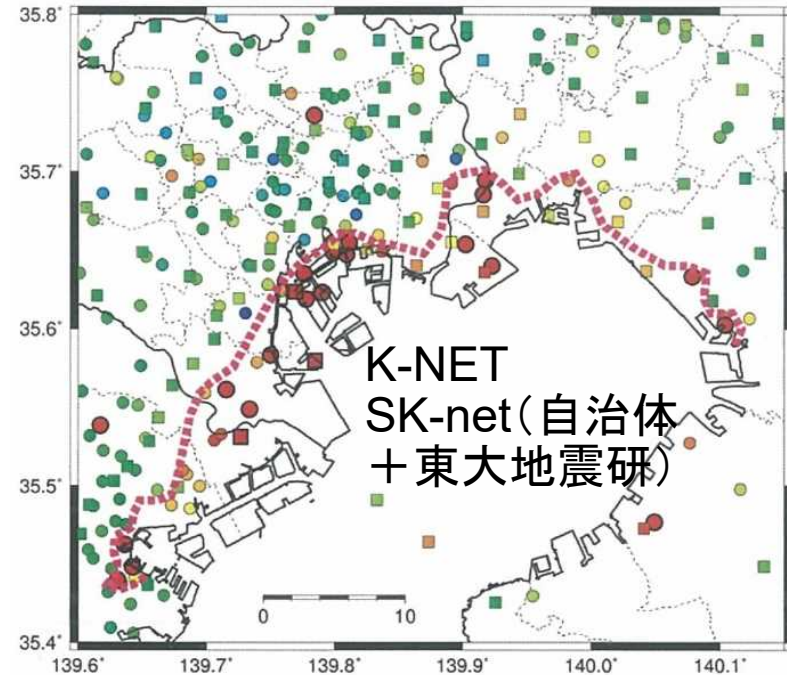


【図1】 長周期地震動発生之三条件

©清口真幸

・南海トラフ地震からの長周期地震動:
平野盆地の堆積層に加えて、トラフ沿いの付加体(堆積層)により増幅・長時間化。湾岸地域では堆積層(工学的基盤)に加え、厚い沖積層で増幅、到来方向で増幅特性・卓越周期も変化

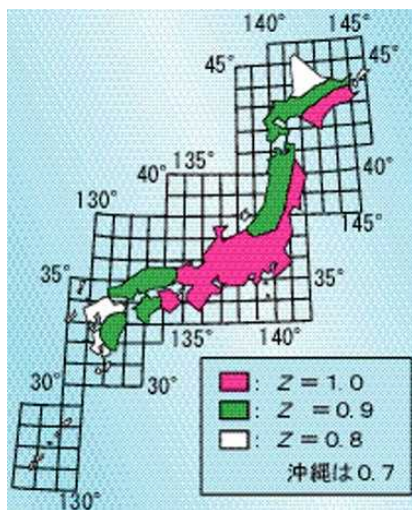
⇒ 都市域強震観測網のサポート+地盤データのメンテ



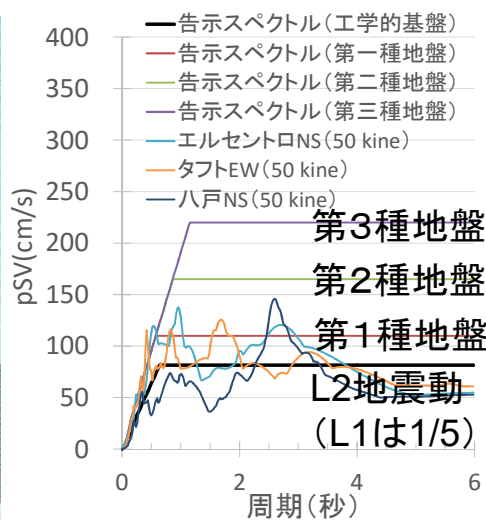
日本建築学会「永野他、長周期地震動対策に関する公開研究集会(2012)」

長期評価の活用：日本の耐震設計法の現状

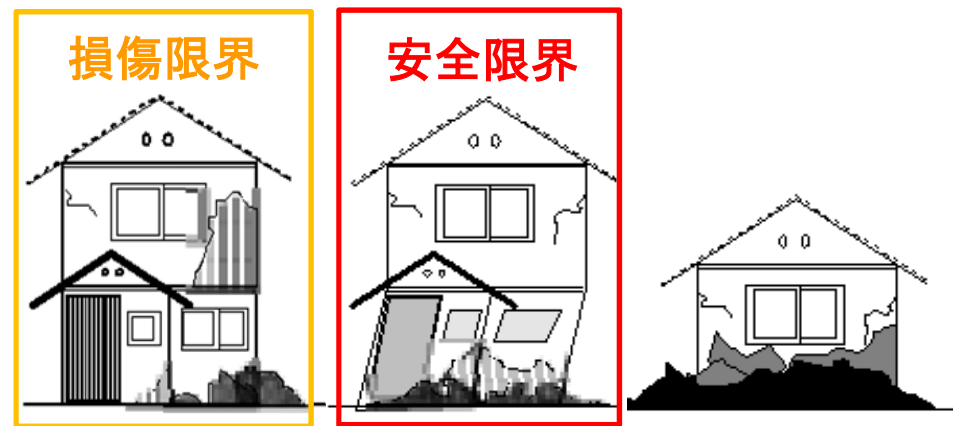
- ・日本(建築基準法)による耐震設計法 (最新の調査研究成果が殆ど反映されず)
- ・1950年施行、1981年改正で現行基準(以降、大改訂なし)
- ・全国一律の最低基準(公共の福祉・財産権保障、確定論的な仕様設計)
 - 中小地震(L1地震:数十年に1度程度の地震)で構造被害なし
 - 大地震(L2地震:数百年に1度程度の地震)で倒壊・崩壊しない
- ・超高層建築等は設計用地震動(サイト波等)を策定、動的解析を実施
(最大級地震・余裕度検証用地震(L3地震:数千年に1度程度)は自主的に実施)



地域係数(歴史地震データによる1951年の河角マップより)



告示スペクトル(2000年改正) ⇒全国一律



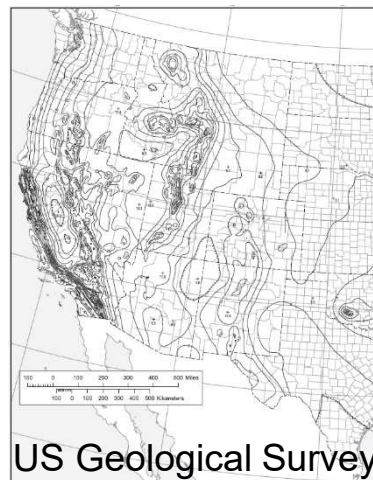
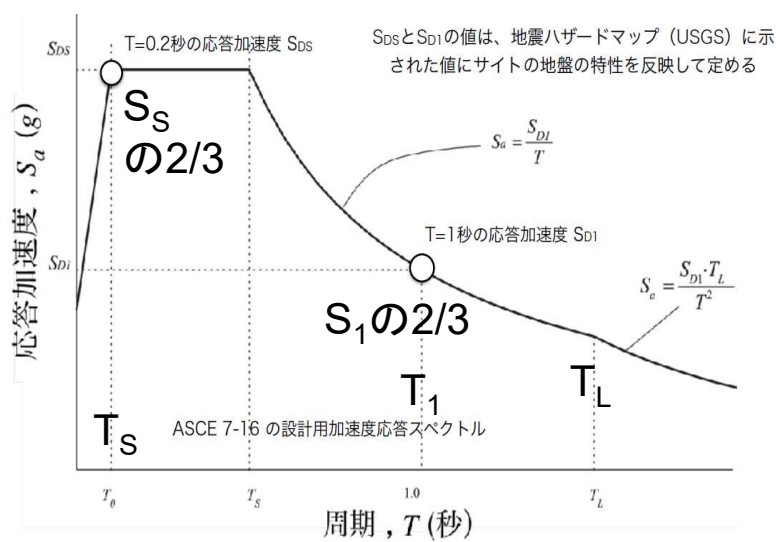
D3(半壊) D4(全壊) D5(倒壊)
 構造被害なし 構造被害あり 直接死あり

L1地震で構造被害なし(損傷限界)
 L2地震で倒壊しない(安全限界)

熊本地震:直接死は50名、関連死は約272名

長期評価の活用：米国の耐震設計法の現状

- **米国(IBC+ASCEなど)による耐震設計法**
 - 1970頃以前: UBC(耐震規程あり)、NBC、SBC(耐震規定なし)
 - FEMAの基金でNEHRP耐震基準案(1985~2003改訂)
 - IBC(International Building Code)に統一(2000年以降)⇒州ごとに制定
 - ASCE(米国土木学会)がメンテ(6年おき、最新版ASCE 7-16)
 - 耐震性能評価法(FEMA P-58)⇒居住者の安全性、直接被害額、復旧時間など
- ⇒ **最新の地震調査研究の成果・社会的要望を反映**(震源評価・地震動予測式、確定論から確率論へ、ハザードからリスクを基準へ、仕様設計から性能設計、レジリエンス性能設計へ)、民間活用(レジリエンス性能評価・認証制度など)



S_1 for MCE_R(1.0秒)

Risk-Targeted MCE (5000年に1度の地震での倒壊確率が1%以下の地震動)

Usefulness of Performance Metrics		
SAFETY	DAMAGE	RECOVERY
Blocking exit paths unlikely	Minimal Damage (<5%)	Immediate to Days
Serious injuries unlikely	Moderate Damage (<10%)	Within days to weeks
Loss of life unlikely	Significant Damage (<20%)	Within weeks to months
Isolated loss of life	Substantial Damage (<40%)	Within months to a year
Loss of life likely	Severe Damage (40%+)	More than a year

RESILIENCE DESIGN

CODE LEVEL DESIGN

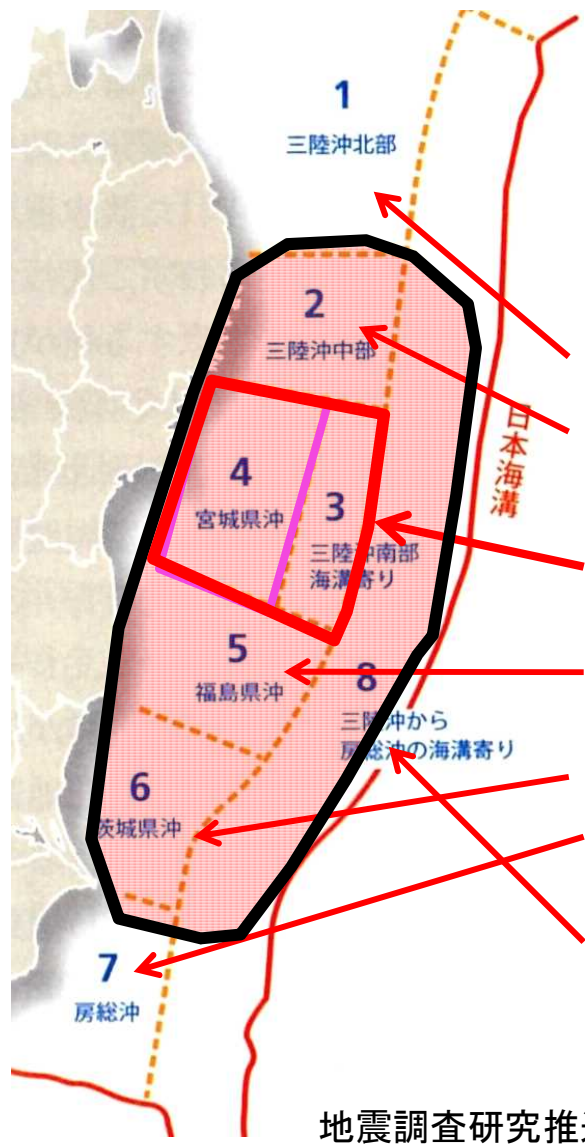


プラチナ, ゴールド, シルバー, 基準

U.S. Resilience CouncilによるBuilding Rating System

設計用加速度応答スペクトル
(MCE: Max. Considered EQの2/3を規準値)

長期評価:「固有地震」から「最大級を含む多様性ある地震」へ 2011年東北地方太平洋沖地震の教訓



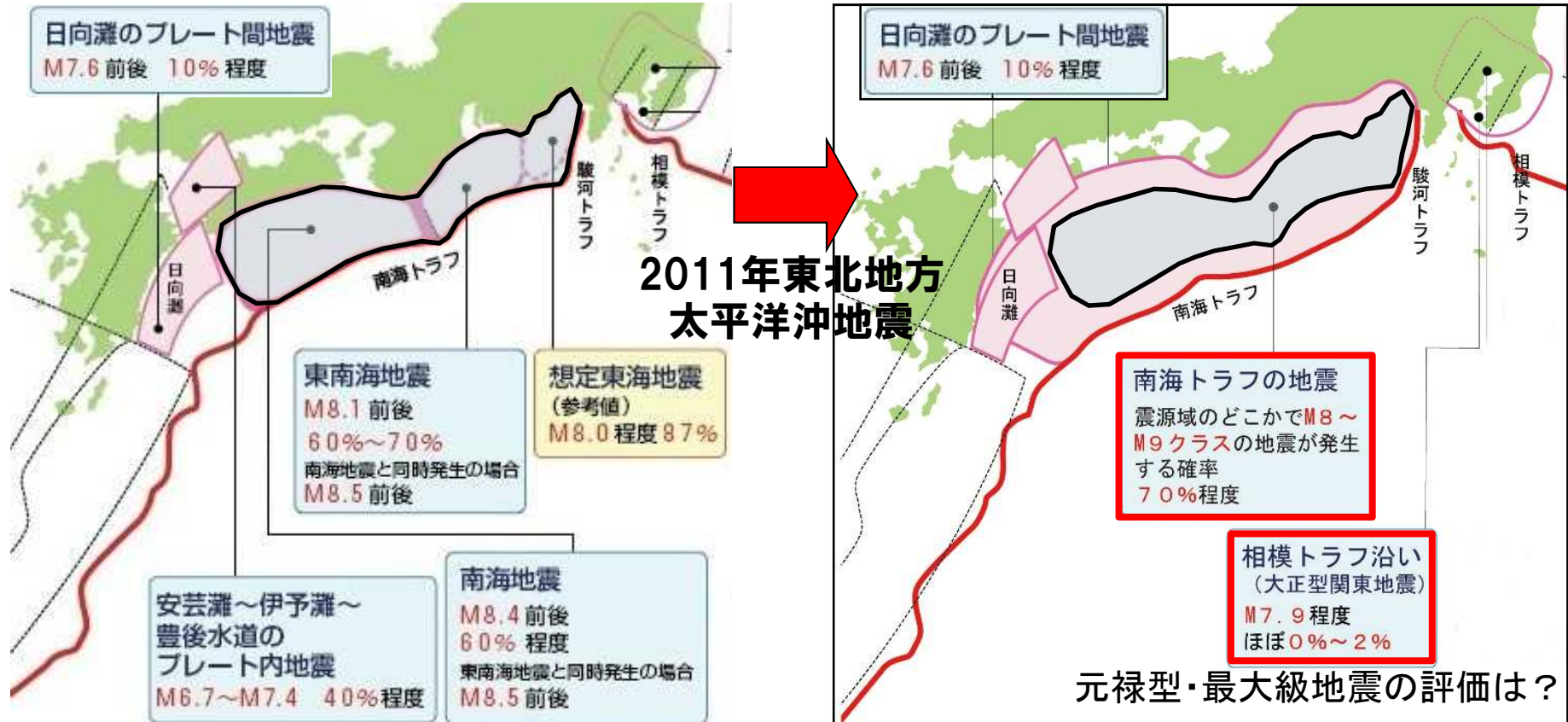
2011年東北地方太平洋沖地震前の長期評価 (固有地震モデル)

海域	予想されるマグニチュード	今後30年以内の発生確率
1 三陸沖北部	M8.0 前後	0.5%~10%
2 三陸沖中部	(過去に大地震がなく評価不能)	
3 三陸沖南部海溝寄り	M7.7 前後	連動時は 80%~90%
4 宮城県沖	M7.5 前後	M8.0 前後 99%
5 福島県沖	M7.4 前後 (複数地震が続発)	7%程度以下
6 茨城県沖	M6.7~M7.2	90%程度以上
7 房総沖	(過去に大地震がなく評価不能)	
8 三陸沖北部から 房総沖の海溝寄り	M8.2 前後 (津波地震)	20%程度
	M8.2 前後 (正断層型地震)	4%~7%

地震調査研究推進本部: 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について、2009.3

「固有地震」から防災上の最大級地震を含む「多様性ある地震」へ 南海トラフ巨大地震の長期評価の場合

地震調査研究推進本部：「南海トラフの地震の長期評価について(2001、2013)」



Before 東日本大震災

海溝型巨大地震の固有地震モデル

After 東日本大震災

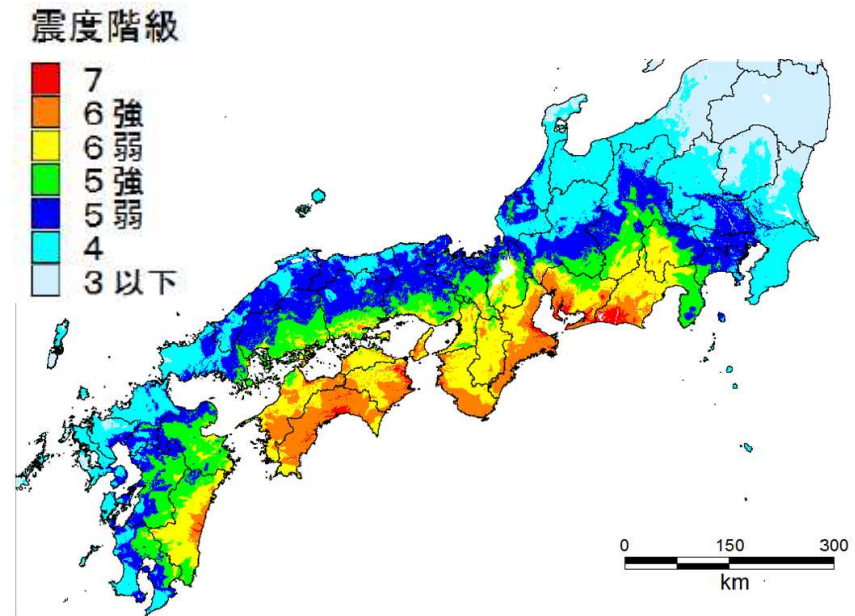
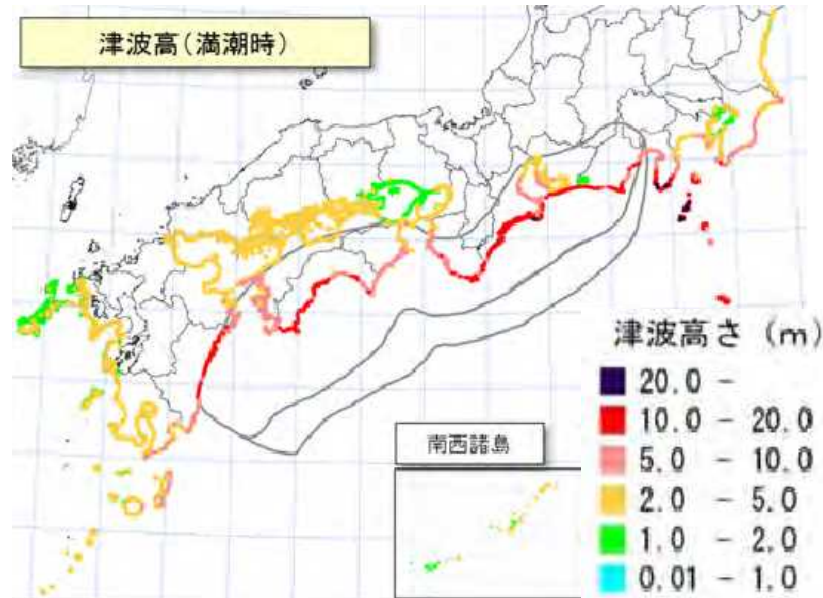
防災目的より最大級地震も考慮

活断層地震も同様 例:糸魚川-静岡構造線断層帯(北部)の評価はM7.7程度で30年発生確率が0.008-15%。現実には、2014年長野県神城断層地震(M6.7)

⇒多様性とは？ 大地震では低い発生確率、中小地震は高い発生確率では？

最大級南海トラフ地震の被害想定(M9、内閣府)

(発生確率は殆ど0では? 次の地震と誤解? 日本は世界一危険?)



【ケース⑥「駿河湾～紀伊半島沖」に「大すべり域+(超大すべり域、分岐断層)」を設定】

震度の最大値分布(M9.1)

最悪シナリオ(冬・深夜・風速8 m/s) 死者数・約32万人、負傷者・約62万人

死者内訳: 建物倒壊(8.2万人)、津波(23万人)、火災(約1万人)、など

要救護者(建物被害): 約31万人 (津波): 約3万人 被害総額(最大): 220兆円

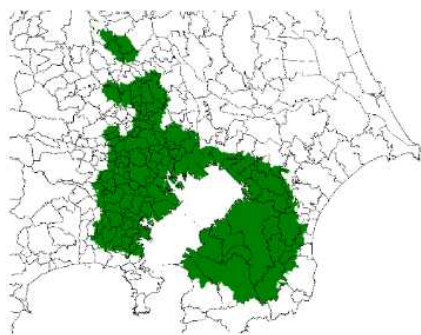
⇒ 「最悪に備える」も重要だが、「次の南海トラフ地震」ではない。可能性の非常に低い過大な被害想定は「逆の想定外」を生む(「国が助けてくれないと、何も出来ない」など、本来は、自助・共助で可能な対策も諦めてしまう、「地元の身の丈に合わない過大なインフラ投資」など)

⇒ 土木学会は被害額推計1410兆円、約60兆円の公共インフラ投資を提言!?

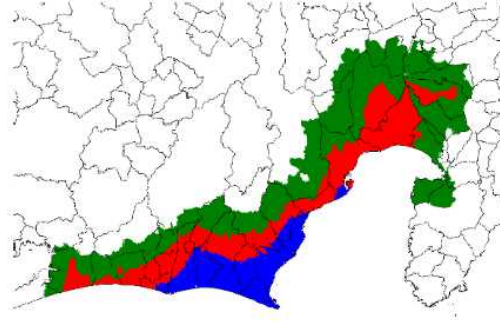
⇒ 首都直下地震(内閣府: 都心南部直下地震)も同様に「30年70%確率」ではない

国土交通省：超高層建築等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策(平成28年6月24日)

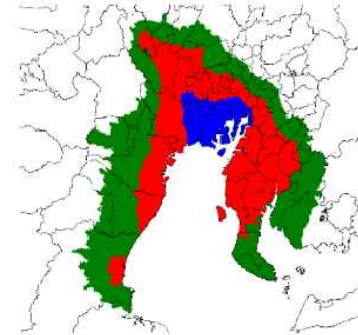
- ・内閣府報告(平成27年12月17日)を受けて実施
- ・対象地震:「南海トラフ沿いで約100~150年間隔で発生しているM8~9クラスの地震」
(実際には1854年安政東海M8.4と1707年宝永地震M8.6を使用)
- ・対象建物:平成29年4月1日以降、大臣認定による新築の超高層建築・免震建築など
- ・主な対策:耐震設計、家具の転倒・移動防止、長時間繰返し累積変形の影響(500秒以上)



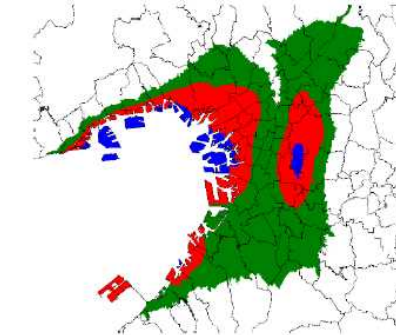
関東地域



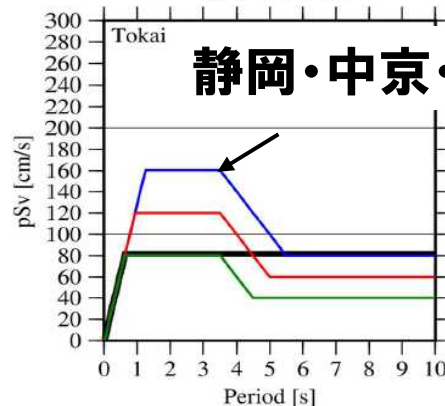
静岡地域



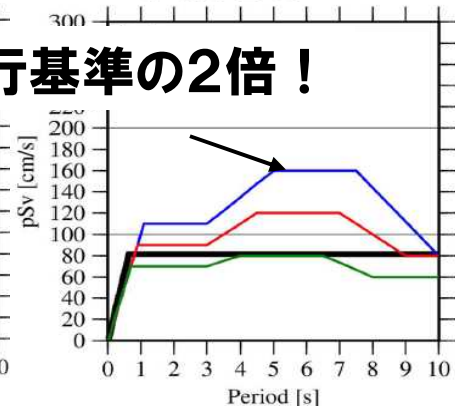
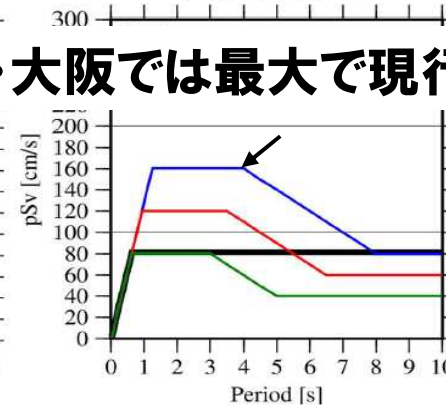
中京地域



大阪地域



静岡・中京・大阪では最大で現行基準の2倍！



⇒ 建設省通知:建築基準法告示ではないが、実質は評定等で強制力あり

南海トラフ地震と長周期地震動対策(内閣府報告)

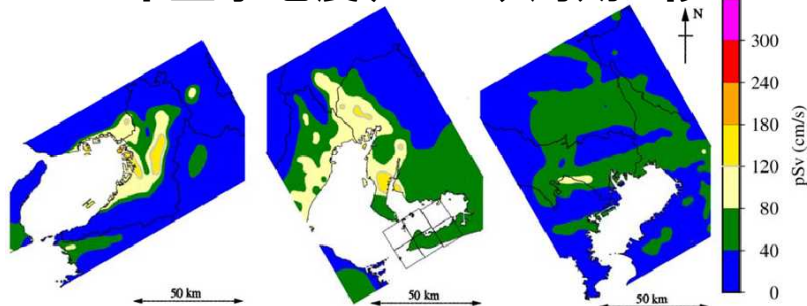
地震本部：地震の長期評価(多様性とは?)

内閣府：防災目的(発生確率は度外視)

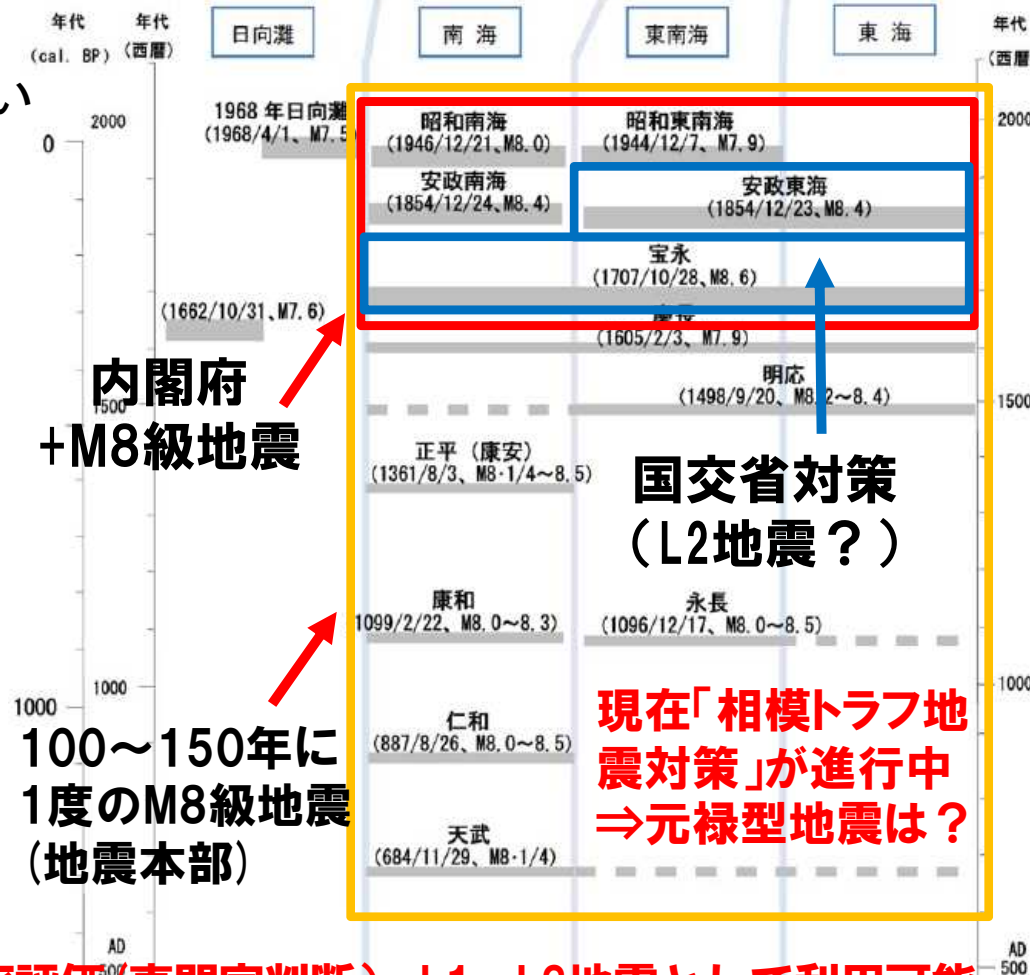
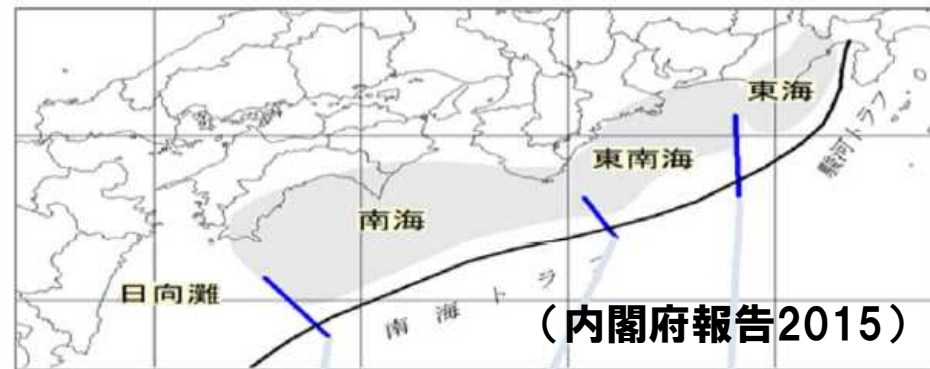
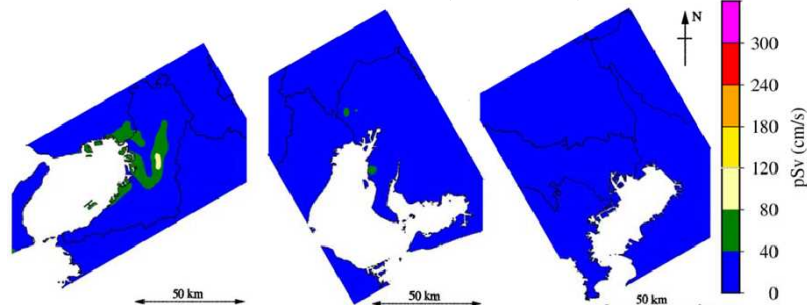
国交省：建築物の耐震設計(最低基準)

- ・L1地震動(数十年に1度程度)⇒損傷限界
 - ・L2地震動(数百年に1度程度)⇒安全限界
 - ・それ以上はL3地震動(検証用等)で任意扱い
- ⇒ 過大入力設計は耐震性能の低下もある

1707年宝永地震(M8.6)周期4秒



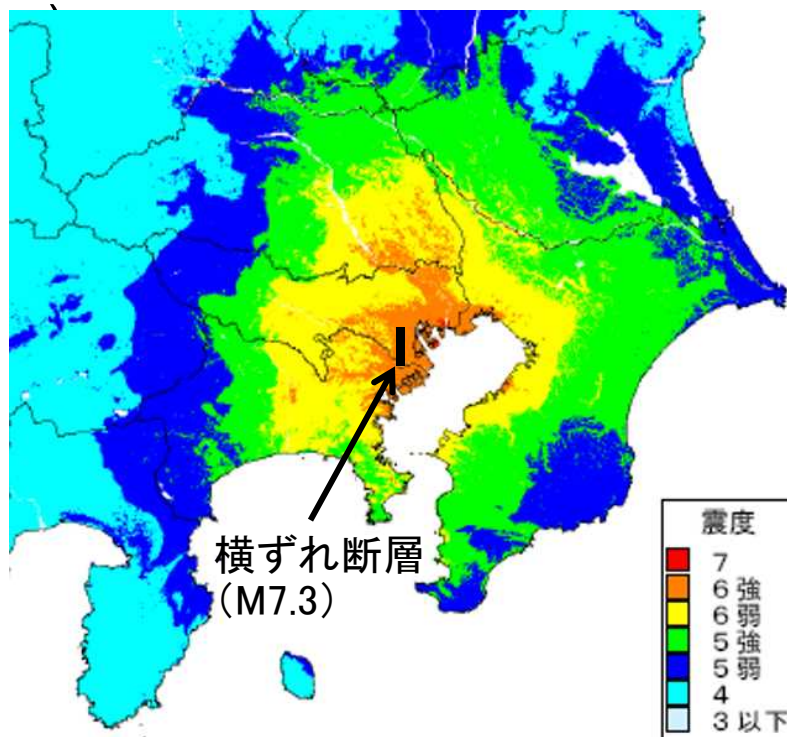
1946年昭和南海地震(M8.0)周期4秒



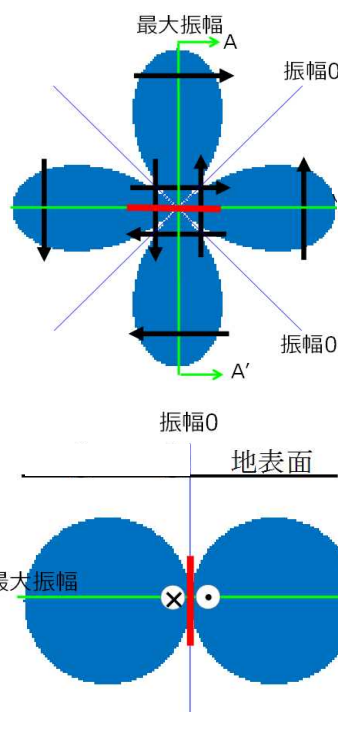
⇒多様性地震の小~最大級地震の発生確率評価(専門家判断), L1~L3地震として利用可能

強震動評価の工学的利活用

- ・強震動予測レシピ：超高層建築・免震建物等の設計用地震動(サイト波)に非常に有効な手法、建築分野でも広く利用 ⇒ 誰がやっても同じ結果は出ない ⇒ **地域別の標準的な設計用地震動(サイト波)の構築(首都圏など大都市圏)**
- 例：大阪府(上町断層帯地震、日本建築構造設計技術者協会・関西支部)
- 愛知県(東海・東南海地震、愛知県設計用入力地震動研究協議会)
- 東京湾岸の超高層建築の設計用地震動(L1~L3波、東京都構造設計指針)



都心南部直下地震の震度分布



S波の放射特性(理論)

同じレシピでも
甘くも・辛くも
お好み次第



隠し味が絶妙...



震源モデル
要素分割、放射特性
破壊伝播、SMGA
すべり関数、など

地盤モデル
減衰・非線形
卓越周期、など

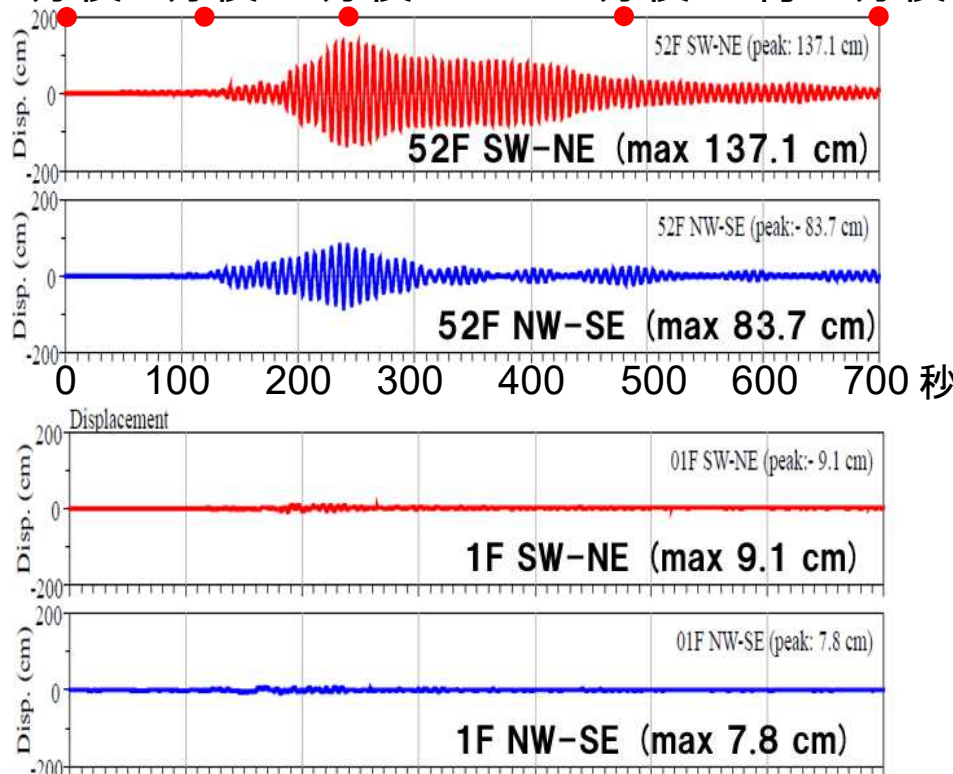
即時予測・観測情報：国民一人一人の対応向上へ

・ 東日本大震災時の大阪府咲洲庁舎 (55階 高さ256 m) の場合

震源から約770キロ、建物と地盤の卓越周期が一致(共振)。高層階では最大約1.4mの揺れ、スプリンクラー破損、壁パネル落下、100カ所以上のひび割れ、エレベータによる閉じ込めなど。1階の防災センター(震度3)は、高層階の状況を全く理解できず。

⇒ 超高層建築等では混乱防止のため、できるだけ施設内待機が求められている
正確な予測は困難であるが、事前準備と即時予測・実情報で対応力は向上は可能

発震から2分後 4分後 6分後 10分後 約14分後



超高層建築の対策例

事前対策

- ・長周期地震動等の認識
- ・被害低減策(耐震・室内)
- ・対応計画・訓練(例)
 - L1(小被害): 在室待機
 - L2(中被害): 館内退避
 - L3(大被害): 全館避難

事後対応

- ・緊急地震速報
 - ・長周期地震動(予報・観測)(各階の揺れの推定も可能)
 - ・被災度判定システム
- ⇒ 初動対応から実被害に応じた的確な対応策へ

おわりに:工学・建築分野との連携

- **地震本部の調査研究成果は建築分野でも有効に活用されている**
- **震源等の科学的観測・調査研究に加えて、今後は建築分野等と連携し、より防災・減災対策への寄与、社会へのアピールが可能。**
- **地震観測網データの拡充**
 1. 震源近傍強震動の解明:高い震度、長周期パルスの成因など
 2. 暴露人口の高い地域(大都市圏など)の複雑な地震動特性
 3. 建物の強震観測との連携(例:避難所となる小中学校など)
- **地震に関する評価(長期評価・予測値図・強震動評価)**
 1. 地震の長期評価:「発生しうる地震の多様性を考慮した評価」には、地震規模・地震動と発生確率(L1~L3地震動)との連携
 2. 強震動評価:地域別に標準的設計用地震動の策定
 3. 地下構造モデル(表層・深部地盤)の高精度化・メンテナンス
- **即時予測とデータ流通・公開・利活用**
 1. 地震動の即時予測・観測:建物の揺れ・被害予測と初動対応
 2. 国民一人一人への情報・対応(民間事業者との連携が必須)
 3. 各種即時情報(地震・津波・豪雨など)からオールハザード対応へ