

地震工学(第9回)

災害のソフト対策

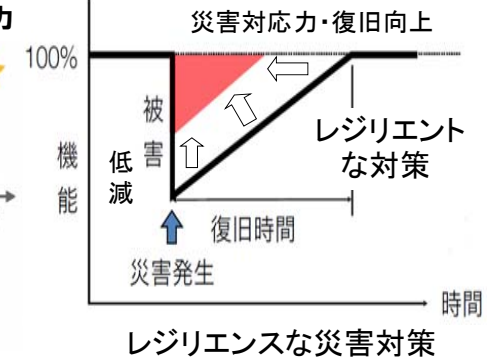
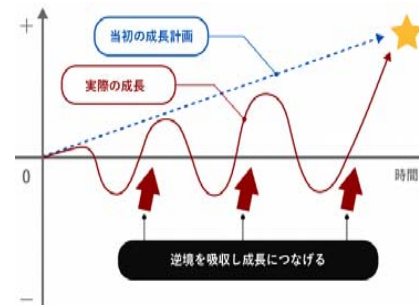
～レジリエントな対策～

「被害を出さない対策と被害が出た場合の対応策」

工学院大学建築学部
まちづくり学科
久田嘉章

レジリエントな災害対策の概念図

レジリエンス:回復力、復元力、強靱さ
⇒失敗・災害などから立ち直る能力



“未来を変える”プロジェクト

<https://mirai.doda.jp/theme/resilience/5-points/>

林春男「都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究」

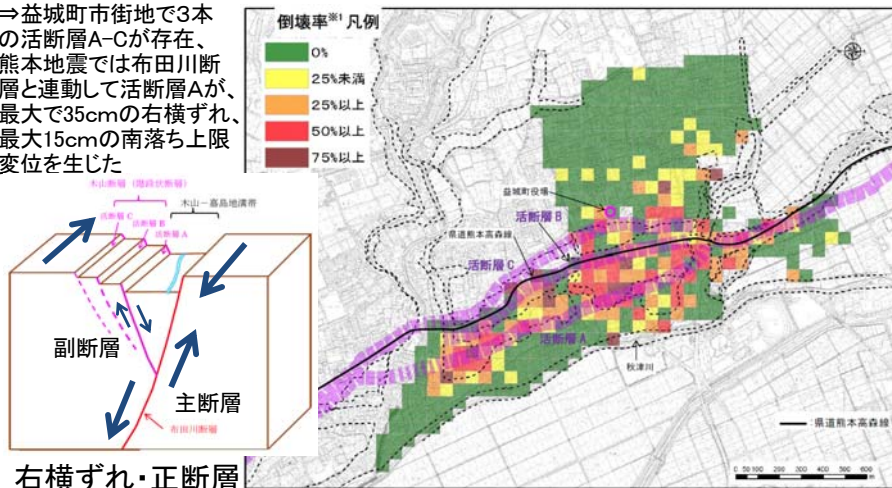
⇒ 事故・被害は必ず発生:事前の防災(ハード的)+事後の減災(ソフト的)
⇒ 得られた教訓を次の対策に反映し、より柔軟かつ強靱になる

2

熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する最終報告(国土交通省、2017年3月)

⇒ 明日午前のセッション(熊木先生ほか)

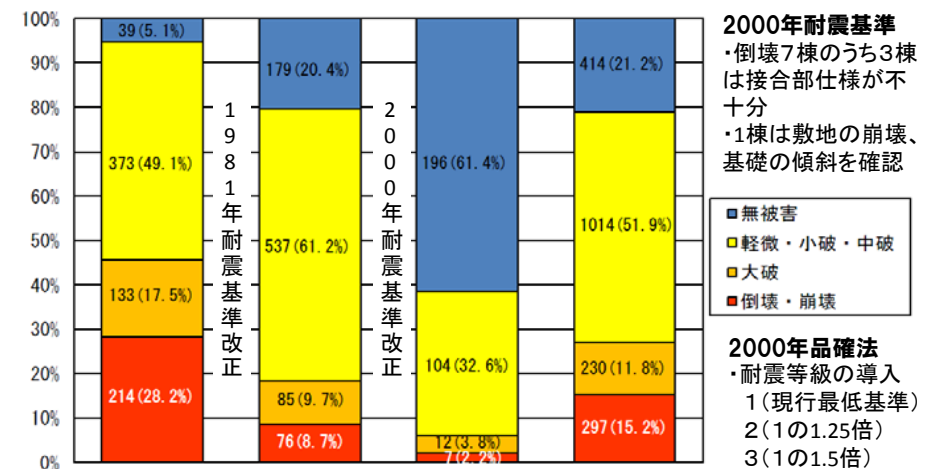
⇒益城町市街地で3本の活断層A-Cが存在、熊本地震では布田川断層と連動して活断層Aが、最大で35cmの右横ずれ、最大15cmの南落ち上限変位を生じた



3

想定内:木造の建築時期別の被害状況

益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告



2000年耐震基準
・倒壊7棟のうち3棟は接合部仕様が不十分
・1棟は敷地の崩壊、基礎の傾斜を確認

2000年品確法
・耐震等級の導入
1(現行最低基準)
2(1の1.25倍)
3(1の1.5倍)

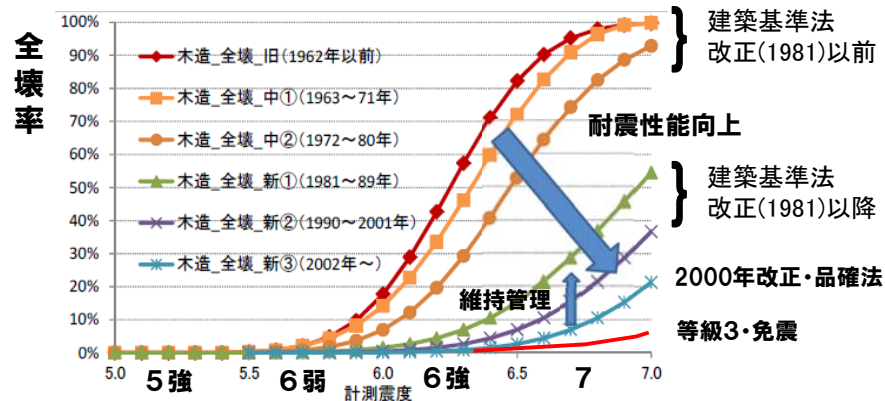
⇒等級3の16棟中14棟が無被害、2棟が軽微

4

熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会報告書(2016)

レジリエントな震災対策の概念

事前の防災対策(主にハード的対策)



木造建物の被害関数(内閣府被害想定2013)

事前の被害低減策⇒ まち・建物・室内の耐震性能向上・維持管理

東京湾岸の超高層建築等を対象としたレベル1～3地震動と設計用クライテリア:加藤他(2016年日本建築学会大会)、東京都・構造設計指針(2016)に反映

	入力地震動	構造物の性能	設計クライテリア		想定する地震動の発生頻度	備考
			構造体	層間変形角		
中地震(レベル1)	既往波(25cm/s) 告示波(稀地震)(Level 1)	無被害【機能維持】	短期許容応力度以内	1/200以内	数十年に一度発生	EL Centro, Taft, 八戸波 実地震位相2波, ランダム位相
大地震(レベル2)	既往波(50cm/s) 告示波(極稀地震)(Level 2) サイト波(個別) サイト波(個別波をほぼ包絡)	軽微な補修により事業継続可能【指定機能維持】	部材塑性率 < 4.0	1/100以内	数百年に一度発生	EL Centro, Taft, 八戸波 実地震位相2波, ランダム位相1波 南海トラフ地震, 大正関東地震, 東京湾北部地震, の計3地震 断層モデルに基づく地震動の位相を反映して作成
極大地震(レベル3)	告示波(極まれ)の1.5倍(Level 3-s) 告示スペクトル(極まれ)の4秒以上をかさ上げ(Level 3-L)	崩壊・倒壊しないことを確認【余裕度の検証】			数千年に一度発生 —	サイト波の+αレベルや, 他機関から公開された地震動予測スペクトル等に基づき設定 最新の知見を反映し, 十分に長い継続時間を設定する

6

Resilience-Based Design Approach

○ 近年の大規模な自然災害を経験し、Code-Based and Performance-Based Designから回復力を基準とするResilience-Based Designへ

○ Resiliencyの判断基準にするRating Systemが実用化

The U.S. Resiliency CouncilのCoRE Ratings
Arup者のREDI™ Rating System(2013)、など

○ REDI™ Rating Systemの事例

・The 181 Fremont Tower in SF(56階・244mのS造、2017年竣工)

・ビルオーナーの高い環境・防災への要望(LEED "Platinum" rating)

・REDI™ Rating "Gold" :

・設計基準(475年に1度)の地震で構造躯体が弾性範囲内

・Maximum Considered Earthquake(MCE; 2500年に1度の地震)には変形制御・荷重制御(PEER-TBI(2010)に準拠)

・非構造部材が設計基準(加速度・変位)より厳しい条件をクリア

・危機管理体制の追加要求も満足

"The Resilience-Based Design of the 181 Fremont Tower" by I. Almufti et.al., STRUCTURE magazine, June 2016



BRB(Buckling-restrained brace)とdamperを導入したmega-brace



mega-braceによるエネルギー吸収型の外郭構造

H邸の在来木造住宅(地盤・基礎・躯体)



ハザードマップで震災や水害の危険性が低く、地盤調査で比較的良好な地盤を確認



配筋べた基礎で頑強な基礎とした



構造計算を実施。1階を壁の多い居室、2階をリビングとし、部材を金物・筋違等で固定さらに構造合板をバランスよく配置し、耐震等級3(基準法の1.5倍の耐力)とした



H邸の在来木造住宅(室内・備蓄・メンテ)



大きな家具類は、地震などで転倒の心配のない作り付けとした。

十分な備蓄スペースを確保

水周りなどを中心に、配管や構造体をチェックする点検口を数箇所設置



雨水タンク(330L)を設置、平時は庭の散水に利用。震災時にはトイレ用水・飲料水・初期消火などに利用。タンクや緑化などで微力ながら豪雨時の内水氾濫や都市のヒートアイランドの低減にも寄与。

9

活断層・地滑り等による地盤変状対策の事例

“BUILDING NEAR FAULTS” (Bray, 2012 WILLIAM B. JOYNER MEMORIAL LECTURE:より)

Trans-Alaskan Pipeline



Denali Fault-Crossing
Lloyd Cluff and others;
Woodward-Clyde

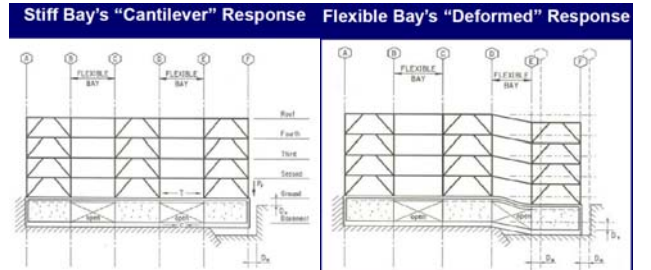
DESIGN PARAMETERS:

- Horizontal: 20 feet (約6 m)
- Vertical: 5 feet (約1.5 m)
- North side up
- Right-slip will cause axial compression

Anchorage Courthouse



設計クライテリア
レベル1(5百年に1度)
変位: 0.4 ft (約12cm, 水平)
0.27 ft (約8cm, 上下)
目標: 修復可能
レベル2(5千年に1度)
変位: 4 ft (約1.2m, 水平),
2.7 ft (約0.8m, 上下)
目標: 倒壊せず

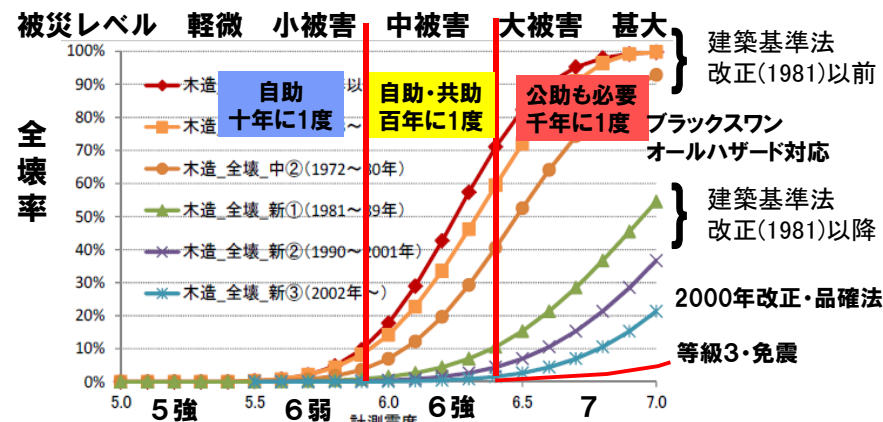


Craig Comartin, SE, Coffman Engineers
(now with CDComartin, Inc.)
Also: Idriss & Moriawaki, Woodward-Clyde
H. Shah, Stanford Univ.

10

レジリエントな震災対策の概念

事後の柔軟な減災(ソフト的な対応力・復旧向上)



高層ビルの対応例: 避難せず 施設内退避 全館避難
都心エリアの対応例: 帰宅困難者 2次災害防止 エリア外からの救援・退避
事後の災害対応・回復力能力の向上(災害対応従事者、一般市民)
(被災レベル別の対応計画・行動ルールと実践的な訓練・検証・改善)

想定外を無くす!?: 南海トラフ巨大地震の長期評価

「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」の評価へ→地震ハザード評価値の増大



東日本大震災以前

海溝型巨大地震は固有地震説により予測しやすいはず、だった...

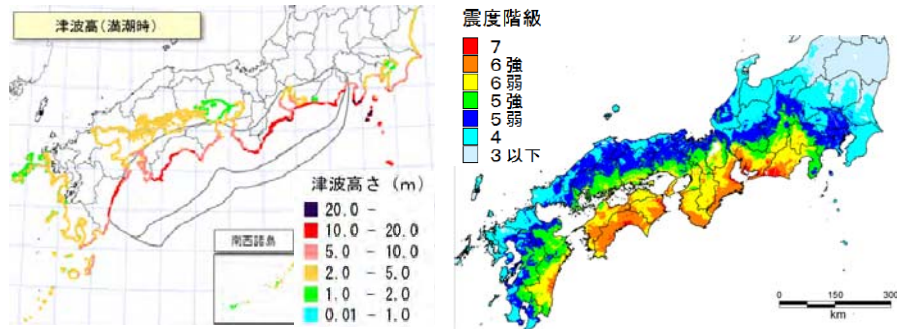
東日本大震災以後

全くの想定外だった超巨大地震(M9地震)を受け、防災目的より**最大級地震も想定**

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)」

12

最大級南海トラフ地震の被害想定(M9、内閣府)



【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8m/s) 死者数・約32万人、負傷者・約62万人

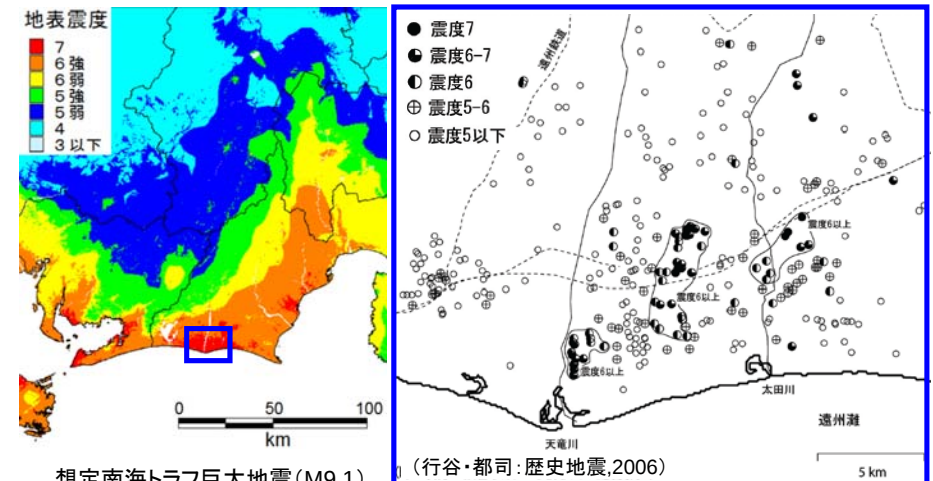
死者内訳:建物倒壊(8.2万人)、津波(23万人)、火災(約1万人)、など

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

⇒「常に最悪を考え、備える」は危機管理の基本だが、「次の南海トラフ地震」ではない。可能性の殆ど無い過大な被害想定は「逆の想定外」を生む(「死ぬしかない、自助・共助では何もできない」など⇒本来は可能な対策を諦めてしまう現象)

⇒ 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¹³

最大級の想定地震と歴史地震の震度分布

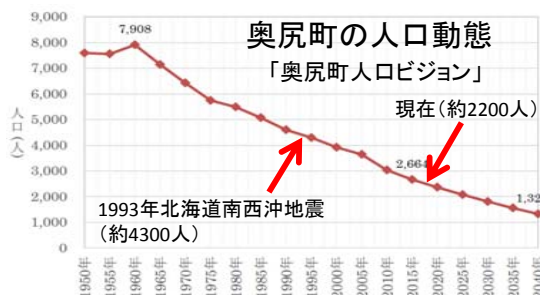


想定南海トラフ巨大地震(M9.1)の推定震度例(2012内閣府防災会議) 1854年安政東海・南海地震(M8.4)の震度分布
全域震度7に20mの津波!? 天竜川流域:震度5以下～7、津波4～8m

14

1993年北海道南西沖地震(M7.8)後の奥尻町の津波被害と復興事業(灰色のサイ)

巨大復興事業と現状:被害総額664億円に対して、復興事業費763億円と義援金190億円を投入、大規模な公共事業を実施。結果、過疎化に歯止めがかからず、巨額の維持管理が不可能な状況。(奥尻町の歳入・歳出規模は約40億円。うち約20億は地方交付税、約10億は町債)。

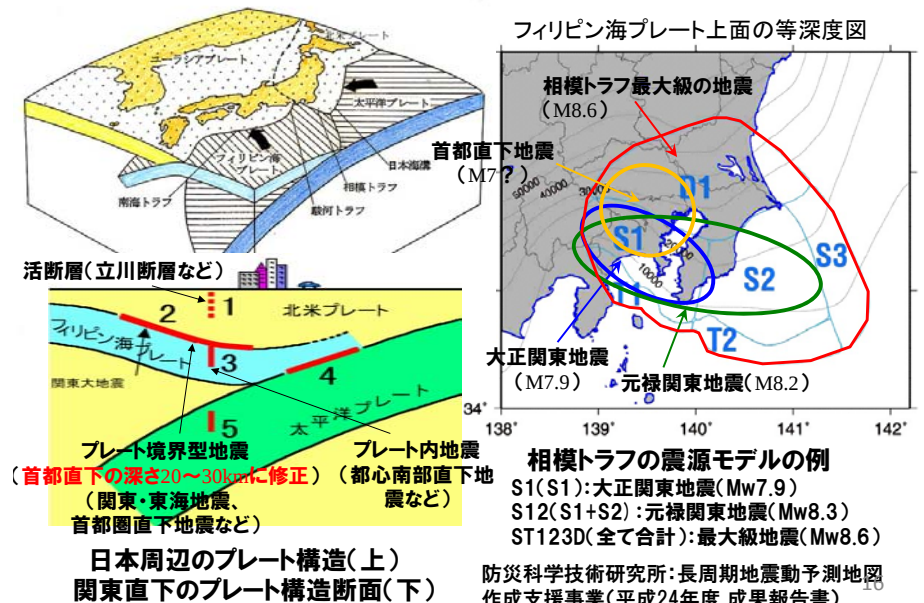


⇒ 過剰なハード対策でなく、住民自らが望み、身の丈にあった、まちの活性化と併せた持続可能な対策!



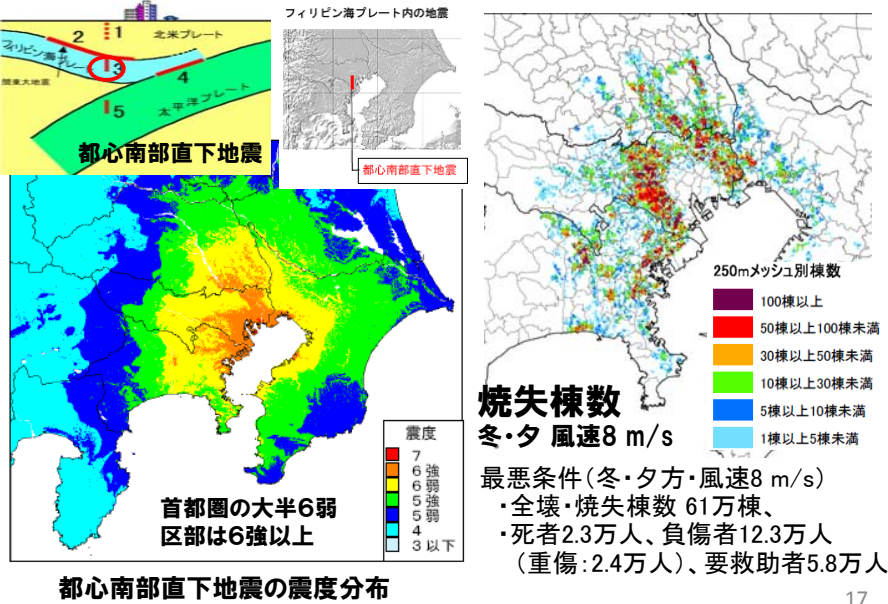
奥尻町の被害と復興事業(奥尻町HP)

首都圏で想定される大地震(複雑な震源像)



防災科学技術研究所:長周期地震動予測地図作成支援事業(平成24年度 成果報告書)

震災対策:首都直下地震の想定被害(2013年内閣府)



都心南部直下地震による建物被害推定結果

項目		冬・深夜	夏・昼	冬・夕
揺れによる全壊		約 175,000 棟		
液状化による全壊		約 22,000 棟		
急傾斜地崩壊による全壊		約 1,100 棟		
地震火災による焼失	風速3m/s	約 49,000 棟	約 38,000 棟	約 268,000 棟
	風速8m/s	約 90,000 棟	約 75,000 棟	約 412,000 棟
全壊及び焼失棟数合計	風速3m/s	約 247,000 棟	約 236,000 棟	約 465,000 棟
	風速8m/s	約 287,000 棟	約 272,000 棟	約 610,000 棟
ブロック塀等転倒数		約 80,000 件		
自動販売機転倒数		約 15,000 件		
屋外落下物が発生する建物数		約 22,000 棟		

全壊の定義:(以降、同じ)

住家がその居住のための基本的機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの、または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもの。なお、建物の構造的な倒壊・崩壊はこの全壊に含まれる。

なお、液状化の場合、外観目視判定により一見して住家全部あるいは一部の階が倒壊している等の場合、あるいは傾斜が 1/20 以上の場合、あるいは住家の床上1mまで地盤面に潜り込んでいる場合が全壊に相当する。液状化による建物全壊等によって人的被害は発生した事例は少ない。

2013年内閣府

都心南部直下地震による人的被害推定結果

項目		冬・深夜	夏・昼	冬・夕
建物倒壊等による死者 (うち屋内収容物移動・転倒、屋内落下物)		約 11,000 人 (約 1,100 人)	約 4,400 人 (約 500 人)	約 6,400 人 (約 600 人)
急傾斜地崩壊による死者		約 100 人	約 30 人	約 60 人
地震火災による死者	風速3m/s	約 2,100 人	約 500 人	約 5,700 人
	風速8m/s	約 15,000 人 ～約 18,000 人	約 5,500 人 ～約 6,200 人	約 16,000 人 ～約 23,000 人
死者数合計		約 17,200 人	約 6,000 人	約 21,800 人
負傷者数		約 109,000 人 ～約 113,000 人	約 87,000 人 ～約 90,000 人	約 112,000 人 ～約 123,000 人
揺れによる建物被害に伴う要救助者 (自力脱出困難者)		約 72,000 人	約 54,000 人	約 58,000 人

○ 東京都内の救急車数 337台
○ 災害拠点病院数
東京都:70 神奈川県:33
千葉県:19 埼玉県:15
○ 全国のDMAT数 1,150チーム
⇒現状では対応は非常に困難

東京都被害想定(2011)での東京湾北部地震(冬夕方18時・風速8m/秒)で死者約9,700名

建物の耐震化・室内対策による被害低減効果

	建物の耐震性強化			
	耐震化率 79% (全国) 87% (東京都)	耐震化率 90% (全国) 94% (東京都)	耐震化率 95% (全国) 97% (東京都)	耐震化率 100% (全国) 100% (東京都)
揺れによる全壊棟数	約 175,000 棟	約 98,000 棟	約 63,000 棟	約 27,000 棟
建物倒壊等による死者数 (冬・深夜)	約 11,000 人	約 6,100 人	約 3,800 人	約 1,500 人

	家具等の転倒・落下防止対策強化		
	現状	実施率 75%	実施率 100%
屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による死者数 (冬・深夜)	約 1,100 人	約 700 人	約 400 人
屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による重傷者数 (冬・深夜)	約 6,400 人	約 5,200 人	約 3,500 人

建物被害は火災発生を誘引するだけでなく、地域での道路を閉塞するなど、救急・救援活動を大きく妨げる妨げとなる。耐震化とは現行の最低基準である建築基準法での耐震性能。人口稠密な首都圏の建物はより高い耐震性能(耐震等級2以上、免震など)を目指すべき。

避難者・帰宅困難者数の推定結果

避難者

		避難者数	避難所	
			避難所	避難所外
1日後	合計	約 3,000,000	約 1,800,000	約 1,200,000
	うち都区部	約 1,500,000	約 910,000	約 600,000
2週間後	合計	約 7,200,000	約 2,900,000	約 4,300,000
	うち都区部	約 3,300,000	約 1,300,000	約 2,000,000
1ヶ月後	合計	約 4,000,000	約 1,200,000	約 2,800,000
	うち都区部	約 1,800,000	約 540,000	約 1,300,000

帰宅困難者数

	人数(人)	割合(%)
1都4県	約 6,400,000～約 8,000,000	38%～47%
東京都	約 3,800,000～約 4,900,000	41%～52%

※4県(茨城県、埼玉県、千葉県、神奈川県)

避難者：建物被害だけでなく、断水・停電でも避難者数に計上。居住不可能の建物以外、十分な**備蓄(できれば1週間分)**をして**自宅待機が原則**

帰宅困難者：周辺状況が分かるまで**建物・地域で待機が原則**。その後、残る者(BCPコアメンバーなど)、帰宅する者の選別が必要(3日分以上の備蓄、交代要員の配慮..)

前回評価
119年間
に5回(30
年で72%)

今回評価
220年間
に8回(30
年で66%)

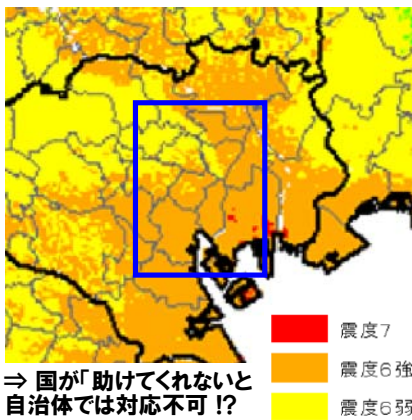
**M7級の首都直下地震(相模トラフ沿い)
の歴史地震と30年70%の発生確率
⇒ 次の地震の可能性は中小被害が圧倒的に高い**

番号	前回	今回	地域・名称	西暦	北緯	東経	M	被害摘要
1			元和江戸	1615	35.7	139.7	6.8	家屋が倒壊し、死傷多く、地割れを発生。
2			寛永小田原	1633	35.2	139.2	7.0	小田原で民家の倒潰多く、死150。熱海に津波が襲来。
3			慶安相模	1648	35.2	139.2	7.0	小田原城破損。領内で潰家がかった。死1
4			慶安武蔵	1649	35.8	139.5	7.0	川越で大地震、町屋700軒ほど大破。圧死多数
★			元禄関東	1703	34.7	139.8	8.2	房総半島南部・小田原で被害大、死者約1万人、津波有
5		○	天明小田原	1782	35.4	139.1	7.0	小田原城天守傾き、江戸でも潰家。死者あり
6		○	嘉永小田原	1853	35.3	139.15	6.7	小田原で被害大。潰家あり
7		○	安政江戸	1855	35.7	139.8	7.1	江戸下町で被害大、死者7千人以上
8	○	○	明治東京	1894	35.7	139.8	7.0	東京・横浜の被害が大、東京で死24。川崎・横浜で死7
9		○	東京湾付近やや深い	1894	35.6	139.8	6.7	建物に小被害
10	○	○	茨城県南部	1895	36.1	140.4	7.2	茨城県南部に被害大
11	○	○	茨城県南部	1921	36	140.2	7.0	千葉・茨城県境付近に小被害
12	○	○	浦賀水道	1922	35.2	139.8	6.8	東京湾岸に被害があり、東京・横浜で死各1
★			大正関東	1923	35.3	139.1	7.9	死者約10万人、住家全潰10万9千余、焼失21万2千余
13			丹沢	1924	35.3	139.1	7.3	死19。家屋全潰1200余。特に神奈川県中南部に著しい被害
14			西埼玉	1931	36.2	139.2	6.9	死16。家屋全潰207(住家76、非住家131)。
15	○		千葉県東方沖	1987	35.4	140.5	6.7	千葉県を中心に死2、傷161。住家全潰16、一部破損7万余

・30年70%は、Scienceというよりも、Expert Judgement(専門家判断)

・過去400年のM7地震、死者数千人1回、数百人3回、数十名以下11回

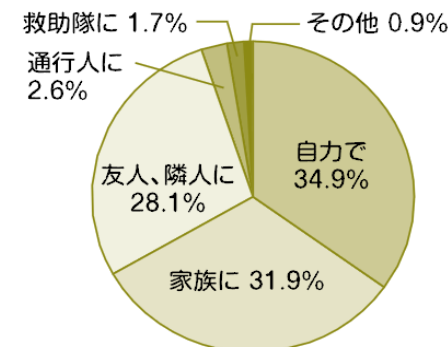
首都直下地震と1855年安政江戸地震の震度分布



1855年安政江戸地震(M7)の震度分布

作成 中村 操氏 <http://www.bousai.go.jp/oshirase/h15/031222/2-3.pdf>

阪神・淡路大震災: 自助・共助による柔軟な対応(ソフト)



兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書
日本火災学会より



幸せ運ぼう(神戸市教育委員会、2008)

- ・殆どの住民は逃げずに、消火・救援救護活動、大多数は地域住民が救助 ⇒ **自分の家・まちは自分たちで守る(自助・共助)**
- ・「逃げる対策」から、「逃げないで被害に立ち向かう対策」も必要

奇跡の集落、命守った絆 西原村大切畑地区、 下敷き9人救出(2016/05/05付 西日本新聞朝刊)



救出の様子を語る消防団員の田中憲聖さん＝熊本県西原村小森の大切畑地区、神崎卓征撮影(朝日新聞 2016年4月19日)

熊本県西原村の大切畑地区:4月16日未明、うなりを上げるチェーンソーの火花が、闇に光っていた。ジャッキを手にした住民たちの叫び声が響く。ひしゃげた家屋の下から、泥だらけの9人が次々に助け出された。



西原村発災対応型防災訓練のチラシ(大切畑地区ではチェーンソー・ジャッキ等による救出訓練も実施していた)消防団の発災対応型防災訓練が活きた西原村(福和先生)

<http://bylines.news.yahoo.co.jp/fukuwanobuo/20160913-0006210/>

危機レベルの分類の例

JIS Q22320:2013(ISO 22320:2011)

社会セキュリティ-緊急事態管理-危機対応に関する要求事項

危機レベル	危機レベルの説明	指揮レベル	発生確率・事象例
レベル1 (現場対応)	あらかじめ規定された対応・資源で対応できる事象	戦術的指揮、任務レベルの指揮、戦術的連携による監視及び支援	年数回発生 震度5弱以下 負傷者ほぼ無し
レベル2 (組織対応)	被災組織がもつ資源で対応できる事象	戦術的指揮及び連携	数年に1度程度 震度5強 負傷者数名
レベル3 (地域対応)	被災組織の資源に加え、近隣組織の相互支援を受け対応できる事象	管轄区内での活動に関する戦略的指揮及び連携	数十年に1度 震度6弱、負傷数十名(重症数名)
レベル4 (自治体対応)	被災組織の資源に加え、被災管轄区内の全組織からの支援を受け対応できる	管轄区・隣接区域の戦略的指揮。ときに戦略レベルによる監視を受ける。	数百年に1度 震度6強、負傷数百名(重症者数十名)
レベル5 (国家対応)	被災地をもつ中央政府によって二国間条約及び国際組織の既存の協約が実施される。	管轄区・隣接区域の戦略的指揮。ときに戦略レベルによる支援及び直接介入を要求される場合がある。	数千年に1度 震度7、負傷数千名以上(重症数百名以上)

最低でも大中小の3段階くらいのレベル設定

施設・エリアでの被害・危機レベル別の災害対応策例(初動対応にモニタリング必須)

- ・ 超高層ビル等の大規模施設における震災レベル別対応例
レベル1(小被害):避難不要(各階待機)
レベル2(中被害):部分避難(高層⇒低層など)
レベル3(大被害):全館避難
- ・ 中心市街地エリアにおける震災レベル別対応例
レベル1(小被害):施設対応(帰宅困難者受け入れなど)
レベル2(中被害):エリア対応(傷病者対応・2次災害防止)
レベル3(大被害):広域連携(エリアから避難など)
- ・ 地下街における水害レベル別対応例
レベル1(小被害):止水板設置・アンダーパス通行禁止等
レベル2(中被害):出入口閉鎖・垂直避難など
レベル3(大被害):大規模洪水・広域避難など

被災規模に応じたBCPの発動レベルの設定例 東京ガスの場合(対応要員の規模の目安など)

	震度4、5弱程度～	震度5強程度～	震度6弱程度～
地震規模			
被害規模	マイコンメーター遮断 ---	マイコンメーター遮断 低圧ガス導管漏えい	マイコンメーター遮断 低圧ガス導管漏えい 低圧ブロック供給停止
対応要員 (目安)	BCPレベル1発動 約2,000名/7,000名	BCPレベル2発動 約3～5,000名/7,000名	BCPレベル3発動(フル) 約7,000名/7,000名

猪股 渉:東京ガスの地震防災対策～実効性のあるBCPによる首都直下地震への備え～
日本地震工学会「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」報告書(2016)

防災気象情報の種類(気象庁)

防災気象情報の種類

種類	情報の種別	それぞれの違い
特別警報	大雨(土砂災害、浸水害)、暴風、暴風雪、大雪、波浪、高潮	・重大な災害の起こるおそれが著しく大きい場合に発表
警報	大雨(土砂災害、浸水害)、洪水、暴風、暴風雪、大雪、波浪、高潮	・重大な災害の起こるおそれがある場合に発表
注意報	大雨、洪水、強風、風雪、大雪、波浪、高潮、雷、融雪、濃霧、乾燥、なだれ、低温、霜、着氷、着雪	・災害の起こるおそれがある場合に発表
気象情報 [※]	・大雨に関する気象情報 ・台風情報 ・竜巻注意情報 ・記録的短時間大雨情報 ・長期間の高温に関する気象情報 など	・警報等の対象となる現象の経過、予想、防災上の留意点などを解説するため必要に応じて随時発表 ・警報等の対象ではない、社会的に影響の大きな天候の状況なども必要に応じて随時発表

※ここでの「気象情報」とは、警報等とは別に、文章または図・表を用いて気象状況を解説した情報のことです。

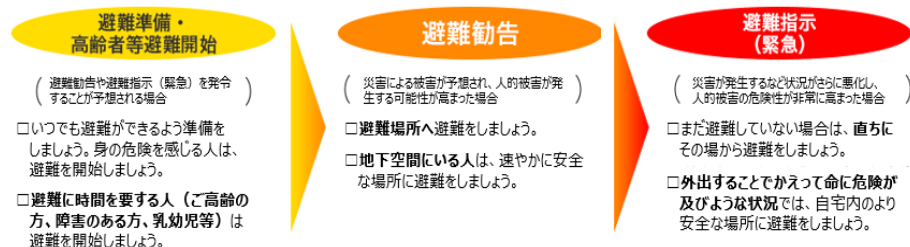
2011年東日本大震災による津波や、平成23年台風第12号による紀伊半島を中心とする大雨による甚大な被害を教訓として、気象庁は、数十年に1度程度の大規模な災害の発生が切迫していることを伝えるため、2013年8月から「特別警報」を創設した。

身を守るための行動(大雨の場合、気象庁)



- 普段から行うこと。
- ・地域震災時、風水害時の**危険度(ハザード)**を理解する。
 - ・**地震時**: 延焼火災の避難場所(広域避難場所、特に木造密集市街地)、津波や土石流等の指定緊急避難場所(高台、津波避難施設など)、多数傷病者が出た場合の医療救護所や災害拠点病院、指定避難所(体育館など)を確認。
 - ・**風水害時**: 自宅の対策と、緊急避難場所、避難が間に合わなかった場合の近隣の安全な場所を確認
 - ・毎年訓練を行い、対策の有効性の確認・改善を行う

避難準備・避難勧告・避難指示(自治体)



発生する災害種別に対して立退き避難が必要な場合には、当該災害に対応した**指定緊急避難場所**へ避難する。ただし、既に周辺で災害が発生している場合など、立退き避難がかえって命に危険を及ぼしかねないと自ら判断する場合は、「**近隣の安全な場所**」への避難や、少しでも命が助かる可能性の高い避難行動として、「**屋内安全確保**」を行います。

- 「**近隣の安全な場所**」: 指定緊急避難場所ではないが、近隣のより安全な場所・建物等
- 「**屋内安全確保**」: その時点に居る建物内において、より安全な部屋等への移動