公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

東京大学 CIDIR

首都直下地震被害想定

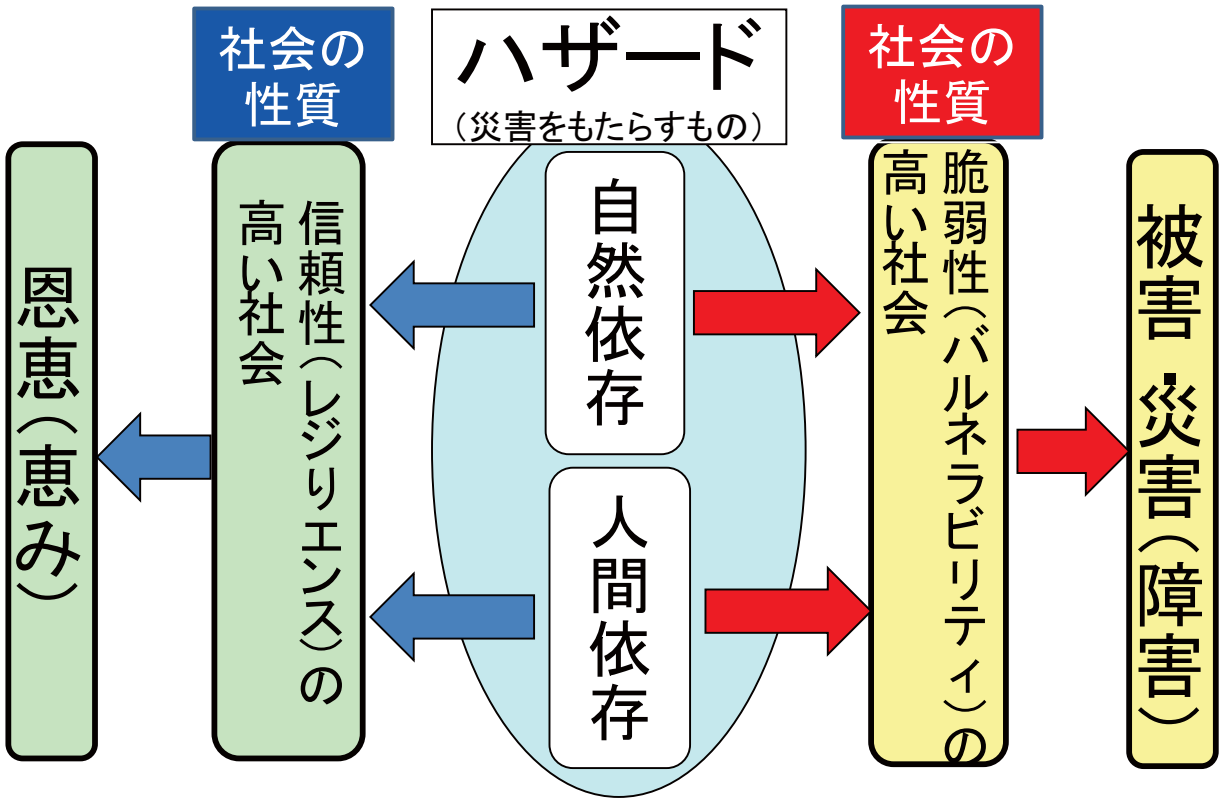
目黒 公郎

日本地震工学会　会長
（東京大学教授）

本プレゼンテーションにおける見解は、現在会長職にある目黒の私見である。
（研究者集団である学会の特徴として、学会全体としての統一見解を述べることは難しいので）

災害の多発地域に なぜ人口が集中するのか

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering



災害のメカニズム

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

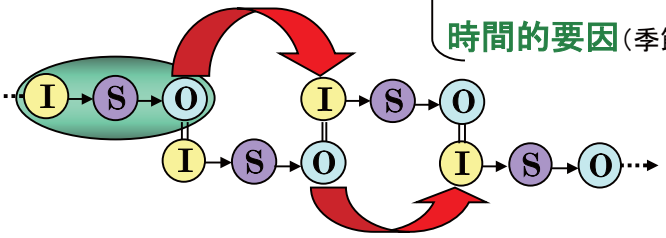
災害現象の考え方（「災害は進化する」というが．．．）

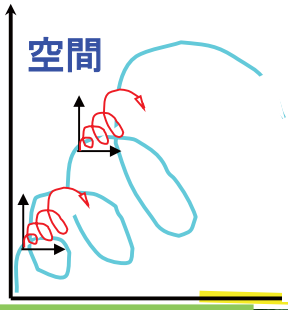
ハザード（自然の脅威）　受ける社会の特性　出現する（物理・社会）現象

INPUT → SYSTEM → OUTPUT

INPUT	SYSTEM	OUTPUT
地震 地震動/津波	構造/組織 社会システム/地域特性	応答/対応 被害

自然環境特性（地形，地質，気候，etc）
社会環境特性（人口分布/密度、インフラの特性、政治，経済，宗教，文化，歴史，教育，防災対策，etc）
時間的要因（季節，曜日，時刻，etc）





災害軽減とは，拡大連鎖反応を時空間スケールで小さい時に如何に断ち切るかにかかっている．

適切な防災対策を実現するために

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO
CIDIR

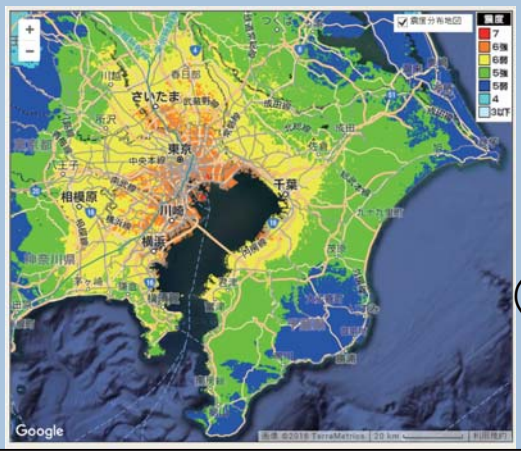
- 敵を知り、己を知る
- 正確な知識と想像力

↓

→ ・地震被害想定
・地震危険度評価

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

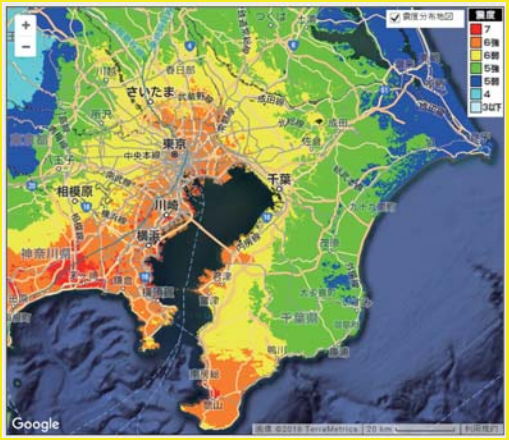
震度分布



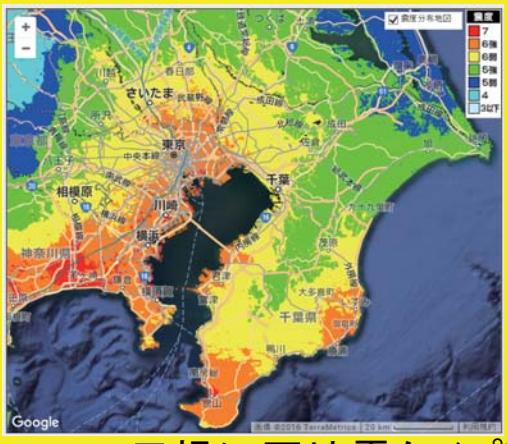
M7級

（M7.3，都心南部直下）

M8級



（M8.2，関東地震タイプ）



（M8.5，元禄江戸地震タイプ）

首都直下地震の被害像（被害想定結果）

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO
CIDIR

ハザード想定：

・異なる19通りのM7級の地震（発生確率の高い地震）
・2通りのM8級の地震（発生確率は低いが長期的な対策の対象として）

被害（最大となる都心南部直下地震の場合）：

被害総額：95.3兆円 （資産損失47.4兆円、経済的な活動への影響47.9兆円）
建物被害：全壊・焼失棟数約61万棟 （冬・夕方・風速8mの条件で）
（揺れによる約17.5万棟や延焼火災による約41.2万棟など）
死者数：約2.3万名（建物被害：約6,400名、延焼火災：約1.6万名など）
災害廃棄物：約9,800万トン（10トントラック980万台分、8,500万立米）
避難者：720万人（避難所290万人、避難所外430万人）
電気（停電：1,220万軒）、通信(通信不能470万回線)、
水道（断水1,440万人）、ガス（供給停止159万戸）
エレベータ内閉じ込め人数：1.7万人
（閉じ込めにつながる停止エレベータ台数：3万台以上）

首都直下地震の特徴

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

・国家中枢機能の集中とこれを如何に保持するかの問題
→中央政府が同時に被災地となった経験は少ない
・巨大都市災害「スーパー都市災害」と複合災害
→被害量が甚大（阪神・淡路大震災の数倍から10倍）
→甚大な間接被害（政治・経済の中枢機能の被災を原因として）
・人口の集中、大量な「ヒト・モノ・情報」に依存する都市システム
→交通・外食・通信（携帯電話など）の途絶が引き起こす問題
→安否確認と帰宅困難者と情報・食料不足などの混乱
・2020年東京オリンピック・パラレンピックとの関係
→対策のあり方に関する認識不足

季節や時間帯の影響
→例えば、冬の夕方では、暗闇の中での初動（救出困難）
→予想外の混乱の発生（都心・盛り場、多くの外国人など）

地震被害想定結果の正しい活用法

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO
CIDIR

最も重要な認識：
被害想定を100回やっても、評価式の精度をどれだけ上げても、被害は全く減らない。具体的な対策によってのみ被害は軽減される。

・結果の大小に一喜一憂しない
→精度はそれほど高くない（不確定要素が多い、断層モデル、地質/地盤データ、被害関数）
→地域の変化や対策の進展で変わる被害量に注目（定期的に同じ評価手法を用いて算定する）

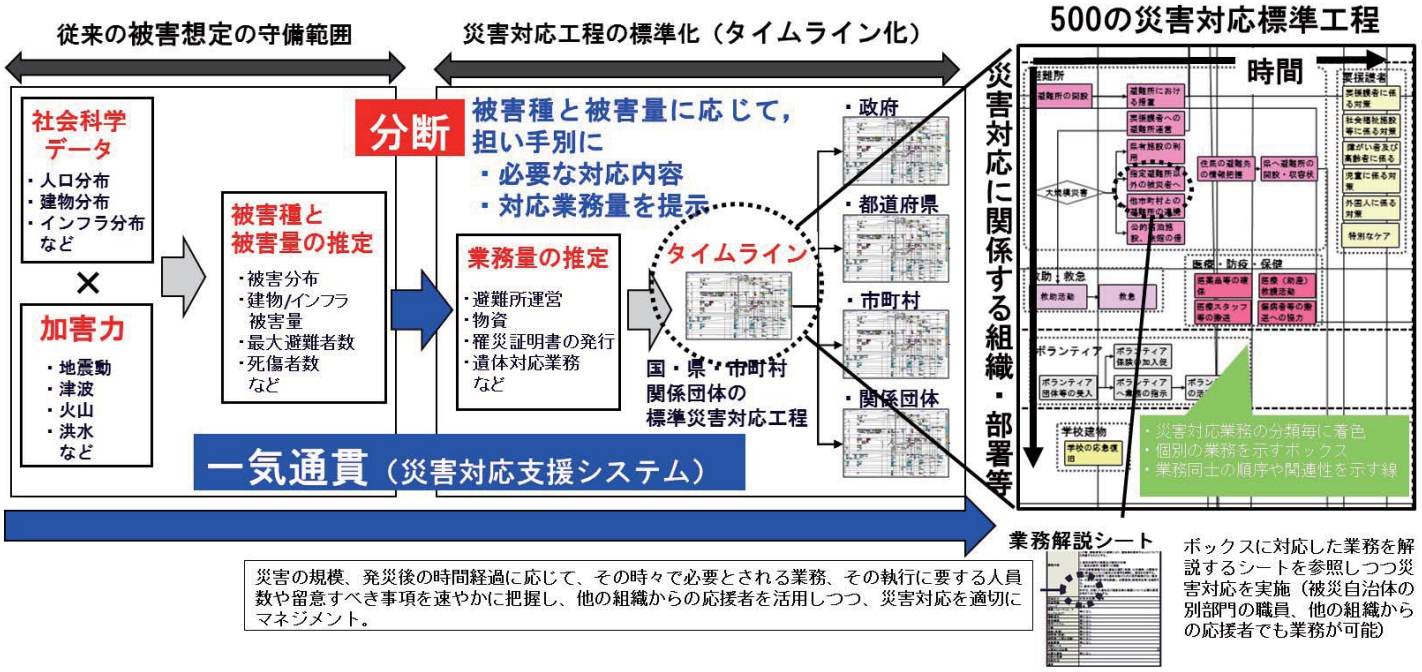
・担い手別の具体的なアクションで算定結果が変わるように定式化する
→ブラックボックス評価から努力の効果が見える評価へ

・被害量に基づいた事前対策と事後対応戦略への活用
→事前対策の効果の定量的評価、
→事後対応の業務マネジメントに活用

直後被害想定から被害プロセス想定へ

マニュアルのタイムライン化のすすめ

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering



ボックスに対応した業務を解説するシートを参照しつつ災害対応を実施（被災自治体の別部門の職員、他の組織からの応援者でも業務が可能）

災害の規模、発災後の時間経過に応じて、その時々で必要とされる業務、その執行に要する人員数や留意すべき事項を速やかに把握し、他の組織からの応援者を活用しつつ、災害対応を適切にマネジメント。

国・都道府県・市町村・関係団体等の災害対応をタイムライン化し未来を先取りする
（事前から事後に至るまでの災害対応の全てを時系列で可視化）

マニュアルのタイムライン化のすすめ

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

1. 過去の被災経験の教訓に基づいた災害対応業務の標準化と、被害量に応じた業務量の定量的かつ具体的な災害対応工程のシミュレーションやモデル化
   →被害想定結果を踏まえ、その被害量に応じた各種災害対応の業務量、実施期間、必要となるリソースを評価するモデルの作成とシミュレーション.
2. 事前対策の効果の検証提示と実践的な訓練の標準化
   →各種の事前対策を実施した場合に，どの対応がどのように効率化できるのかを検証し、訓練法を標準化する.
3. 実際の災害対応の進捗モニタリングと共有．災害対応の履歴や教訓の蓄積（業務解説シートに追加）
   →国・都道府県・複数市町村が、それぞれどのような対応をしているのか、その活動の進捗状況を共有し、記録として残す.
4. 初体験の自治体の業務をナビゲーションし、今後直面する事象を先取りした上で、現在の対応を提示
   →災害対応の標準化により、必要な災害対応工程を明確化し、初体験の自治体でも最低限やるべき業務を把握可能にする.
5. 応援職員と被災自治体の認識の共通化
   →熊本県内に全国から多くの応援職員が支援に入ったが、多くの場合、東日本大震災、阪神・淡路大震災、新潟中越地震などの経験をバラバラに提示したために混乱が発生．これらは災害対応の標準化により改善可能で、大幅な効率化が実現する.
6. 災害対応のID化とカラーデザイン
   →災害対応のID化（災害対応7番＝〇〇対応と言うように，それが何を意味しているのか関係者がすぐわかる）とカラーデザインで災害対応の効率化（災害対応別に“色”を与えることで視覚的に対応内容を把握できる）.
7. 災害対応支援システムの全国共通開発・管理
   →標準的な災害対応工程が定義されることで，国が一元的に災害対応支援システムを開発・維持管理可能縫になる.
   各市町村がバラバラで、開発・導入している防災システムは財政的にも運用面においても非効率.
   国が災害対応支援の標準システムを開発すべき．熊本地震の物資のニーズに関しタブレットを導入したが、事前の評価や運用経験がなかったために、効果は限定的．必要な情報システムは事前に標準的なものを整備・評価しておくべき.

以下は参考資料です。

構造物の被害のメカニズム

構造物の被害
= 耐震性 x 地震動

3種類
(a) 耐震補強
(b) 制震補強
(c) 免震補強

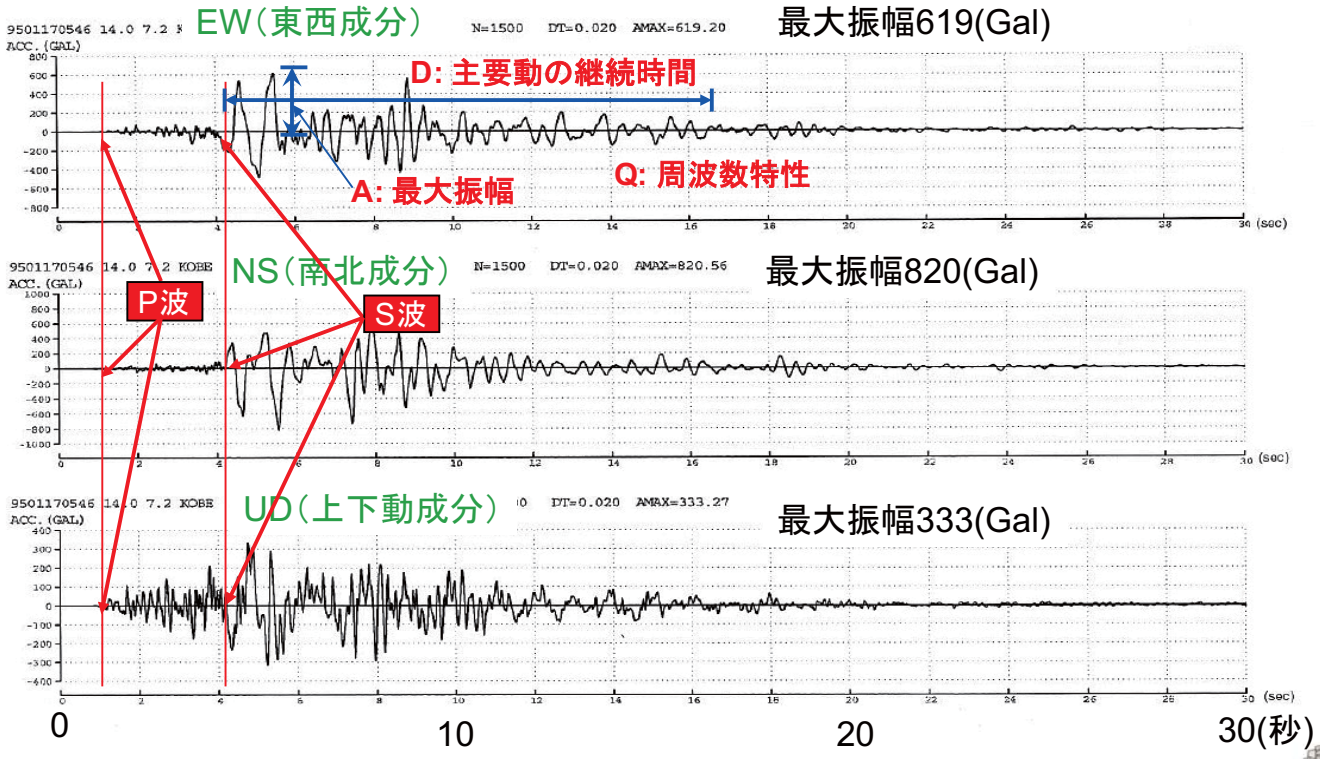
耐震性=g(強度, 変形能力, エネルギー吸収能力)

地震動
= f(M, D, S)

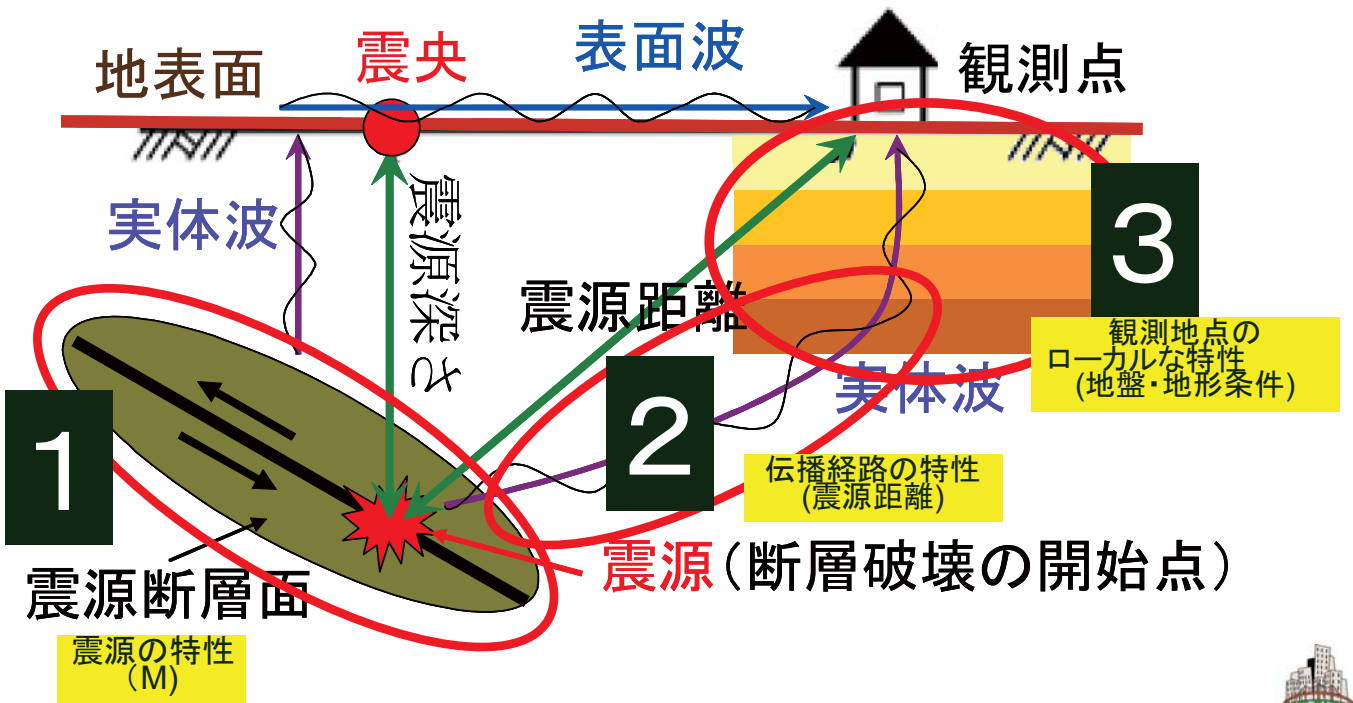
M:マグニチュード
D:震源距離
S:地盤・地形条件

地震動と被害との関係を特徴付ける3つの特性

（兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で記録された加速度記録）



構造物被害に大きな影響を及ぼす地震動の重要な3つ性質とそれを決める3要因



地震動の重要な性質と決定要因の関係

重要な３つの性質

a1）地震動の最大振幅（振幅が大きいほど）

a2）主要動の継続時間（継続時間が長いほど）

a3）周波数（周期）特性（固有周期に近いほど）

重要な３つの決定要因

b1）地震のマグニチュード

b2）震源距離（観測点から震源までの距離）

b3）地形と表層地盤の影響

被害に直結する地震動の重要な性質と決定要因

		地震動の決定要因（他の２つを固定して考える）		
		b1 Mが大きければ	b2 震源距離が長ければ	b3 軟らかければ
地震動の重要な性質	a1 最大振幅			
	a2 主要動の継続時間			
	a3 周波数特性			

構造物の被害のメカニズム

M:マグニチュード
D:震源距離
S:地盤・地形条件

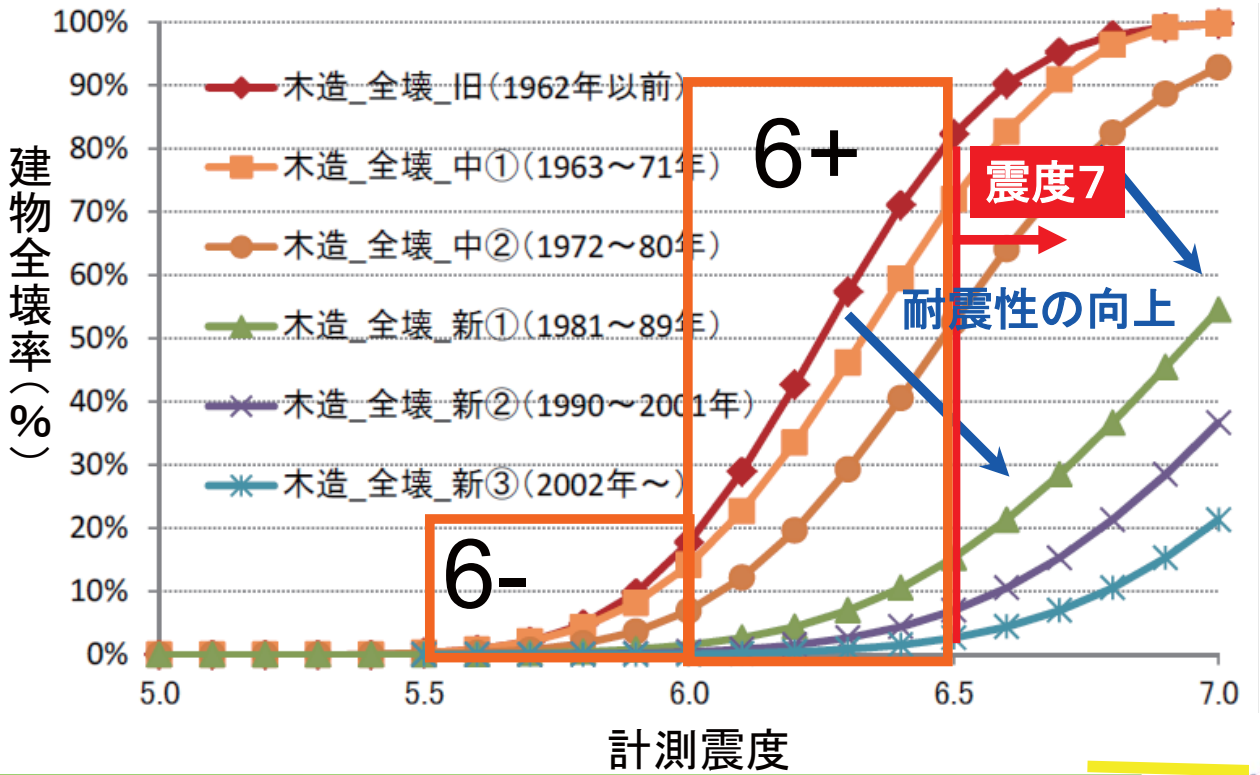
地震動
= f(M, D, S)

構造物の被害
= 耐震性 x 地震動

耐震性=g(強度, 変形能力, エネルギー吸収能力)

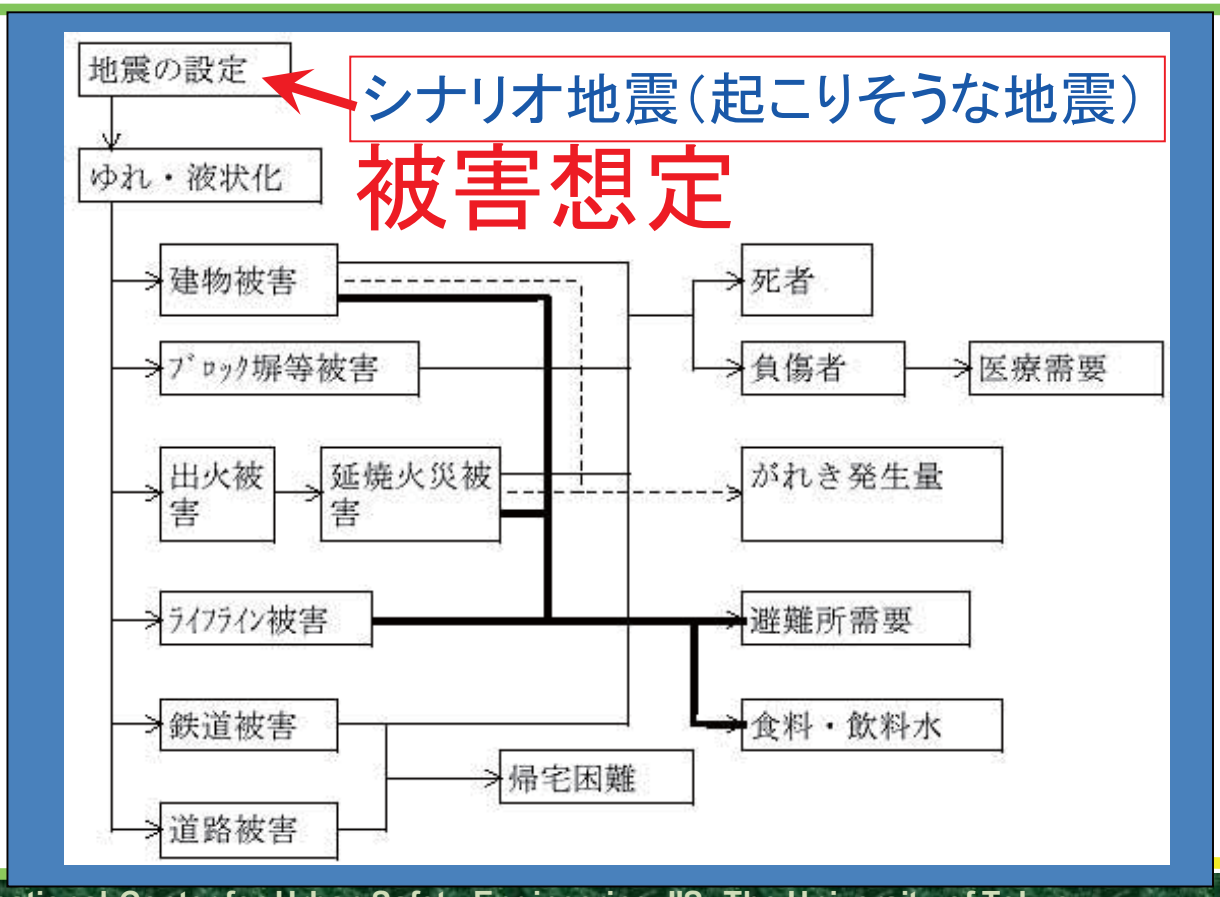
3種類
(a) 耐震補強
(b) 制震補強
(c) 免震補強

木造建物の全壊率



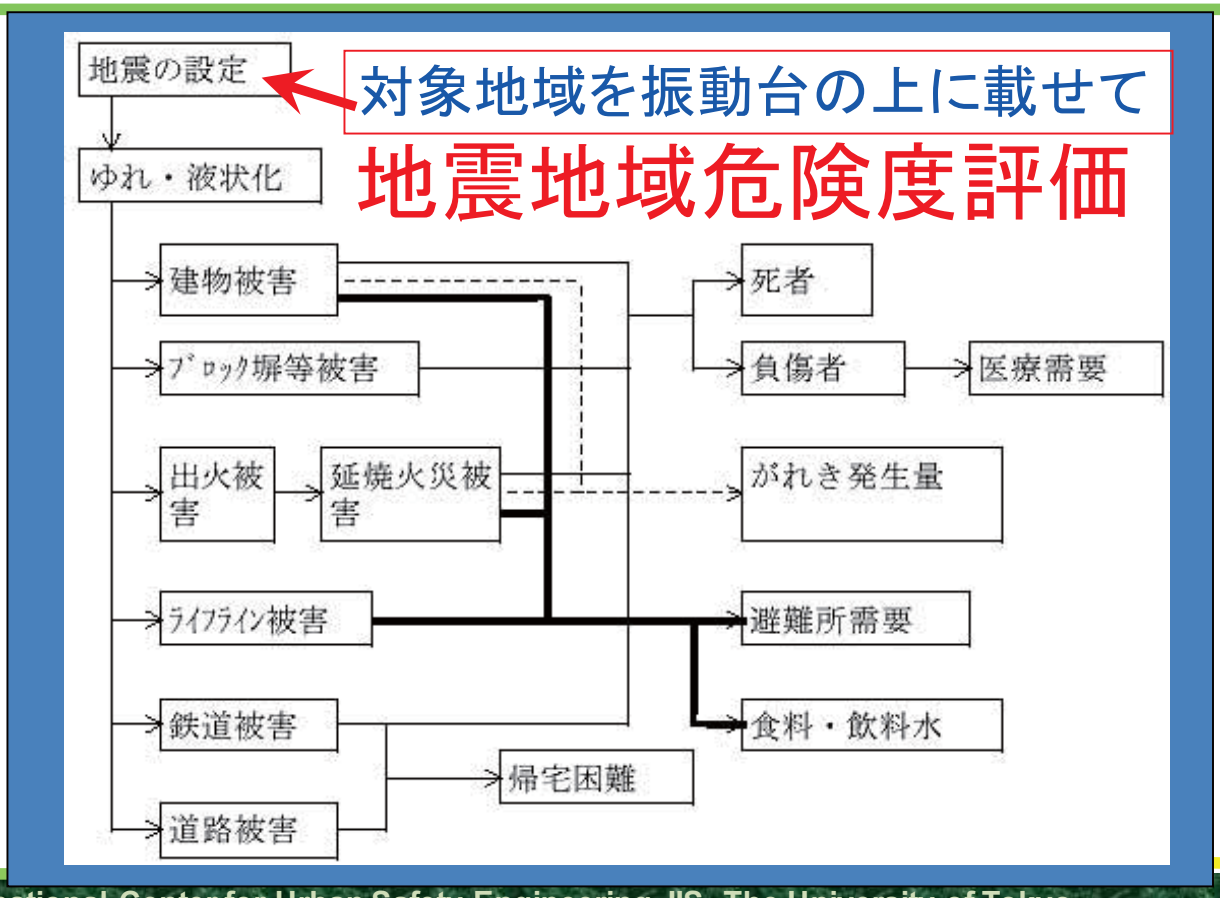
被害想定と地震地域危険度評価の流れ

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering



被害想定と地震地域危険度評価の流れ

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering



地震地域危険度評価

地震による被害の程度

地震そのものの要因

地震の強さ・震源位置・発生する時刻など

地域の持つ危険な要因

直後の地震の被害

物的被害：ゆれによる建物被害と延焼被害

人的被害：上の2つ＋避難困難による被害

都内の5073町丁目の危険性を相対的に評価：

建物，火災，避難の面から1～5でランク付け

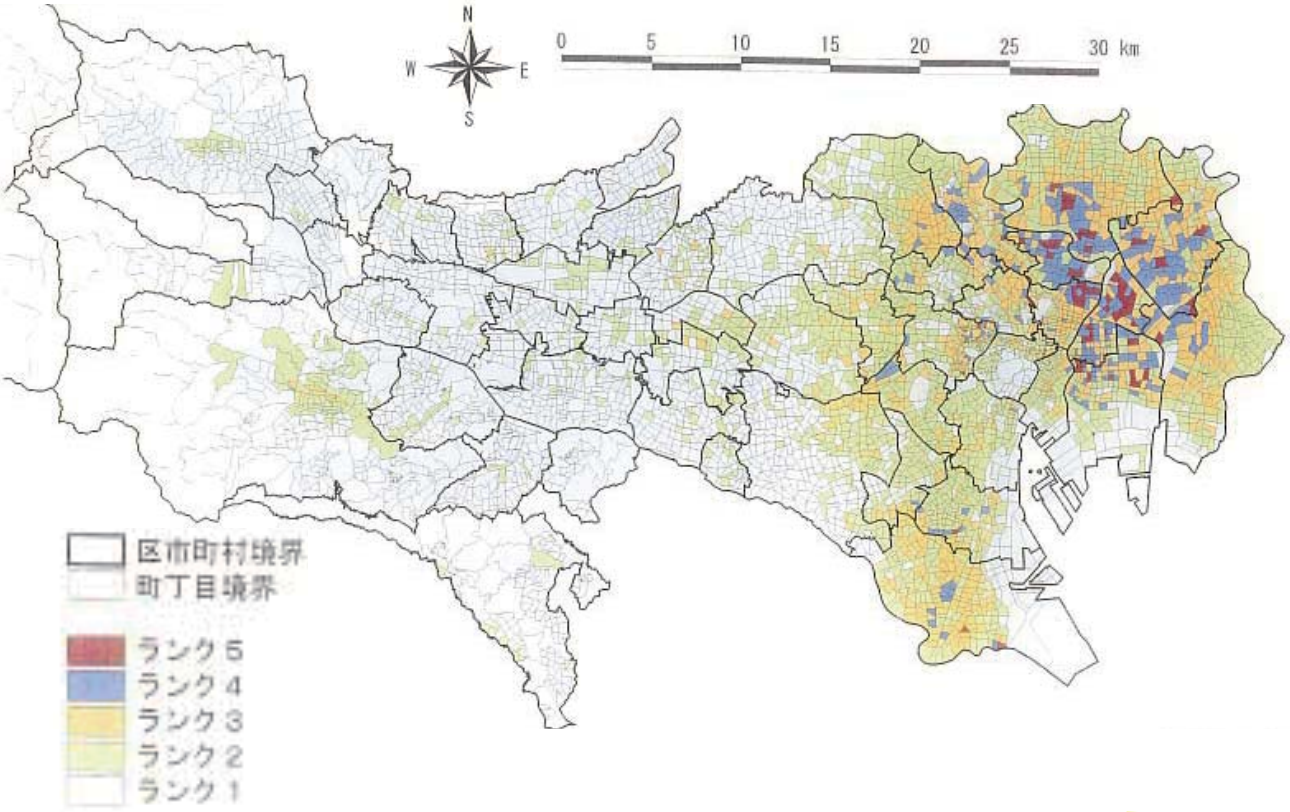
地震地域危険度評価

工学的基盤より
上部の東京を
振動台の上で揺らす

建物倒壊危険度，火災危険度，避難危険度を町丁目ごとに5ランクに分けて**相対的に評価**する．建物倒壊危険度，火災危険度，避難危険度を合わせて**総合危険度**として表す．ランクの数が大きいほど，相対的な危険が増す．

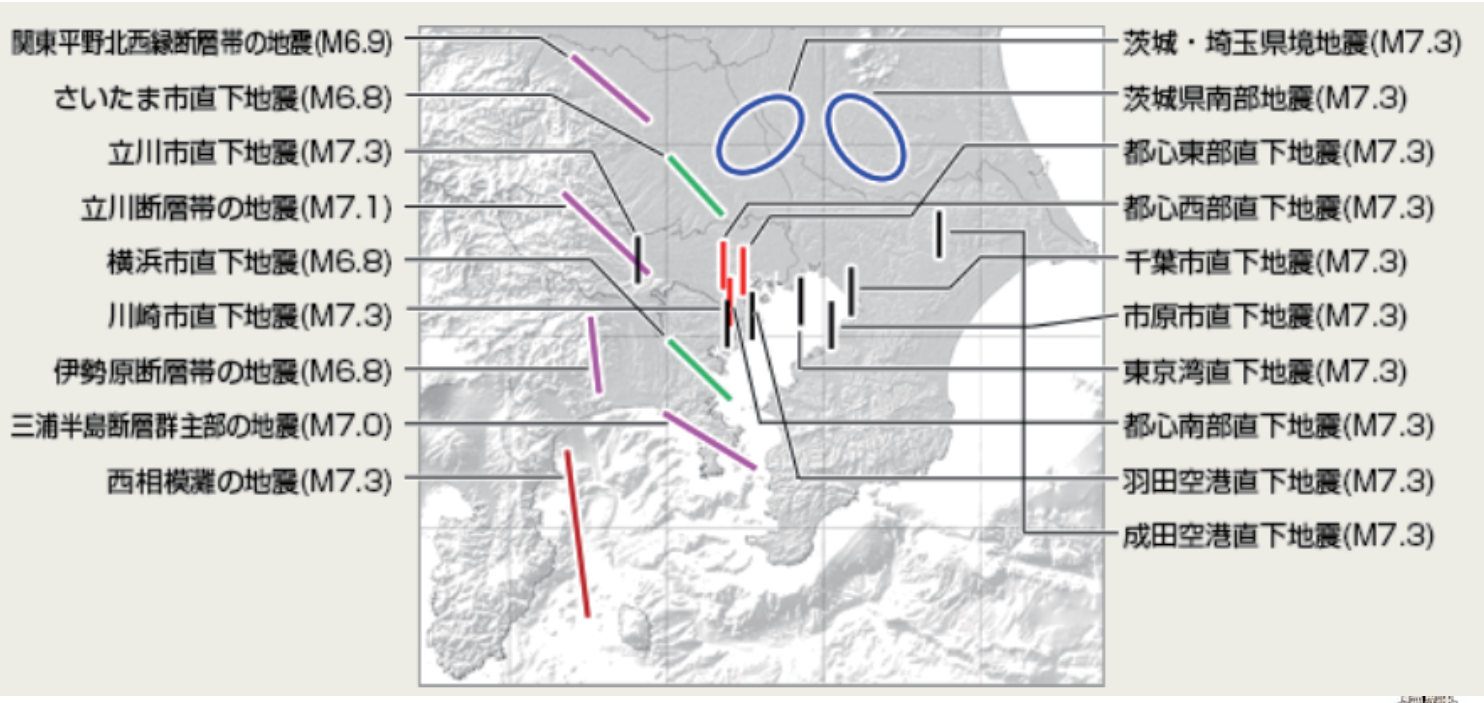
ランク5	1.64%
ランク4	5.55%
ランク3	15.83%
ランク2	31.83%
ランク1	45.15%

一例として（建物倒壊危険度）



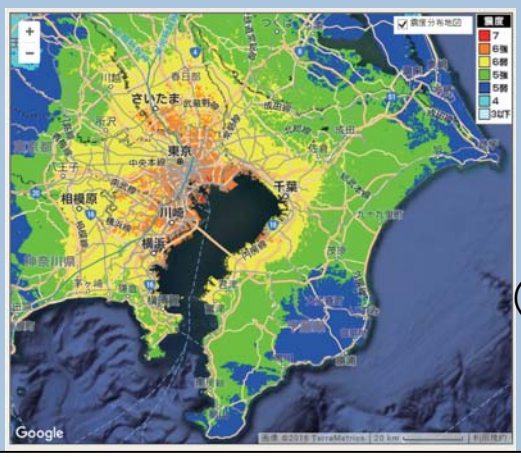
M7級の想定首都直下地震（19タイプ）

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering



公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

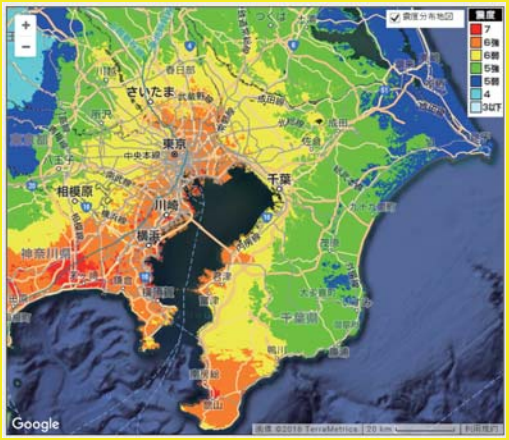
震度分布



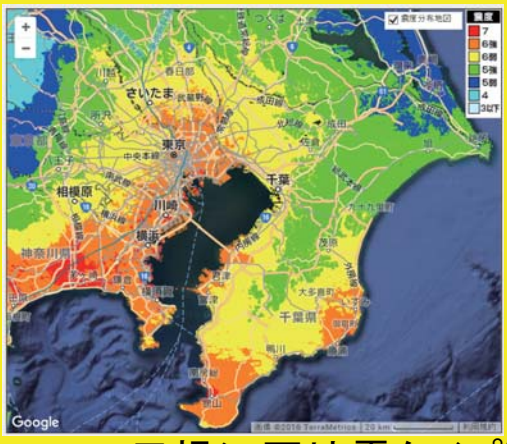
M7級

（M7.3，都心南部直下）

M8級



（M8.2，関東地震タイプ）



（M8.5，元禄江戸地震タイプ）

被害想定項目の一覧

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

1. 建物被害
- 1.1 揺れによる被害
- 1.2 液状化による被害
- 1.3 津波による被害
- 1.4 急傾斜地崩壊による被害
- 1.5 地震火災による被害

2. 屋外転倒、落下物の発生
- 2.1 ブロック塀・自動販売機等の転倒
- 2.2 屋外落下物の発生

3. 人的被害
- 3.1 建物倒壊等による被害
- 3.2 津波による被害
- 3.3 急傾斜地崩壊による被害
- 3.4 火災による被害
- 3.5 ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物による被害
- 3.6 屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による被害
- 3.7 揺れによる建物被害に伴う要救助者（自力脱出困難者）
- 3.8 津波被害に伴う要救助者・要捜索者

4. ライフライン被害
- 4.1 上水道
- 4.2 下水道
- 4.3 電力
- 4.4 通信
- 4.5 ガス（都市ガス）

5. 交通施設被害
- 5.1 道路（高速道路、一般道路）
- 5.2 鉄道
- 5.3 港湾
- 5.4 空港

6. 生活への影響
- 6.1 避難者
- 6.2 帰宅困難者
- 6.3 物資
- 6.4 医療機能
- 6.5 保健衛生、防疫、遺体処理等

7. 災害廃棄物等
- 7.1 災害廃棄物等

8. その他の被害
- 8.1 エレベータ内閉じ込め
- 8.2 長周期地震動による高層ビル等への影響
- 8.3 道路閉塞
- 8.4 道路上の自動車への落石・崩土
- 8.5 交通人的被害（道路）
- 8.6 交通人的被害（鉄道）
- 8.7 災害時要援護者
- 8.8 震災関連死
- 8.9 造成宅地
- 8.10 危険物・コンビナート施設
- 8.11 大規模集客施設等
- 8.12 地下街・ターミナル駅
- 8.13 文化財
- 8.14 堰堤・ため池等の決壊
- 8.15 海岸保全施設・河川管理施設の沈下等
- 8.16 複合災害
- 8.17 治安
- 8.18 社会経済活動の中枢機能への影響
- 8.19 行政の災害応急対策等への影響

9. 被害額
- 9.1 資産等の被害
- 9.2 生産・サービス低下による影響
- 9.3 交通寸断による影響
- 9.4 防災・減災対策の効果の試算

灰色の項目は、被害の様相に加え、定量的な評価も実施

前提となる建物棟数と人口

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

	建物棟数（棟）			人口（人）		
	木造棟数	非木造棟数	合計	深夜	昼	夕
茨城県	約 954,000	約 328,000	約 1,282,000	約 2,979,000	約 2,835,000	約 2,835,000
栃木県	約 706,000	約 282,000	約 988,000	約 2,007,000	約 1,988,000	約 1,980,000
群馬県	約 726,000	約 290,000	約 1,015,000	約 2,007,000	約 1,994,000	約 1,985,000
埼玉県	約 1,690,000	約 542,000	約 2,232,000	約 7,209,000	約 6,033,000	約 6,176,000
千葉県	約 1,530,000	約 443,000	約 1,973,000	約 6,196,000	約 5,301,000	約 5,364,000
東京都	約 1,853,000	約 757,000	約 2,610,000	約 13,134,000	約 16,216,000	約 15,731,000
うち都区部	約 1,102,000	約 532,000	約 1,634,000	約 8920,000	約 12,505,000	約 12,023,000
神奈川県	約 1,616,000	約 602,000	約 2,218,000	約 9,060,000	約 7,922,000	約 8,002,000
山梨県	約 335,000	約 142,000	約 477,000	約 863,000	約 852,000	約 849,000
静岡県	約 1,144,000	約 558,000	約 1,702,000	約 3,764,000	約 3,738,000	約 3,721,000
合計	約 10,553,000	約 3,944,000	約 14,497,000	約 47,219,000	約 46,878,000	約 46,643,000

※建物棟数：平成 23 年 1 月 1 日現在の「固定資産の価格等の概要調書」（総務省）に基づく。

※人口：平成 22 年国勢調査及び平成 20 年東京都市圏パーソントリップ調査に基づく推定値

1．建物などの被害（都心南部直下地震の場合）

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

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）

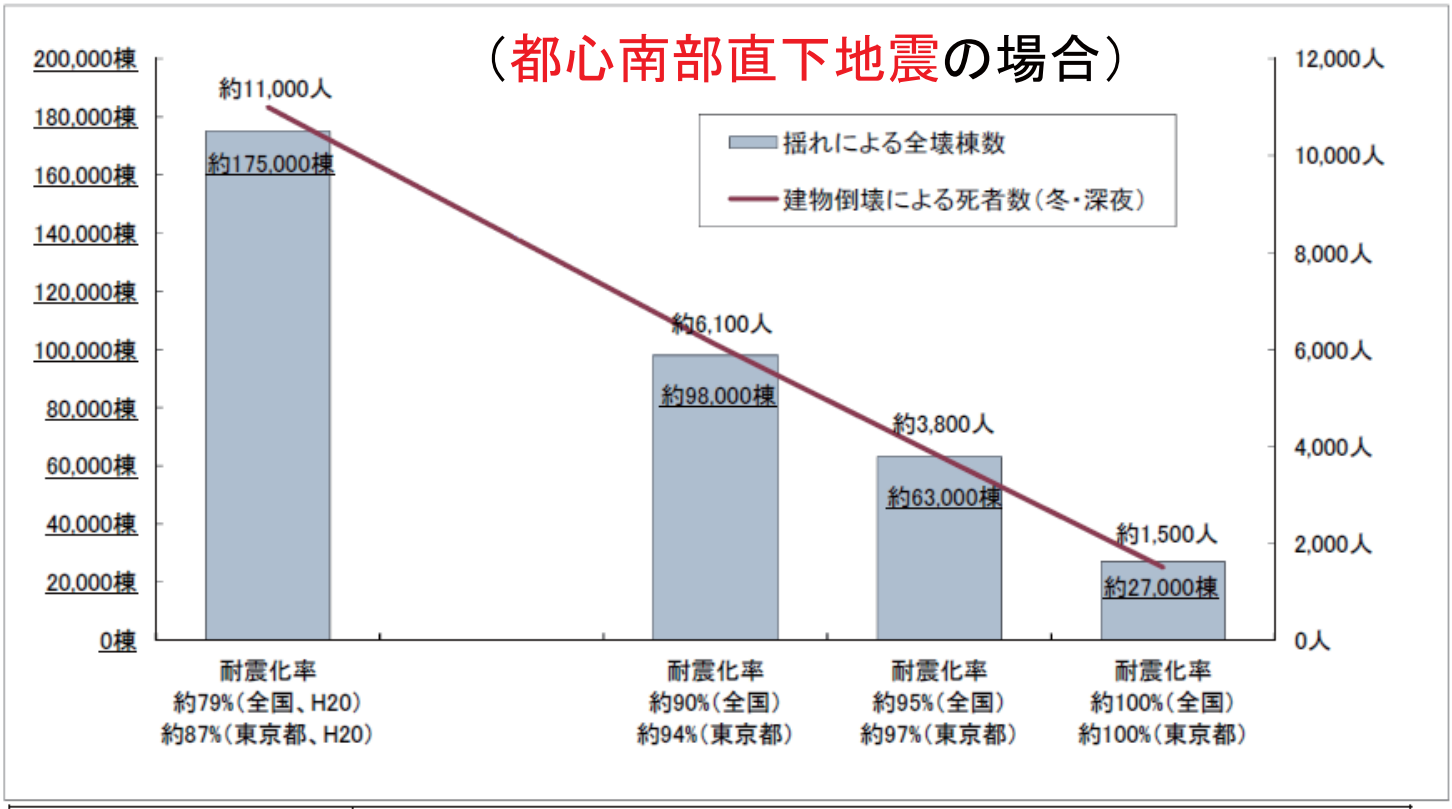
住家がその居住のための基本的機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの、または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもの。なお、建物の構造的な倒壊・崩壊はこの全壊に含まれる。

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 まで地盤面下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。

2. 被害（都心南部直下地震の場合）

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 3,800 人	約 500 人 ～約 900 人	約 5,700 人 ～約 10,000 人
	風速8m/s	約 3,800 人 ～約 7,000 人	約 900 人 ～約 1,700 人	約 8,900 人 ～約 16,000 人
ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物による死者		約 10 人	約 200 人	約 500 人
死者数合計	風速3m/s	約 13,000 人 ～約 15,000 人	約 5,000 人 ～約 5,400 人	約 13,000 人 ～約 17,000 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
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

建物の耐震性の強化の影響（建替・補強）



家具等の転倒防止対策の効果

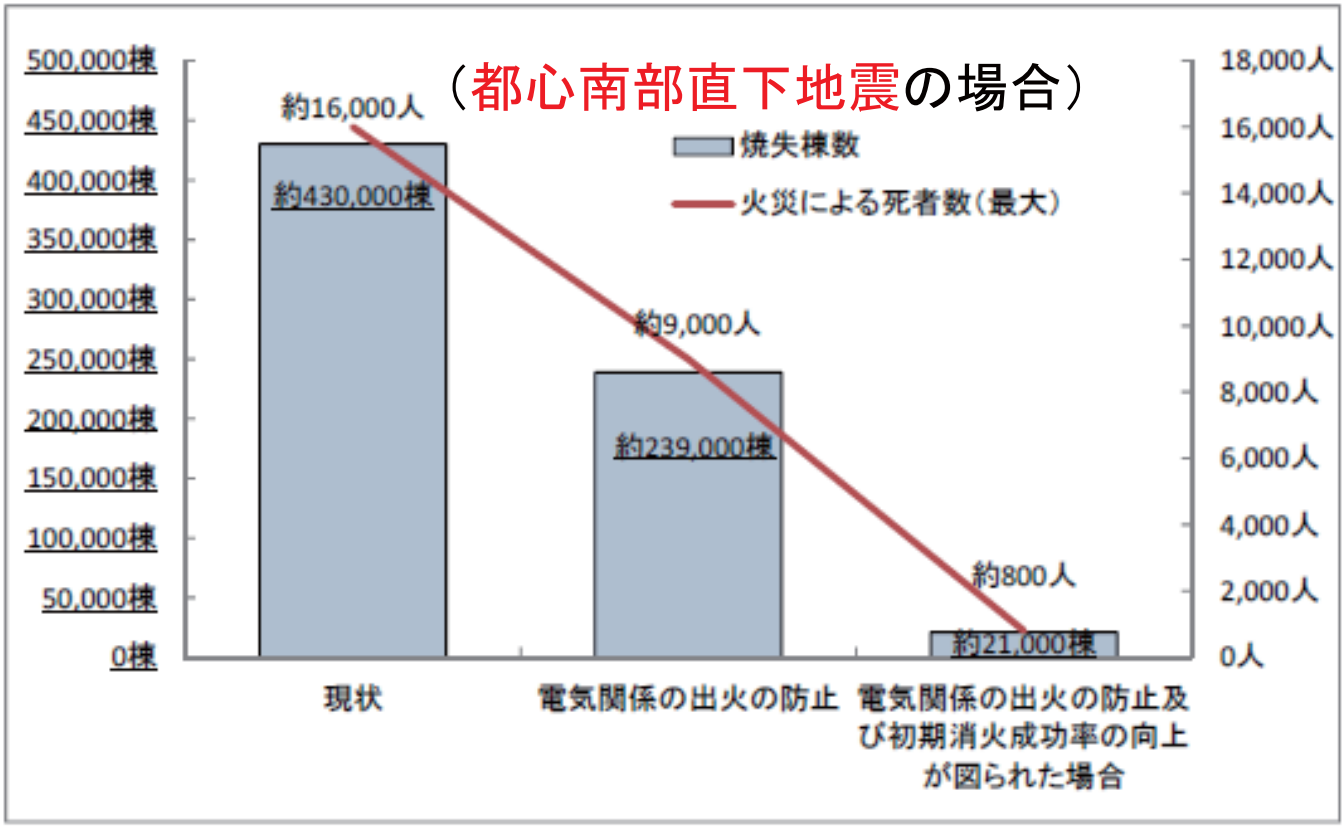
（都心南部直下地震の場合）

	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

※屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による死者数は、建物被害による死者数と区別が難しいため、数字は参考である。

※家具等の転倒・落下防止対策自体が 100%進んでも、固定方法や壁の状況等によっては効果を発揮せず、転倒･落下被害が発生するおそれがある。家具等の設置状況に応じて、さらに適切な転倒・落下防止対策を実施する必要がある。

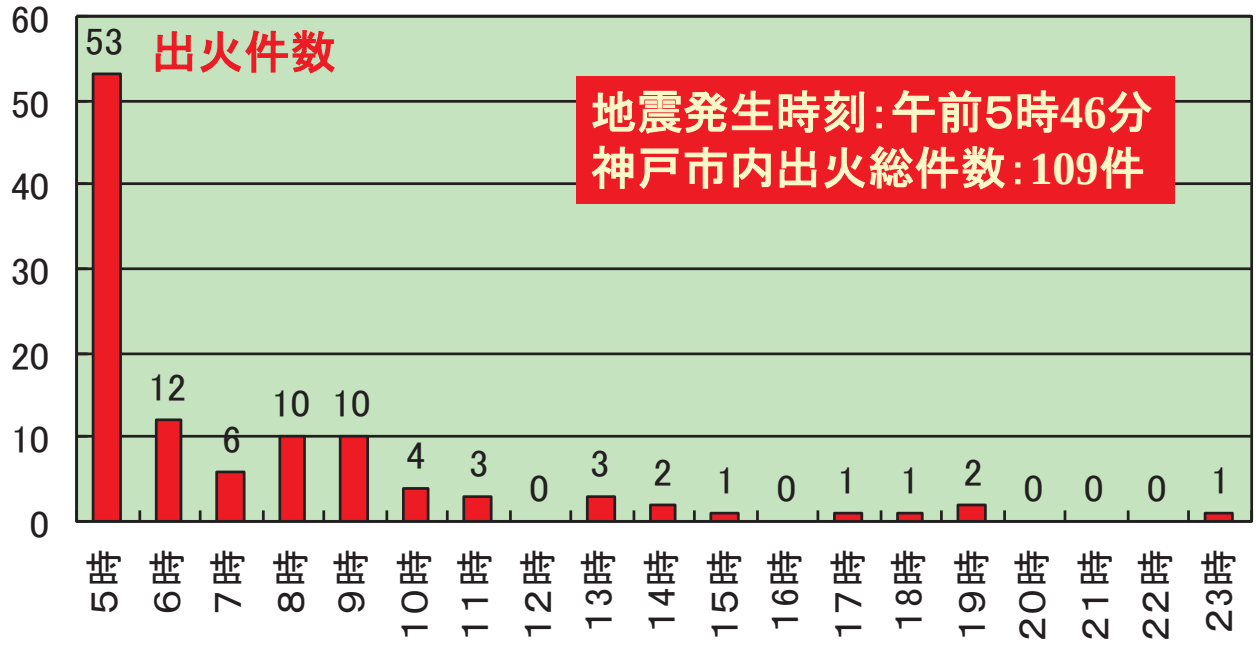
出火防止対策の効果

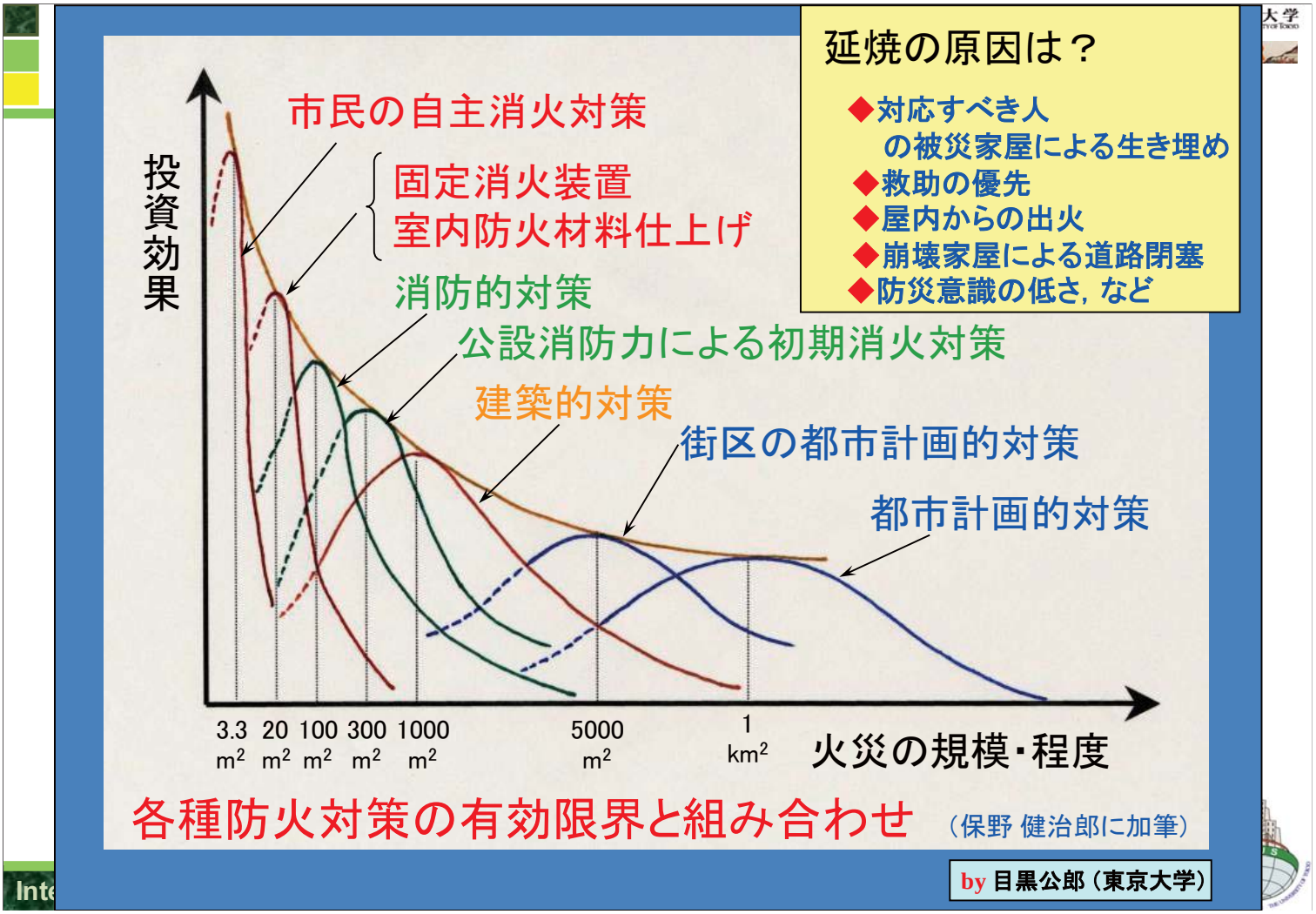


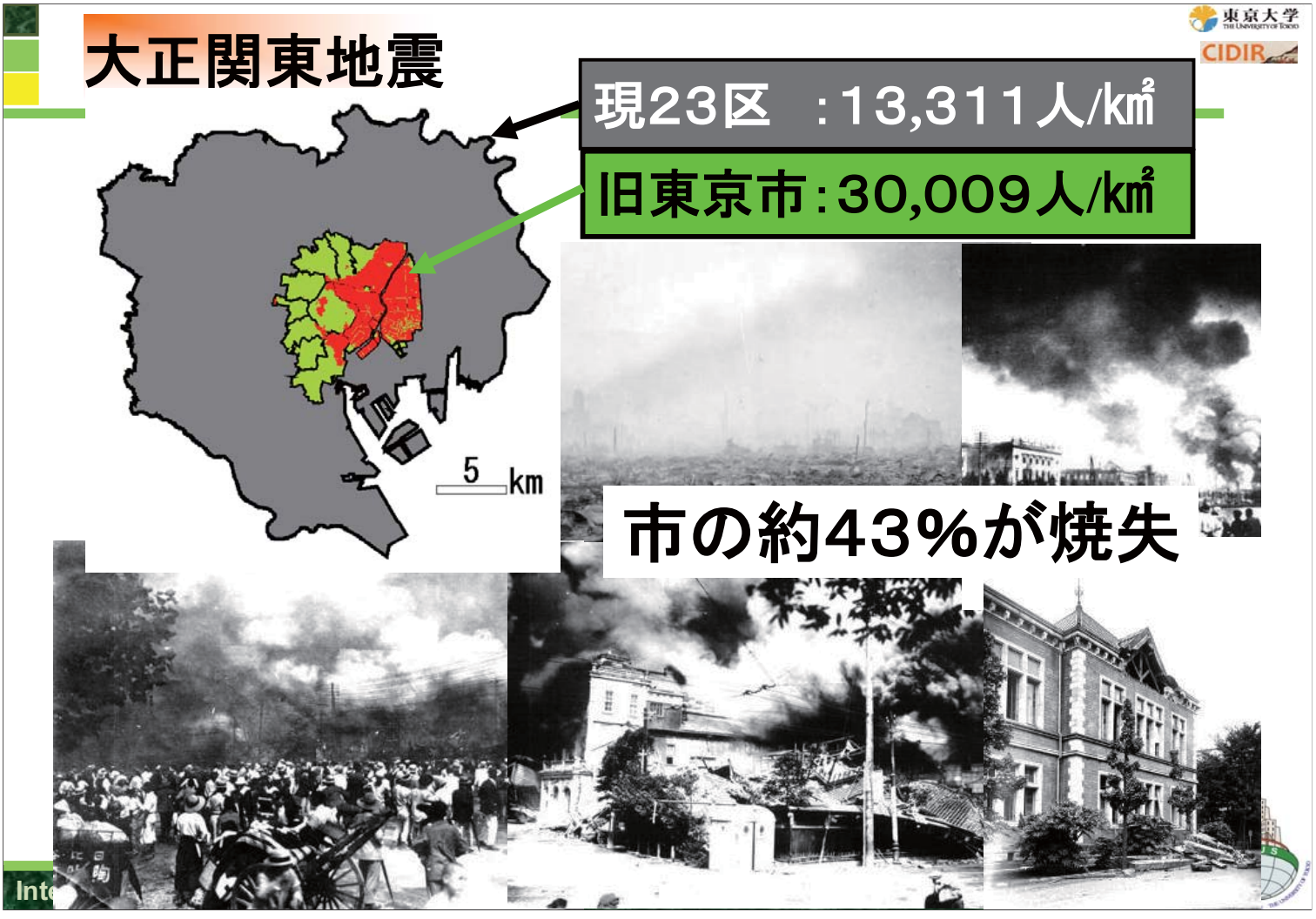
震後火災に対する建物の耐震性の影響

地震当日(1/17)に神戸市内に発生した火事

(神戸市消防局調べ)




延焼の原因は？
◆対応すべき人
の被災家屋による生き埋め
◆救助の優先
◆屋内からの出火
◆崩壊家屋による道路閉塞
◆防災意識の低さ，など
投資効果
市民の自主消火対策
固定消火装置
室内防火材料仕上げ
消防的対策
公設消防力による初期消火対策
建築的対策
街区の都市計画的対策
都市計画的対策
3.3 m²
20 m²
100 m²
300 m²
1000 m²
5000 m²
1 km²
火災の規模・程度
各種防火対策の有効限界と組み合わせ
（保野 健治郎に加筆）
by 目黒公郎（東京大学）


大正関東地震
現23区　：13,311人/㎢
旧東京市：30,009人/㎢
5 km
市の約43%が焼失

研究の背景

関東地震の教訓

「自分ガ今回ノ地震ニツキ特ニ印象ヲ深クシタノハ**家屋ノ耐火能力**デアル‥」

今村明恒;震災豫防調査會幹事

「都市復興ト**消防充実**ノ急務」

緒方惟一郎;警視庁消防部長

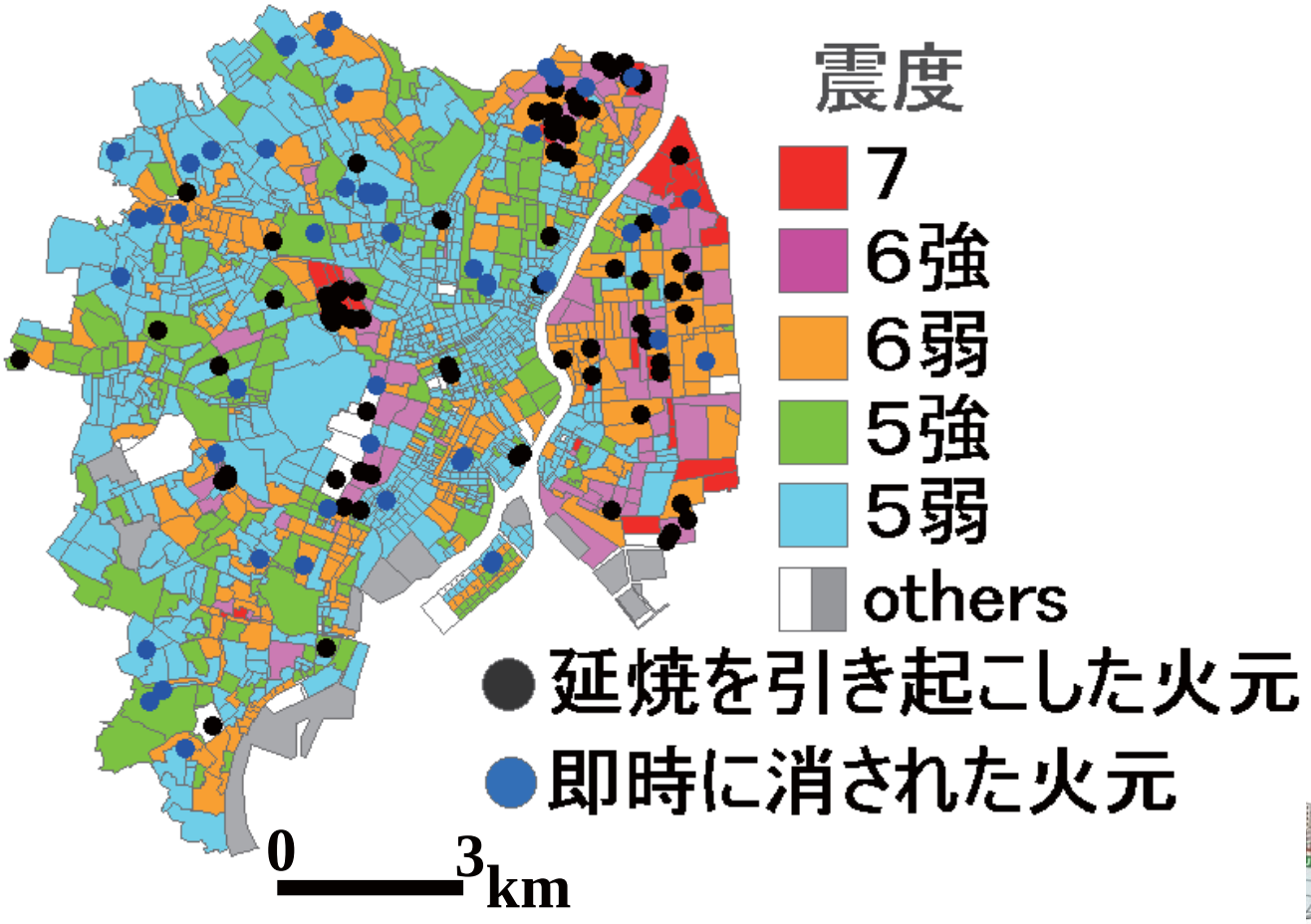
「**地震ヨリハ火災ノ方ガ怖イ**.
‥吾人ハ地震ガ襲来シタ時ニ其**災害ヲ小ナラシメル設備**ヲ為シウルノミデアル」

中村清二;震災豫防調査會委員

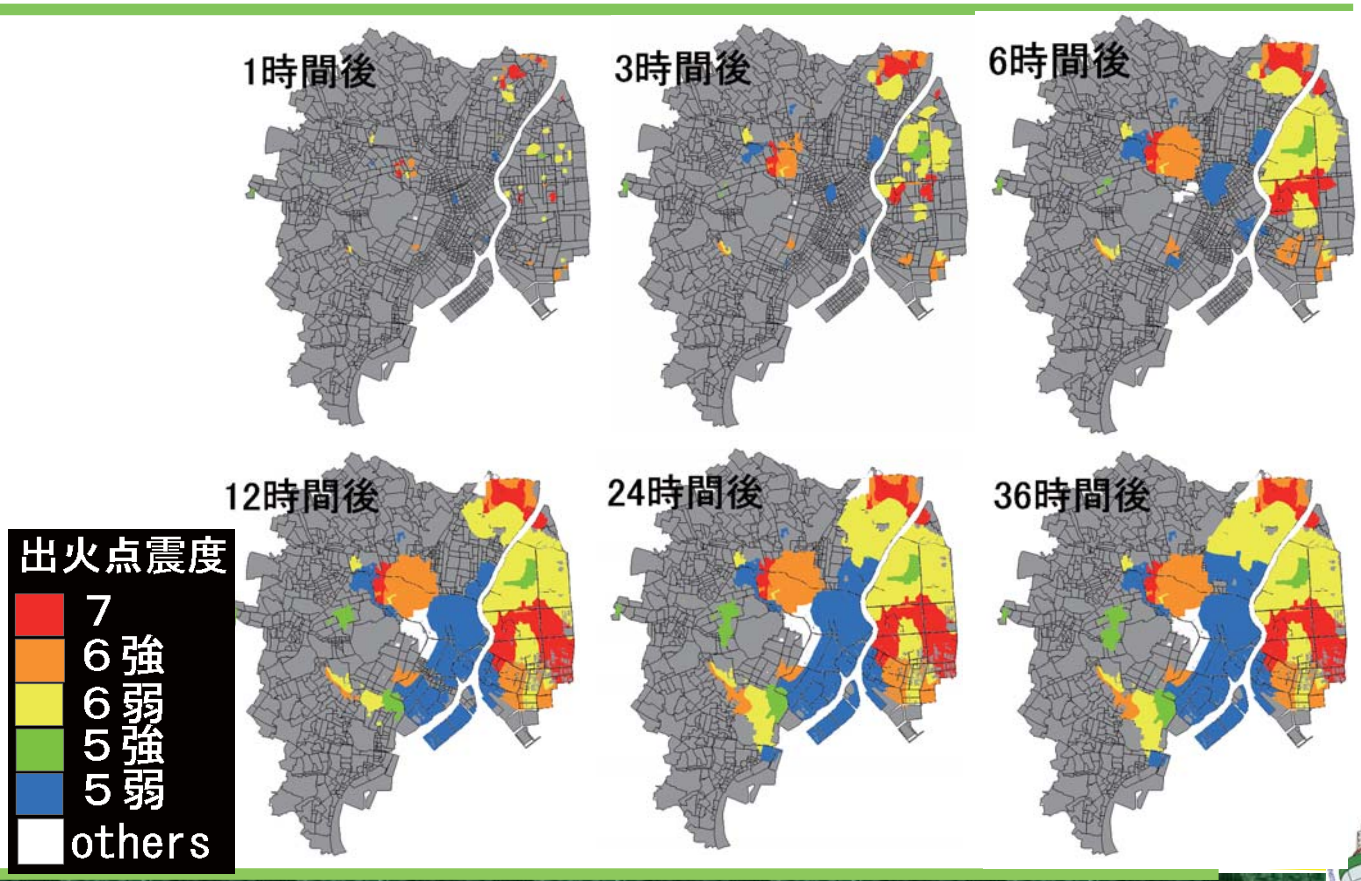
「完全ナ水道設備以外ニ**消火用ノ井戸, 貯水池, 非常用ノ公園, 広場ナドノ避難場所**ヲ設置スルコトハ強チ無用デナイ」

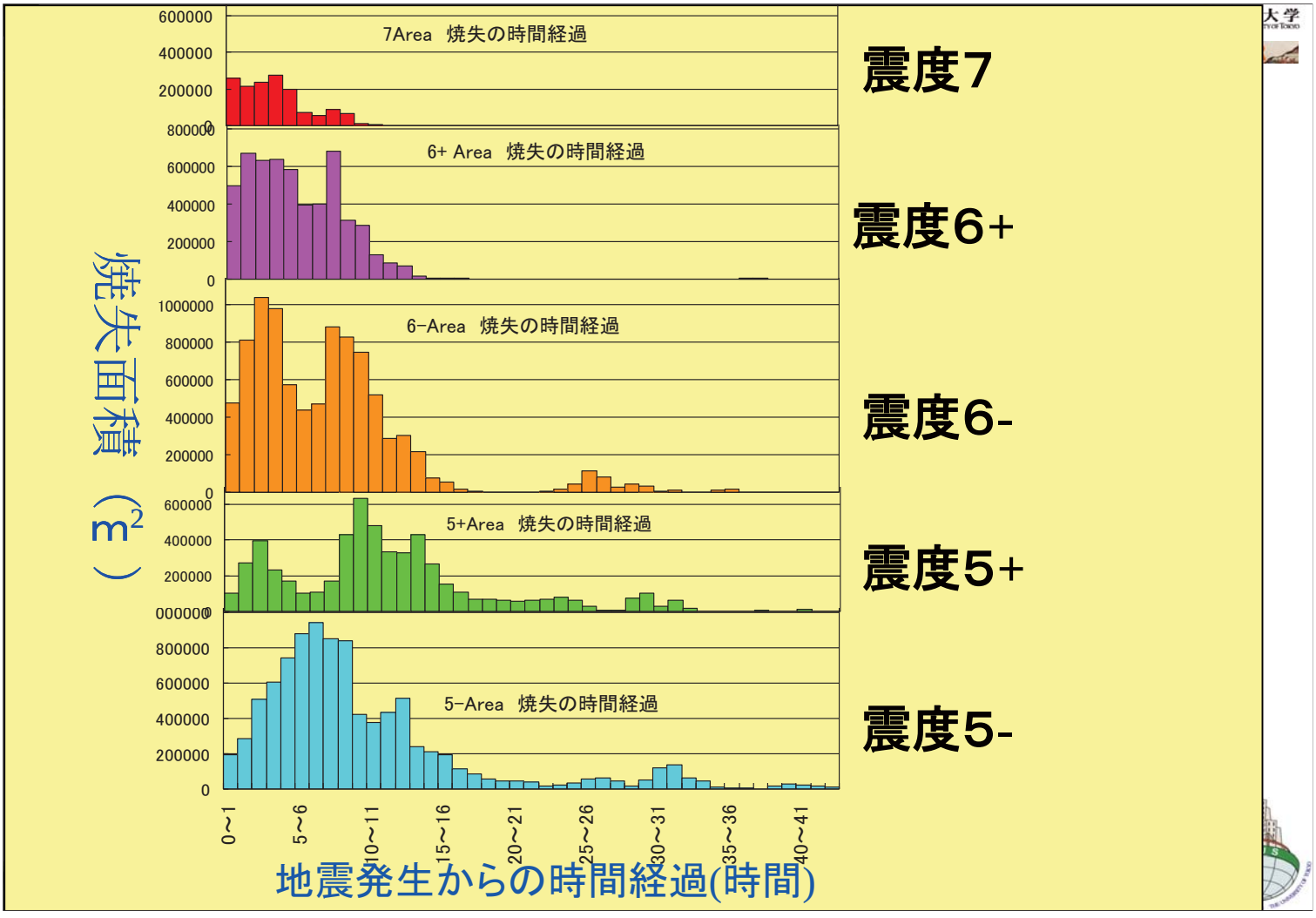
井上一之:警視庁保安部建築課

出火点と建物被害の重ね合わせ

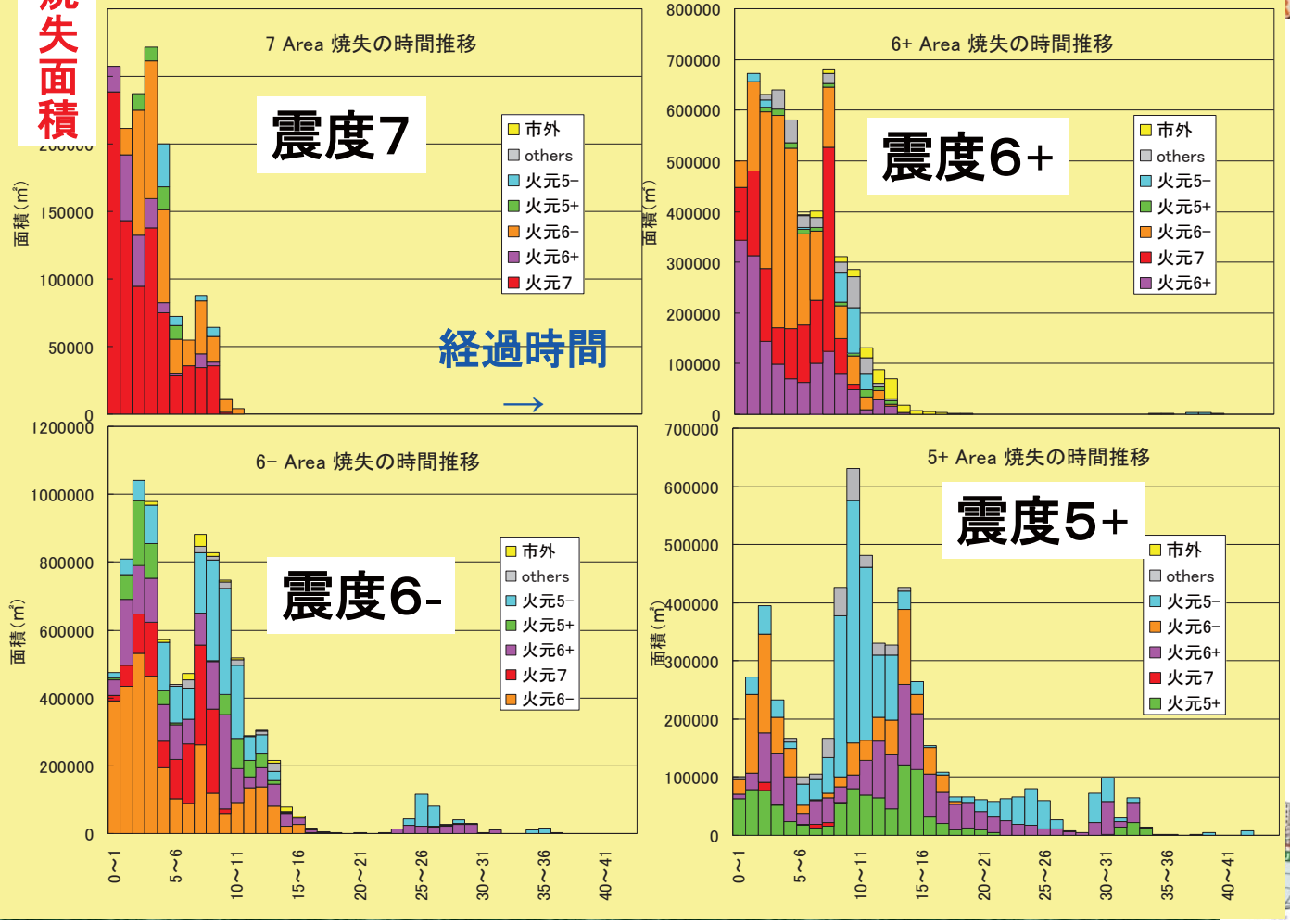


出火元震度と延焼火災の関係



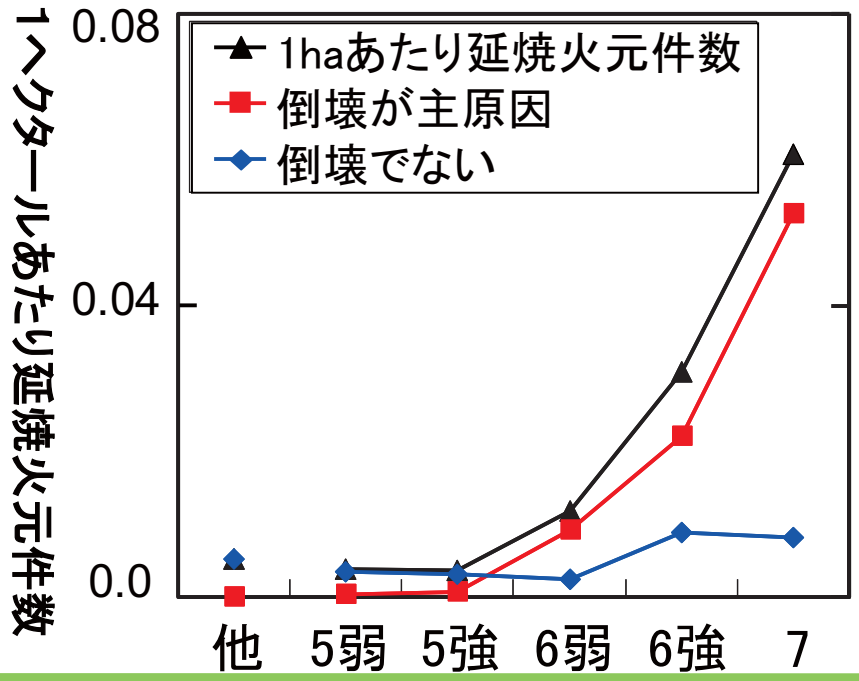


焼失面積



延焼を引き起こした火元と建物被害の関係

震度別の1haあたり延焼火元件数

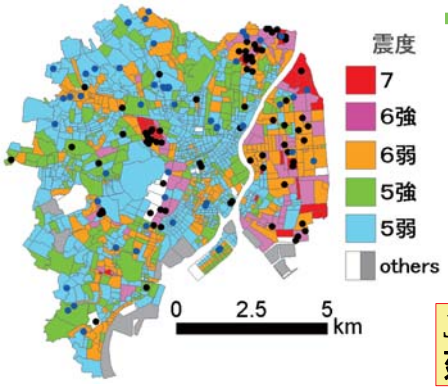


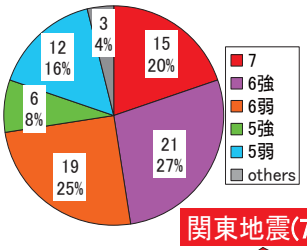
建物を倒壊させないことで，延焼を引き起こす火元の数を大幅に削減できる

延焼火災の出火点と震度

関東大震災

震度6以上72%





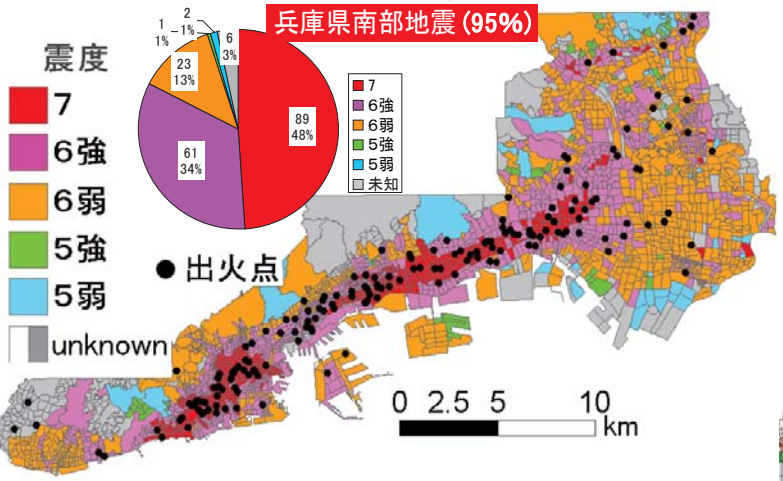
関東地震(72%)

JMA震度6以上の地域での延焼火元の数の割合

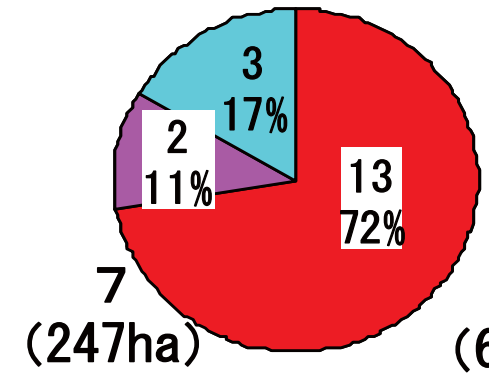
阪神・淡路大震災

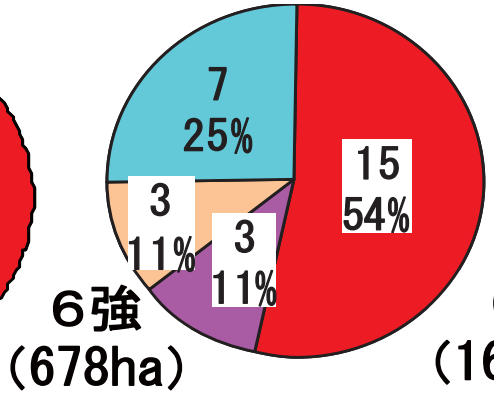
震度6以上95%

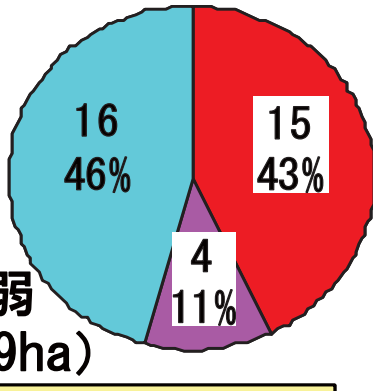
兵庫県南部地震 (95%)

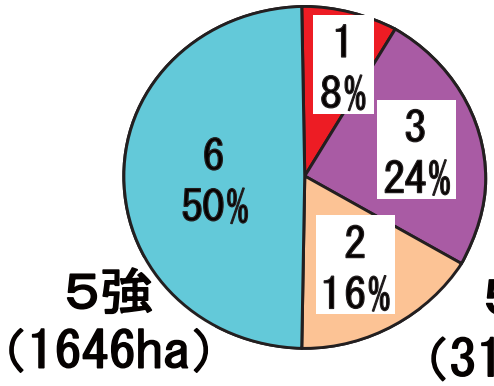


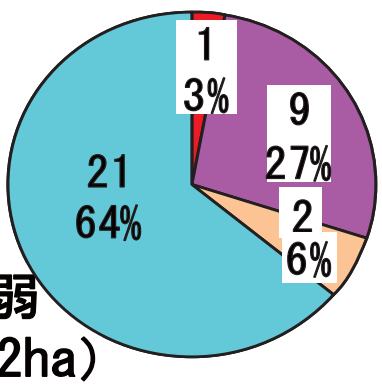
震度別の出火状況

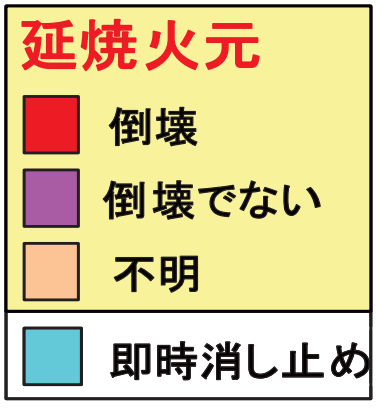






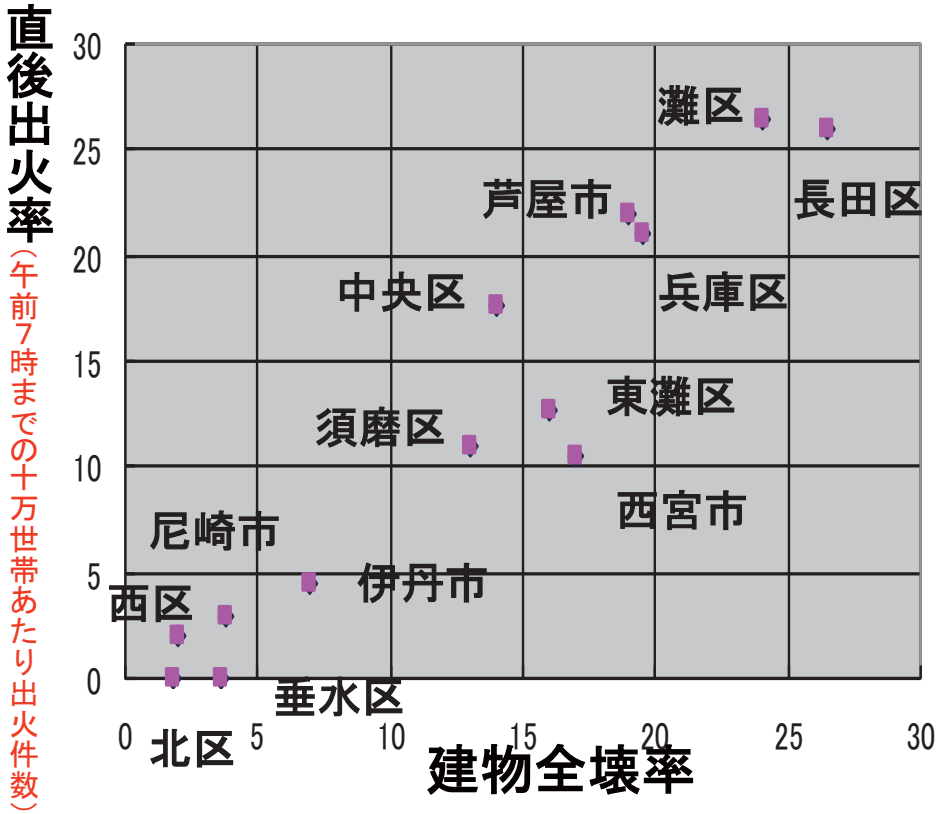






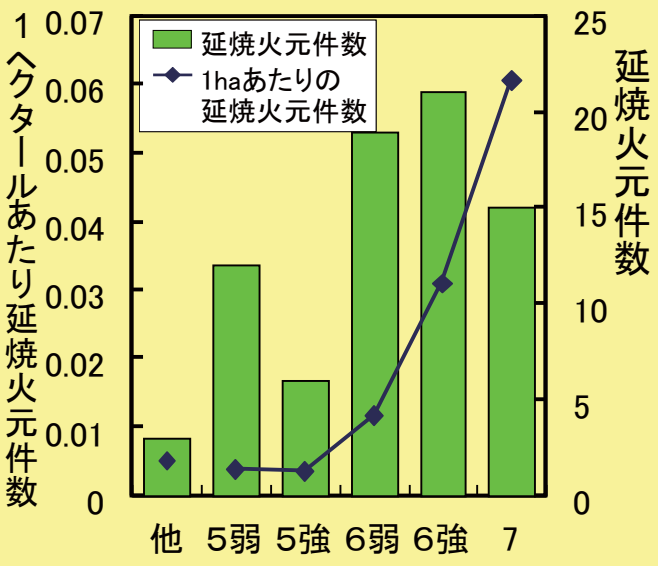
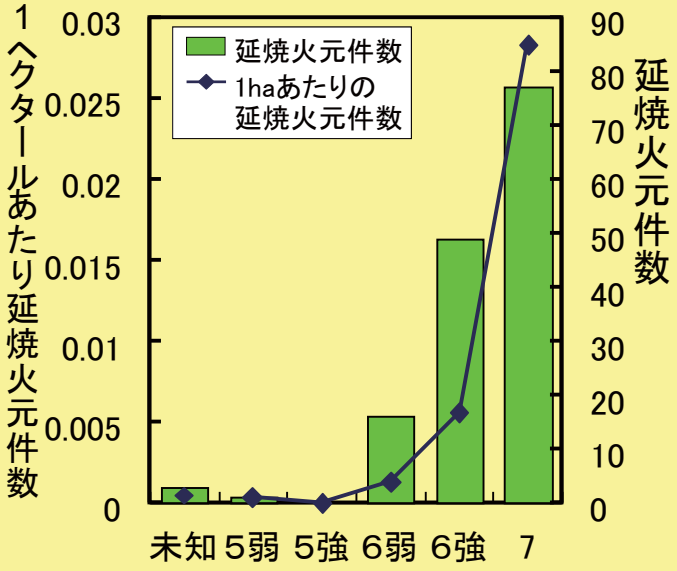
家が壊れると火事が出やすい！

消防庁ホームページより



兵庫県南部地震との比較

関東地震



兵庫県南部地震