

地震工学(第6回)

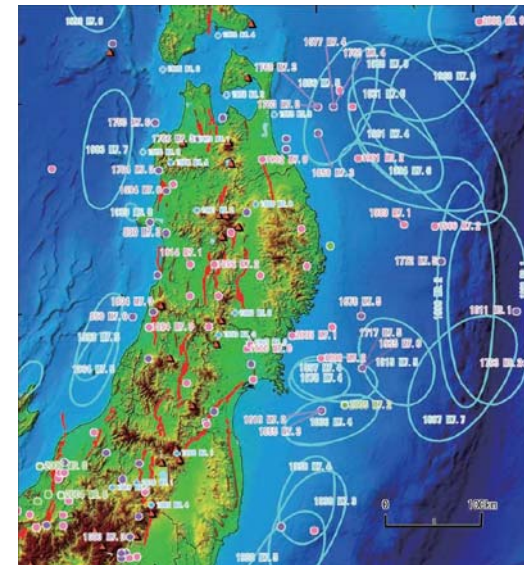
2011年東日本大震災

海溝型超巨大地震と津波・都市型複合災害



工学院大学
建築学部
まちづくり学科
久田嘉章

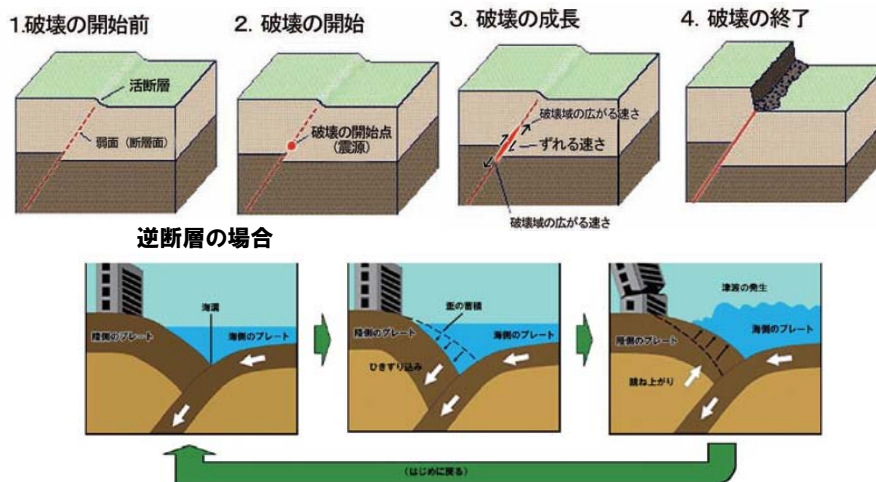
東北地方とその周辺の主な被害地震



- 被害地震 (波源域・震源域)
- 被害地震 (~1884年)
- 被害地震 (1885~2003年)
- 被害地震 (2004~2007年)
- + 群発地震
- 長期評価を行った活断層
- 活断層 (確実度 I, II)
- ▲ 活火山

日本の地震活動(第2版、地震調査研究推進本部、2009)より

地震と津波の起こる仕組み 地震とは断層運動



日本の地震(第2版、地震調査研究推進本部)より

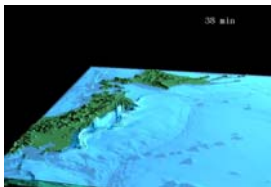
津波のいろは

群馬大学災害社会工学研究室(片田教授)

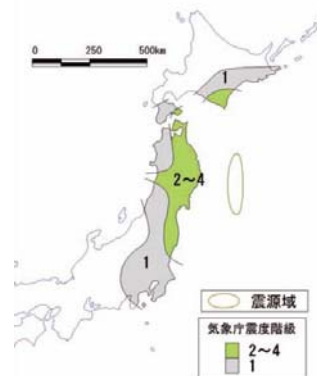
<http://dsel.ce.gunma-u.ac.jp/>

- ◆ **浅水効果**: 海底の水深が浅くなるにつれて、波高が高くなる津波の性質
- ◆ **湾奥での集中効果**: 湾や入り江の奥では、津波のエネルギーが集中する性質
- ◆ **屈折効果**: 津波は水深が浅いほど遅くなるので、浅いほうへ曲がりながら進む性質
- ◆ **岬先端部での集中**: 屈折効果より
- ◆ **湾内トラップ**: 湾内で反射・屈折の繰り返し
- ◆ **境界波**: 陸で反射した津波が沖合いで屈折して再び陸へ戻ってくることを繰り返し、海岸線を沿うように津波が伝播していくことがある

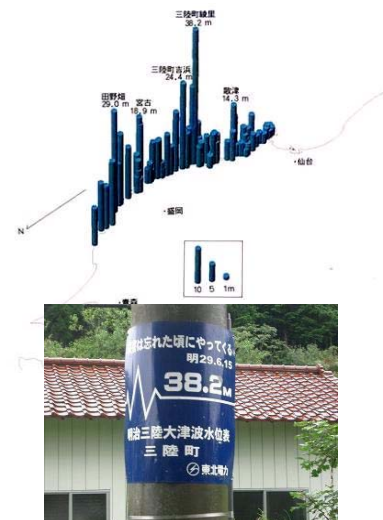
869年 貞観地震 (M8.4以上)



明治三陸地震：津波地震 (1896年6月15日、M8.5)

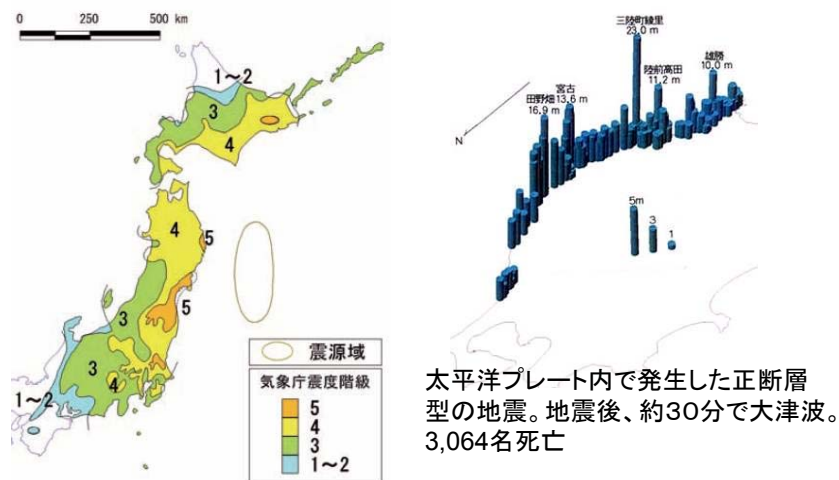


明治の地震は逆断層型のプレート間地震
地震による揺れは非常に小さかった。
このため、津波地震と呼ばれている。
地震後、約30分後に大津波が襲来、
約26,360名が亡くなった。

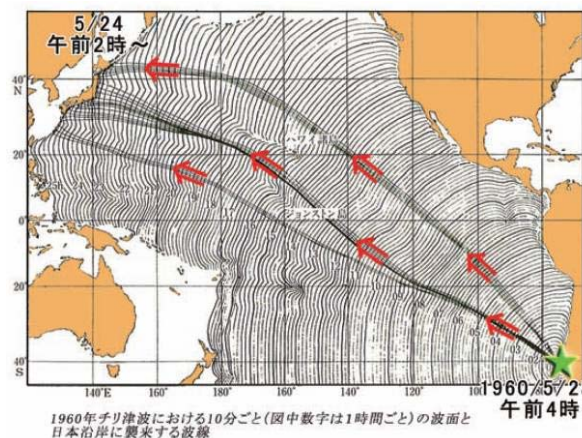


<http://www.bo-sai.co.jp/tunami.htm>

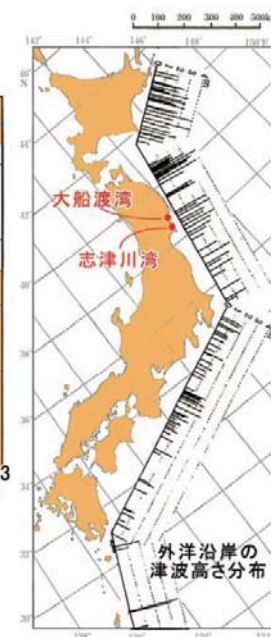
(昭和)三陸地震 (1933年3月3日、M8.1)



1960年チリ地震津波



M9.5の超巨大地震。約23時間後には日本に達し、三陸沿岸を中心に大きな被害を生じた(日本の死者・行方不明者142名)。太平洋津波警報組織国際調整グループ(ICG/ITSU)ができ、津波の早期警報のための国際組織が誕生



2004年スマトラ地震津波

◆ 2004年スマトラ島沖地震 (Mw9.2)

断層長さ: 1000km以上、
断層すべり: 30m以上

- ◆ 被害概要: 死者約23万名
被災者は500万名以上
- ◆ 津波被害はインドネシア・タイ
インド・などインド洋全域
- ◆ 長周期地震動でシンガポールの
超高層建築でパニック
- ◆ NHKスペシャル

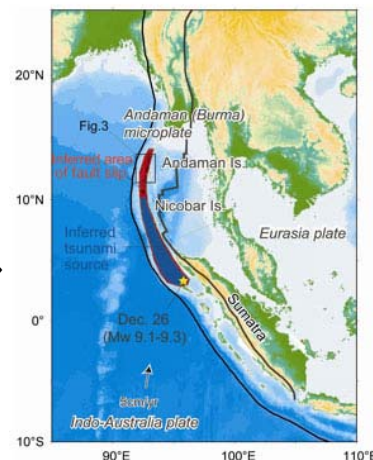
「インド洋大津波(2004)」

なぜ、人は逃げなかったのか？



Video

産業総合研究所
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2007/pr20070126/pr20070126.html

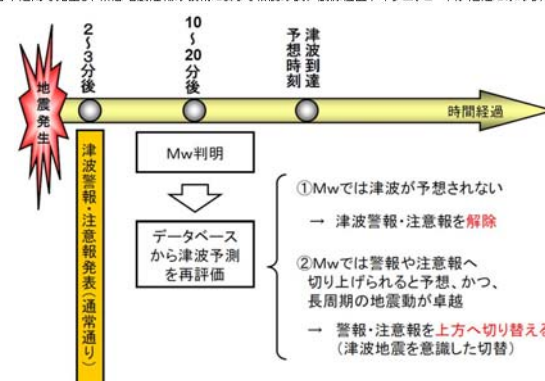


津波警報・注意報(2013年改定前)

津波警報・注意報の種類

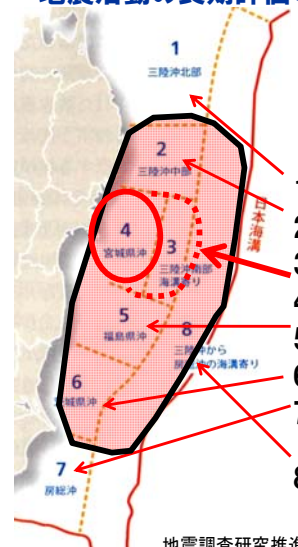
種類	解説	発表される津波の高さ
津波警報	大津波 高いところで3m程度以上の津波が予想されますので、厳重に警戒してください。	3m, 4m, 6m, 8m, 10m以上
津波	津波 高いところで2m程度の津波が予想されますので、警戒してください。	1m, 2m
津波注意報	津波注意報 高いところで0.5m程度の津波が予想されますので、注意してください。	0.5m

※日本近海で発生し、緊急地震速報の技術によって精度の良い震源位置やマグニチュードが迅速に求められる地震



津波警報における速さと正確さの両立は難しい。特に、巨大地震の場合、震源の全体像が分かるには時間がかかるため、速報では小さめに評価してしまう。

2011年東北地方太平洋沖地震の教訓 次の地震は30年99%の確率の「宮城県沖地震」のはずだった！？ 地震活動の長期評価: 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)

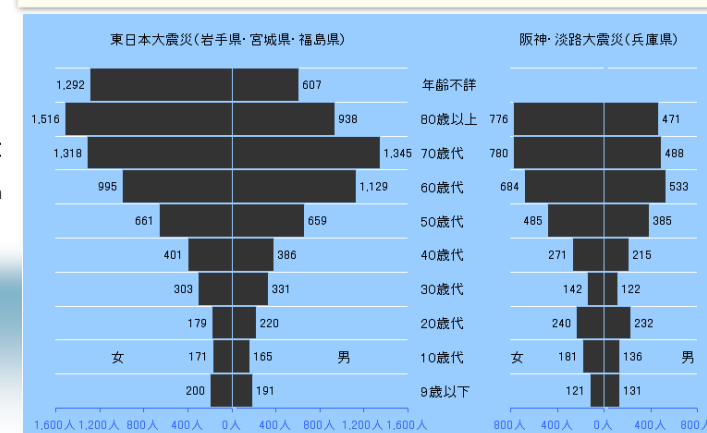
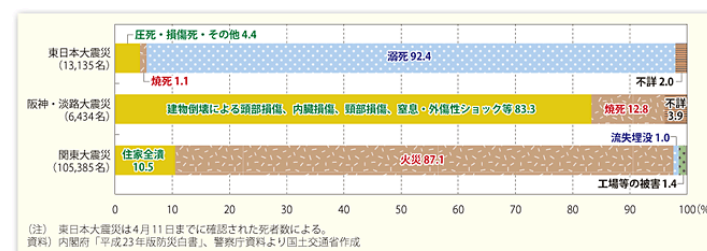
海域	予想されるマグニチュード	今後30年以内の発生確率
1 三陸沖北部	M8.0 前後	0.5%~10%
2 三陸沖中部	(過去に大地震がなく評価不能)	
3 三陸沖南部海溝寄り	M7.7 前後	連動時は 80%~90%
4 宮城県沖	M7.5 前後	99%
5 福島県沖	M7.4 前後 (複数地震が続発)	7%程度以下
6 茨城県沖	M6.7~M7.2	90%程度以上
7 房総沖	(過去に大地震がなく評価不能)	
8 三陸沖北部から房総沖の海溝寄り	M8.2 前後 (津波地震)	20%程度
	M8.2 前後 (正断層型地震)	4%~7%

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

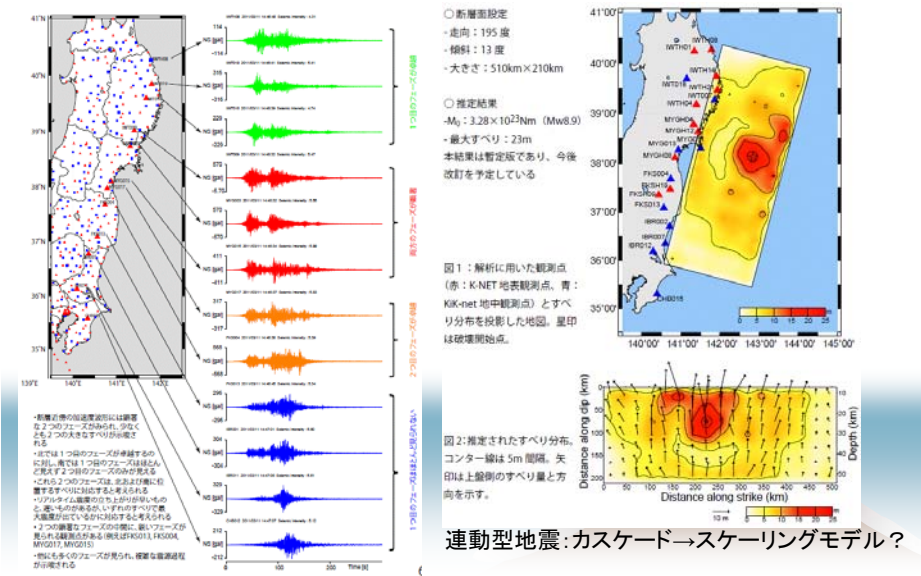
死者の内訳

大震災における犠牲者の死因割合
国土交通白書 2011
http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h22/hakusyo/h23/html/k1112000.html

男女年齢別の死者数
社会実装データ図録
http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/4363f.html



東北地方太平洋沖地震(M9.0):震源



東北地方太平洋沖地震：地殻変動

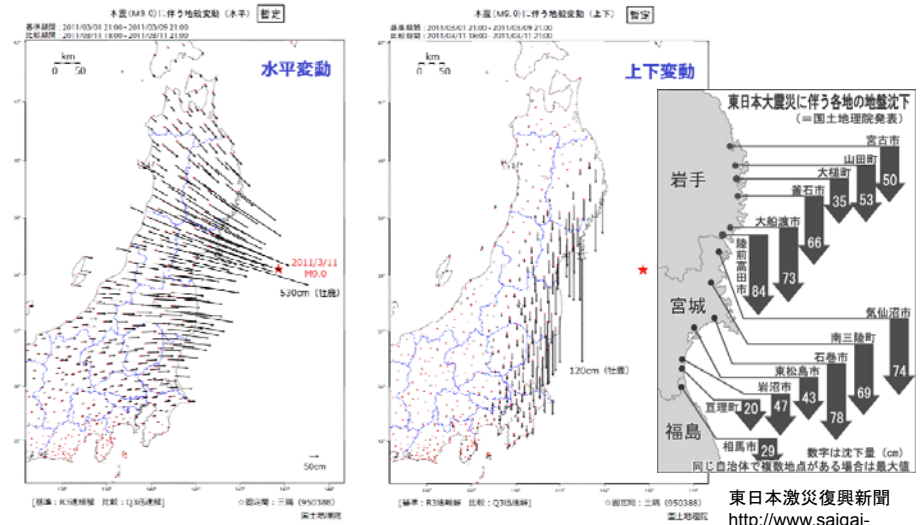
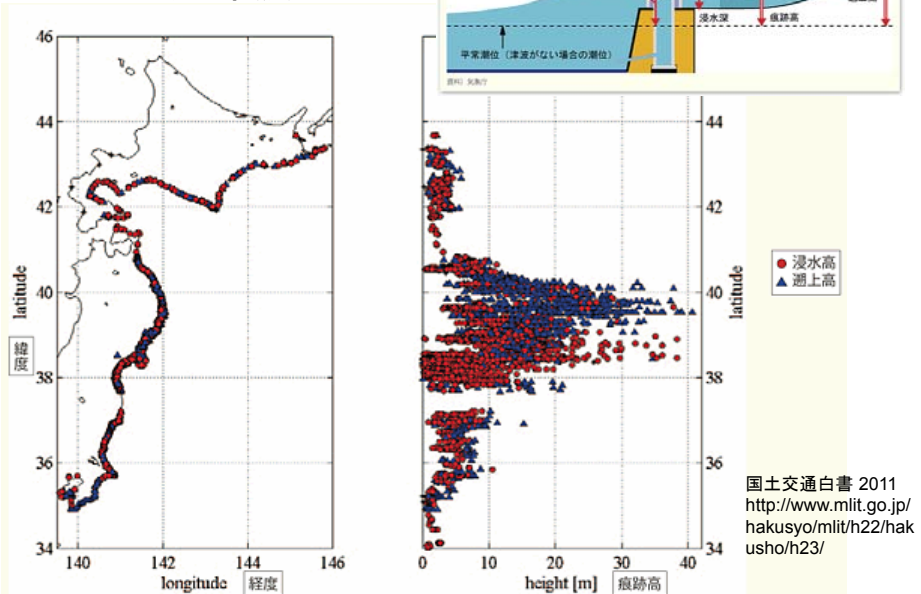
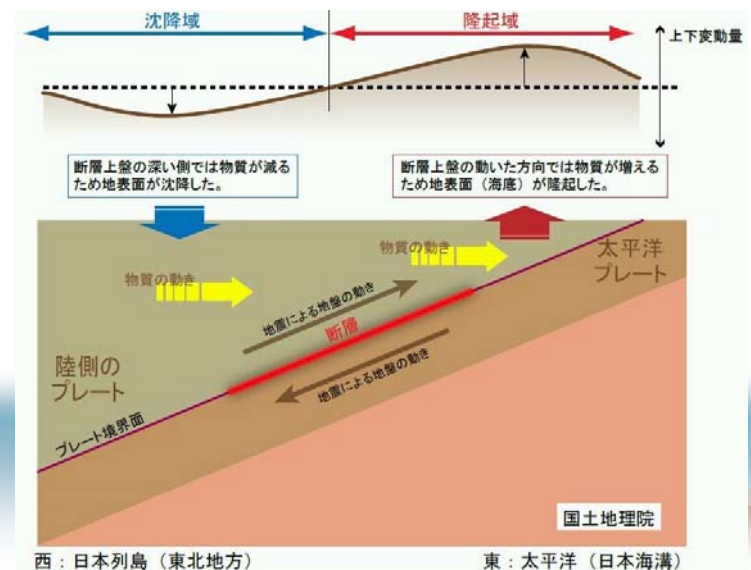


図5 東北地方太平洋沖地震に伴う東日本の地殻変動(国土地理院資料に加筆合成)

東北地方太平洋沖地震 :大津波



逆断層と地面の動きと津波発生



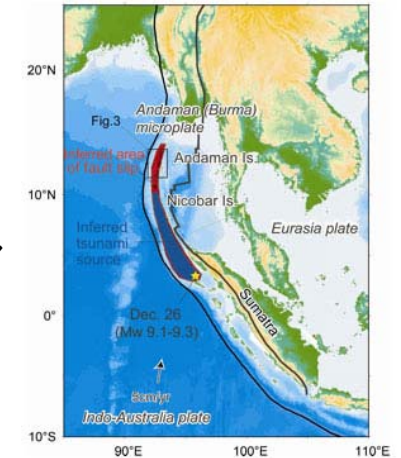
津波のいろは

群馬大学災害社会工学研究室(片田教授)
<http://dsel.ce.gunma-u.ac.jp/>

- ◆ **浅水効果**: 海底の水深が浅くなるにつれて、波高が高くなる津波の性質
- ◆ **湾奥での集中効果**: 湾や入り江の奥では、津波のエネルギーが集中する性質
- ◆ **屈折効果**: 津波は水深が浅いほど遅くなるので、浅いほうへ曲がりながら進む性質
- ◆ **岬先端部での集中**: 屈折効果より
- ◆ **湾内トラップ**: 湾内で反射・屈折の繰り返し
- ◆ **境界波**: 陸で反射した津波が沖合いで屈折して再び陸へ戻ってくることを繰り返し、海岸線を沿うように津波が伝播していくことがある

2004年スマトラ地震津波

- ◆ 2004年スマトラ島沖地震(Mw9.2)
 断層長さ: 1000km以上、
 断層すべり: 30m以上
- ◆ 被害概要: 死者約23万名
 被災者は500万名以上
- ◆ 津波被害はインドネシア・タイ
 インド・などインド洋全域
- ◆ 長周期地震動でシンガポールの超高層建築でパニック
- ◆ NHKスペシャル
 「インド洋大津波(2004)」
 なぜ、人は逃げなかったのか？



Video

産業総合研究所

http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2007/20070126/pr20070126.html

津波被害の拡大

- ◆ **海沿い堤防6割全半壊**: 岩手、宮城、福島の3県の海岸沿いの堤防計約300キロのうち、6割にあたる約190キロが東日本大震災で全壊もしくは半壊(朝日新聞: 3/19)
- ◆ **「津波は3メートル」...その後放送できず被害拡大(釜石市)**(朝日新聞: 4/20): 気象庁は地震発生3分後(午後2時49分)に大津波警報を発令し、1分後に岩手県には高さ3メートルの津波予想。これを受け、釜石市は午後2時50分と同52分に「高いところで3メートル程度の津波が予想されます。海岸付近の方は直ちに近くの高台が避難場所に避難するよう指示します」と市内96カ所のスピーカーで放送。気象庁を、午後3時14分に6メートルと切り替え、同31分に10メートル以上とした。しかし、市は停電で気象庁情報を伝えるメールを県から受け取ることができなくなっていた(朝日新聞: 4/20)。
- ◆ **百力所超の指定避難所被災 逃げ込んだ住民多数犠牲**: 宮城県南三陸町は80カ所の指定避難所のうち31カ所が被災、ほとんどが流失した。同県女川町は、1960年のチリ地震の津波が押し寄せたことを踏まえ、海拔6メートル以上の地点に指定避難所を設けていたが、25カ所中12カ所が被災。手県内では釜石市が69カ所中4カ所、大船渡市で58カ所中6カ所が被害(西日本新聞、4/13)。



破壊された防潮堤(宮城県東松島市)

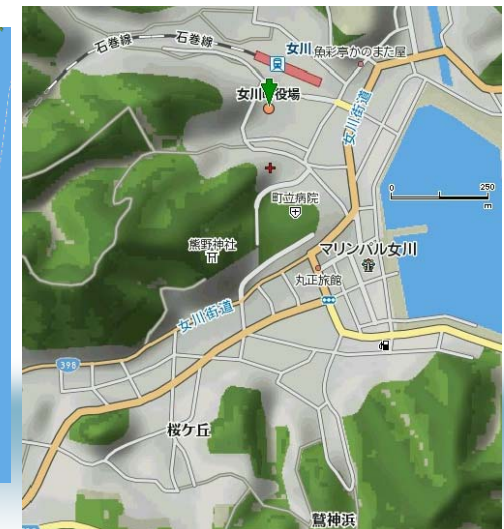


岩手県釜石市鵜住居地区

宮城県牡鹿郡女川町の津波被害調査 (2011年3月29日)



(最大の津波高さ約15m)





津波と伝承

- ◆ 「てんでんこ」三陸の知恵、子供たちを救う(岩手県釜石市、大船渡市):「津波の時は親子であっても構うな。各自がてんでばらばらになっても早く高台へ行け」(読売新聞、3/28)。
→家族全員が確実に高台避難を実施する、という信頼関係が不可欠
- ◆ 此処より下に家建てるな...先人の石碑、集落救う(岩手県宮古市):1933年の昭和三陸大津波の後、海拔約60メートルの場所に建てられた石碑の警告を守り、重茂(おもえ)半島東端の姉吉地区(12世帯約40人)では全ての家屋が被害を免れた(読売新聞、3/30)。
- ◆ 津波伝承、住民救う〜先祖の言葉、後世へ:「地藏より高い所に」(東松島・宮戸島):宮戸島(人口約1000人)では、住民が古くから伝わる言い伝えを守って避難した結果、死者・行方不明者は、7人にとどまった(読売新聞、5/26夕刊)



「釜石の奇跡」と津波避難3原則 (群馬大・片田教授)

- ◆ 釜石の奇跡:岩手県釜石市にて「避難3原則」を実践。東日本大震災では、想定外の津波に対して市内の小中学14校の生徒約3000人が避難。生存率は99.8%に達した。
- ◆ 避難3原則
 1. 想定にとらわれるな:過去の1事例に過ぎないハザードマップにとらわれず、自分で判断せよ
 2. 最善を尽くせ:「ここまで来ればもう大丈夫だろう」ではなく、そのときできる最善の対応行動をとること。
 3. 率先避難者たれ:勇気を持って一番はじめに逃げる。そうすれば群衆心理でみんながついてくる。はじめに逃げるということが、多くの人の命を救うことになる
→一般化は、**率先リーダーたれ!**
(正しい知見、正確な情報・判断・・・)



釜石市・鵜住居(うのすまい)地区における過去の地震の実績、ハザードマップ、東日本大震災時の津波浸水域、および「釜石の奇跡」による避難経路(片田研究室)
<http://dsel.ce.gunma-u.ac.jp/research/cont-302-4.html>

「鵜住居の悲劇」

◆ 鵜住居(うのすまい)地区の被害:

釜石市全体で千名を超える死者のうち、半数以上583人の死者・行方不明が発生

◆ 鵜住居の悲劇

1. 津波の1次避難所: 高台にある鵜住神社境内と常楽寺裏山
2. 釜石市鵜住居地区防災センター: 「市民の防災に関する知識の普及及び市民の防災意識の高揚を図るとともに、災害発生時における災害対策拠点とする」ことを目的に、2010年2月に開設。
3. 誤った避難訓練: 自主防災組織の役員は津波避難訓練に際し、避難場所は屋外であり、訓練中の寒さ対策や参加率の向上等の理由で、室内待機が可能な防災センターで2010年から避難訓練を実施、市も了承。結果として、地域内の多くの住民が防災センターを津波避難所と誤解した。
4. 東日本大震災: 震災時に推定200名以上が避難したが、34名のみ生存した。



津波避難所と鵜住居地区防災センターの位置(上)と防災センターの全景(下): 釜石市鵜住居地区防災センターにおける東日本大震災津波被災調査委員会 報告書、2014年3月)

津波警報・注意報(2013年改定後)

津波警報・注意報の種類

種類	発表基準	発表される津波の高さ		想定される被害と取るべき行動
		数値での発表 (津波の高さ予想の区分)	巨大地震の 場合の発表	
大津波警報	予想される津波の高さが高いところで3mを超える場合。	10m超 (10m<予想高さ)	巨大	木造家屋が全壊・流失し、人は津波による流れに巻き込まれます。沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難してください。
		10m (5m<予想高さ≤10m)		
		5m (3m<予想高さ≤5m)		
津波警報	予想される津波の高さが高いところで1mを超え、3m以下の場合。	3m (1m<予想高さ≤3m)	高い	標高の低いところでは津波が襲い、浸水被害が発生します。人は津波による流れに巻き込まれます。沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難してください。
津波注意報	予想される津波の高さが高いところで0.2m以上、1m以下の場合であって、津波による災害のおそれがある場合。	1m (0.2m≤予想高さ≤1m)	(表記しない)	海の中では人は速い流れに巻き込まれ、また、養殖いかだが流失し小型船舶が転覆します。海の中にいる人はただちに海から上がって、海岸から離れてください。

* 大津波警報は、特別警報に位置づけられています。特別警報に関する詳しい情報は、「特別警報について」のページをご覧ください。

津波警報・注意報と避難のポイント

- 震源が陸地に近いと津波警報が津波の襲来に間に合わないことがあります。強い揺れや弱くても長い揺れがあったらすぐに避難を開始しましょう。
- 津波の高さを「巨大」と予想する大津波警報が発表された場合は、東日本大震災のような巨大な津波が襲うおそれがあります。直ちにできる限りの避難しましょう。

自然災害リスクを防ぐか、許容するか？



岩手県普代村の高さ15mの防潮堤(東日本大震災で村を守った)→震災復旧で各地で建設中建設は国費だが、メンテは自治体。今後1000年維持できる!?

狼師のつぶやき <http://platinum-room.seesaa.net/>



マンハッタンビーチ(ロサンゼルス)→自然には手を加えない。海に近いほど高い地価。幼少から海に慣れ、怖さを知り、リスクは受入る。非常時には避難する

<http://mooks.exblog.jp/1240231>

福島第一原子力発電所事故

◆ 東京電力福島第一原子力発電所

1971年完成の1号機から1979年まで6号機が完成、7・8号が計画中。大量の冷却水を必要とし、沿岸地かつ良質の地盤サイトを選定(表層を削り、基礎を岩着)

◆ 事前の耐震・津波対策

耐震設計: 放射能対策上の重要度に応じたクラス別の構造物で設計(1号機の最重要のAsクラスで、水平加速度は0.27gなど)

高潮・津波対策: 5~7mの防波堤を設置

危機管理・対応: 事故の予防対策に重点を置き、事故発生時の対応は疎かであった。

◆ 事故の経緯

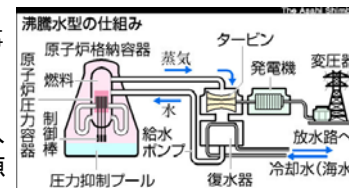
震災発生時、1~3号機が運転中であつた。激しい揺れで送電線等が被災で外部電源が喪失、50分後の津波浸水(最大で高さ約15m)で非常用電源も失い、1~3号機が炉心溶融、1・3・4号機建屋で水素爆発が発生、大量の放射能が放出。

◆ 事故の影響

現在も半径 20 km圏内は市民の立入りが原則禁止。汚染除去等に数十年以上を要する



震災前の福島第一原子力発電所
<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201103120467.html>

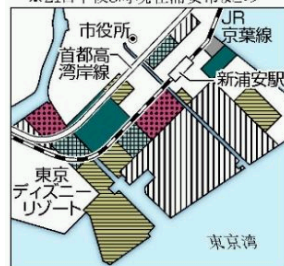


沸騰水型原子力発電の仕組み
<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201103120408.html>

液状化（千葉県浦安市など）

浦安市の被害地域

※21日午後3時現在浦安市まとめ



- ガス停止、下水使用制限、断水
- 下水使用制限、断水
- ガス停止、下水使用制限
- 下水使用制限
- ガス停止
- 断水



Yomiuri Online

<http://www.yomiuri.co.jp/national/news/20110322-OYT1T00122.htm>

<http://www.yomiuri.co.jp/feature/20110316-866918/news/20110325-OYT1T00535.htm>

地滑り被害（仙台市：丘陵宅地の盛土）

仙台市内の地滑り被害箇所



仙台市内31か所の約2100戸が被災、大半は1950～60年代に丘陵地に造られた団地。太白区緑ヶ丘4丁目にある緑ヶ丘4町内会では、全190戸のうち189戸で地滑り被害が確認され、69戸が全壊。



大震災で地滑りが起きている
仙台市青葉区の折立地区

Yomiuri Online

<http://www.yomiuri.co.jp/feature/20110316-866918/news/20110531-OYT1T00613.htm>

超巨大都市の複合災害 首都東京の震度5であったが機能麻痺・・



帰宅困難者（新宿駅東口） 液状化被害（浦安市） 天井落下（川崎市音楽ホール）
建築基準法・告示改正（特定天井）

- ◆ 首都東京（巨大都市）はハイリスク・ハイリターン
- ◆ 様々な想定地震と地震動 → 首都直下地震・活断層帯地震による震源近傍の強震動、海溝型巨大地震による長時間・長周期地震動、地盤特性と地震動（液状化・宅地造成地・卓越周期・・）
- ◆ 最悪想定地震への対応 → レベル2を超える地震動への対応
- ◆ より高い耐震性能（帰宅困難者・避難民・瓦礫を出さない対策 → 構造躯体の倒壊限界→建物・地域（エリア）の機能継続

様々なハザード（群衆雪崩・パニック） 明石花火大会歩道橋事故

- ◆ 2001年7月21日午後8時半頃、明石市民夏まつり花火大会（大蔵海岸）の際、JR西日本・朝霧駅南側の歩道橋において、駅方面からの見物客と会場方面からの見物客とが合流し、1m²あたり13人から15人という異常な混雑となり、「群衆雪崩」が発生。死者11名（内訳：10歳未満9名・70歳以上2名）と重軽傷者247名を出す大惨事となった

（Wikiペディアより）。



2001年07月21日「大蔵海岸花火大会」開催時間直前の歩道橋

<http://blogs.yahoo.co.jp/ya864u/30179553.html>

東京都帰宅困難者対策条例（2013年4月施行）

→ 一斉帰宅抑制（大群衆もハザード）

○ 一斉帰宅の抑制

◆ 都民の取組 むやみに移動しない、

家族との連絡手段を複数確保するなど事前準備（171、携帯伝言・・・）

◆ 事業者の取組 従業員の一斉帰宅の抑制

施設の安全確保、3日分の水・食糧など、従業員との連絡手段の確保など事前準備、駅などにおける利用者の保護、生徒・児童等の安全確保

○ 安否確認と情報提供のための体制整備

○ 一時滞在施設の確保（国や自治体、民間施設）

○ 帰宅支援（帰宅支援ステーション、代替輸送手段の確保）

→ 住宅・マンションも同様に、避難民にならない対策・自宅に留まる対策、

→ 大震災時に家族との連絡は困難。職場・学校・家庭で万全な対策を

（耐震性能の向上、什器類の落下・転倒防止、最低3日分の備蓄、171などに加えて被害外への共通の連絡先）

33

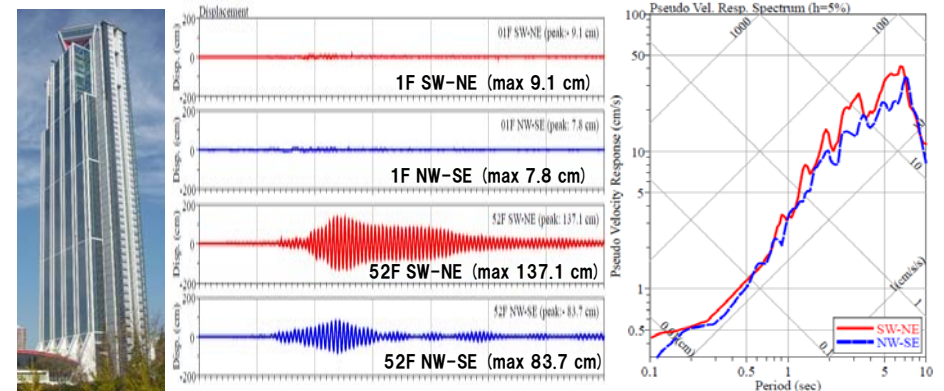
大阪府咲洲庁舎（55階）の揺れと被害

◆ 建物の固有周期と地盤の卓越周期が一致（約6.5秒で共振）

（大阪盆地の深部地盤構造による堆積層表面波、厚い沖積層による相互作用）

◆ スプリンクラー破損による漏水、階段壁面のパネル落下、100カ所以上のひび割れ、エレベータによる閉じ込めなど多数の被害

◆ 震災直後、上層階の被害を防災センターで全く把握できなかった

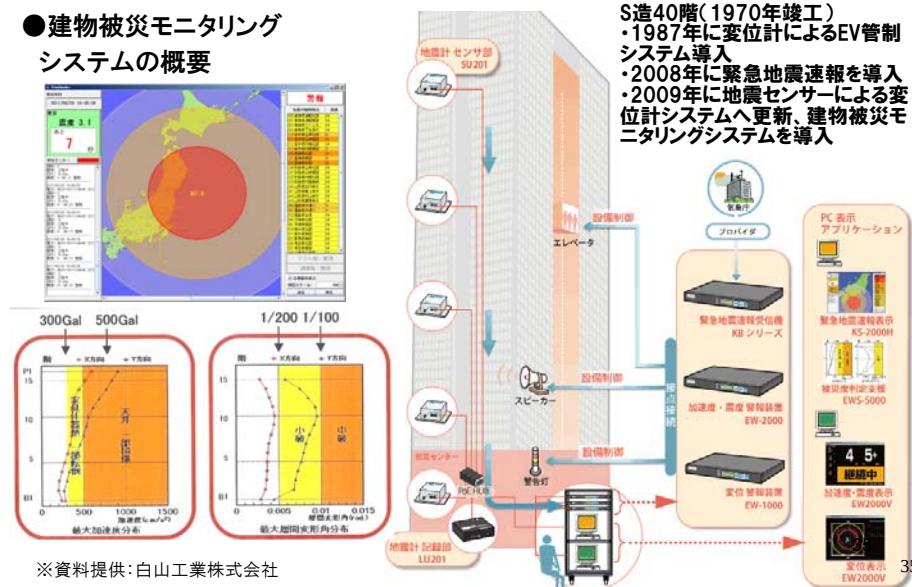


小山(2011):第39回地盤震動シンポジウム資料(2011/11/15(火))

都内超高層オフィスビルにおける対応事例

→ 14:54(地震から8分後)に館内被害なしと認識、速やかに館内放送・テナント対応

● 建物被災モニタリングシステムの概要

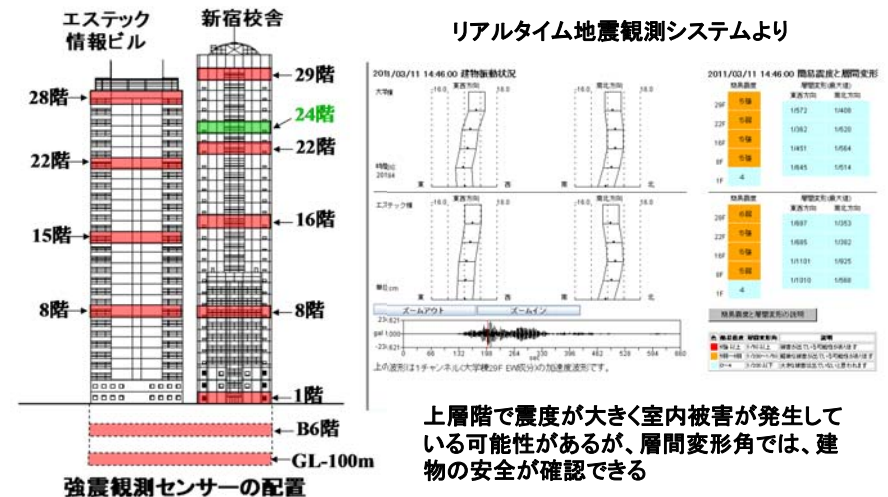


35

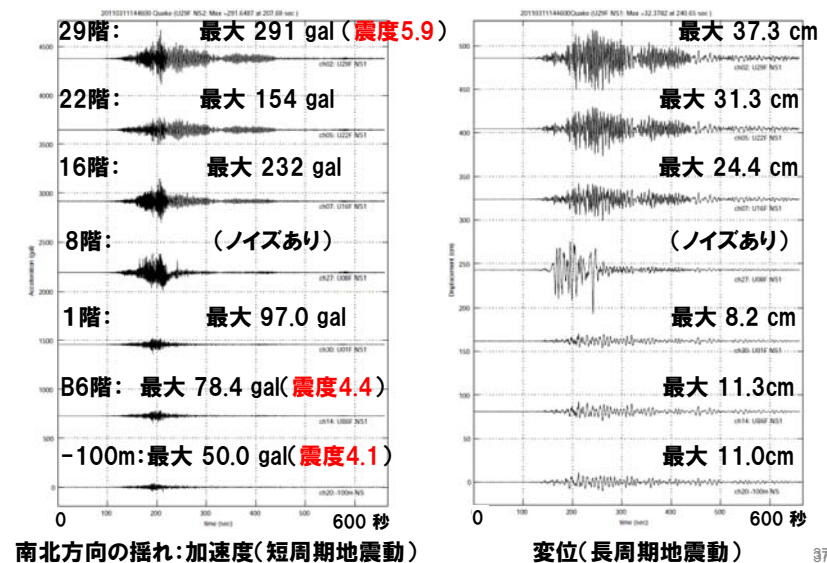
工学院大学新宿キャンパスにおける地震観測について

東日本大震災での建物応答について

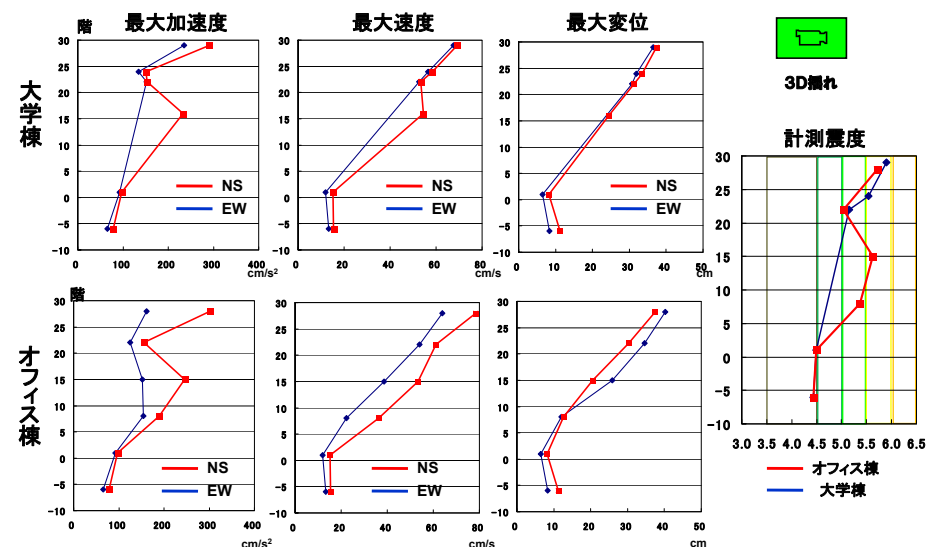
リアルタイム地震観測システムより



2011年東日本大震災(本震)による揺れ —工学院大学・新宿校舎の加速度と変位波形—



工学院大学新宿キャンパスでの揺れについて (最大加速度、最大速度、最大変位、計測震度)



2011年東日本大震災 工学院大学・新宿校舎の被害(高層階)



28F (天井パネルの落下)

25F (コピー機の移動、室内の散乱)



24F(固定していないかった本棚の転倒、間仕切り壁の大変形)

21F (天井パネルの落下)

2011年東日本大震災 工学院大学・新宿校舎の被害(中・低層階)



14F (天井パネルの落下)

12F (事務室階: コピー機移動、室内散乱など)



2F (図書館: 蔵書の散乱) 1F (アトリウム: EPJパネルの被害) エレベーターケーブルの絡まり (本学の写真ではありません)

一工学院大学校舎内や周辺地域の様子一



新宿駅の様子(滞留者)



帰宅困難者の受入(約700名)



非常食・水の配布(4階)



主要街道の渋滞(青梅街道)



新宿駅西口の様子(帰宅困難者)



某超高層ビルの様子

41

工学院大学生によるボランティア活動 (気仙沼市などで避難所の住環境改善 (2011/4/22-25))



Before



After

気仙沼・避難所にて(段ボールを活用した避難所の住環境改善ほか)

ボランティア活動(気仙沼市など) 避難所の住環境改善(面瀬中学校)



気仙沼・避難所にて(段ボールを活用した避難所の住環境改善ほか)

ボランティア活動(気仙沼市など) 避難所の住環境改善(松岩公民館等)



気仙沼・避難所にて(段ボールを活用した避難所の住環境改善ほか)

課題2：自分のまちの資源・課題を調べる (まちづくり演習と共通でも可能)

◆ 震災時・延焼火災時の対応に有効な資源

一時集合場所(近所のオープンスペース等、住民が指定可能)
まちの防災倉庫・資機材、消火器・消火栓・防火水槽など
(広域)避難場所(まち周辺の広場・河川敷など)
避難所(家を失くす・危険な場合、避難する施設、体育館等)
医療救護所(多数の傷病者の場合、まず運ぶ施設、小中学校等)
医療機関(中等症・重症者をケアする施設)、その他

◆ 津波・風水害など、その他の災害時に有効な資源

指定緊急避難場所(災害種別ごとに指定)、その他

◆ 自分のまちの課題

実際に上記資源を確認し、改善が必要と思われる課題をまとめる

⇒ 提出は次回授業の開始時とする

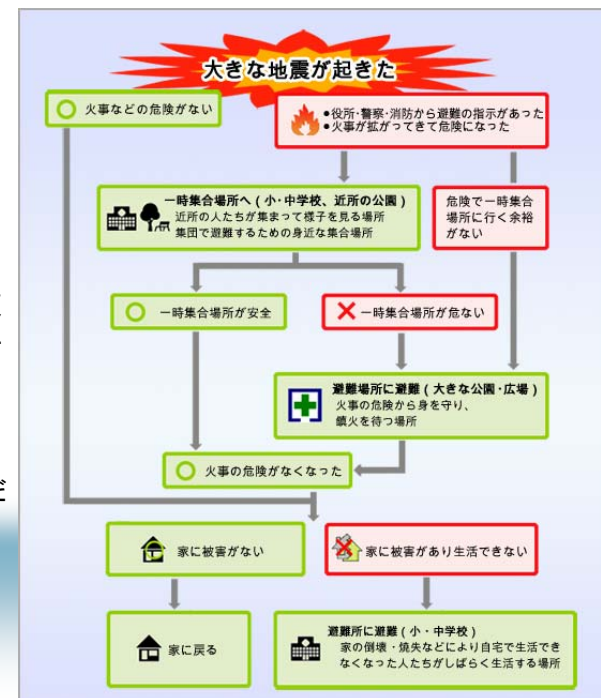
震災時の避難 の仕方 (東京都)

避難所、避難場所への避難は災害の状況により対応が異なります。避難の順序についてフローを参考にしてください。

(注)避難方法は区市町村ごとに異なります。

お住まいの区市町村防災担当課にお問い合わせください。

<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/bousai/1000026/1005242.html>

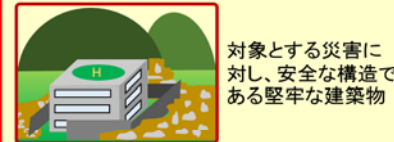


指定緊急避難場所と指定避難所

(国土地理院https://disaportal.gsi.go.jp/hinanbasho_test/hinanbasho.html)

○指定緊急避難場所(国土地理院のウェブ地図上で公開)
災害の危険から命を守るために緊急的に避難をする場所
土砂災害、洪水、津波、地震等の災害種別ごとに指定

【指定緊急避難場所のイメージ】



対象とする災害に
対し、安全な構造で
ある堅牢な建築物

土砂災害に対する
指定緊急避難場所の例



対象とする災害の
危険が及ばない学
校のグラウンド・駐
車場等

地震、大規模な火事等に対する
指定緊急避難場所の例

○指定避難所

災害の危険があり避難した住民等が、災害の危険がなくな
るまで必要な期間滞在し、または災害により自宅へ戻
れなくなった住民等が一時的に滞在することを想定した
施設

【指定避難所のイメージ】



学校・体育館
等の施設

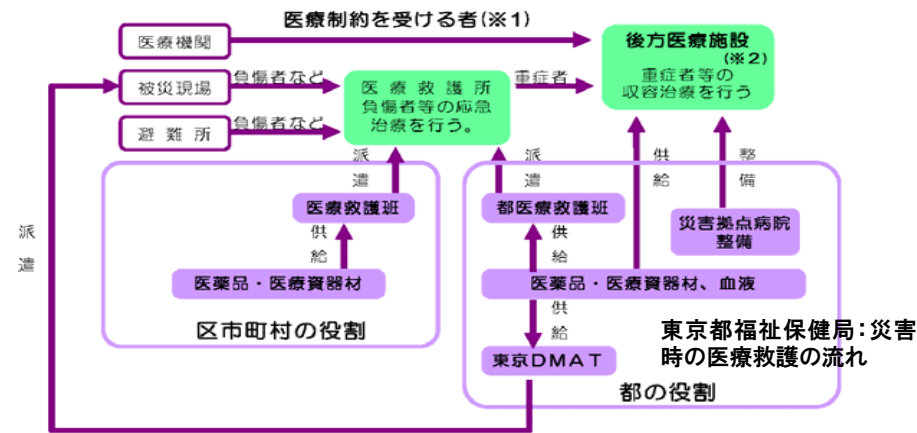


公民館等の
公共施設

※「指定緊急避難場所」、「指定避難所」は、ともに市町村長が指定。

東京都：延焼火災時の避難場所は「広域避難場所」

東京都の災害時医療救護体制



※1：医療制約を受ける者とは、医療機関の被害により医療を受ける機会を失った者をいいます。

※2：後方医療施設とは、東京都災害拠点病院、救急告示医療機関及びその他の病院で被災を免れたすべての医療機関を指します。