

II

南海トラフ地震前後の活動期に
西日本で起こる地震とその揺れ京都大学防災研究所
地震災害研究センター 教授

松島 信一氏



A 地震(マグニチュード)と地震動(震度)

まず、地震と地震動、マグニチュードと震度について説明します。【図1】

マグニチュードと震度

4

- ・ 明かり
 - ・ (原因) 光度(cd) → (結果) 照度(lx)
- ・ 台風
 - ・ (原因) 中心気圧(hPa) → (結果) 風速(m/s)
- ・ 地震
 - ・ (原因) マグニチュード → (結果) 震度
 - ・ (原因) 地震※ → (結果) 地震動 <※専門用語としての「地震」>
- ・ 1つの地震でマグニチュードは1つ
 - ・ 震源から放出されるエネルギー量を表す指標
 - ・ 日本では気象庁マグニチュードが主に使われる
- ・ 1つの地震で震度は複数
 - ・ 震源からの距離、地盤による揺れの増幅などに依存

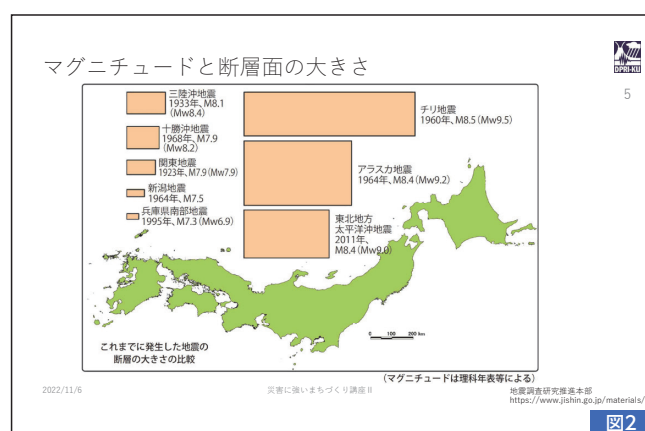
2022/11/6
災害に強いまちづくり講座II

図1

マグニチュードというのは地震の規模、その震源でどの位のエネルギーが放出されたかということを表す指標ですので、一つの地震に対して一つのマグニチュードがあるわけです。一方震度は、揺れですので、どこで揺れたかによって変わるわけです。場所によって、一つの地震に対して、震度は震源からの距離や地盤の揺れやすさ、揺れにくさによって変わってきますので、一つの地震に対して色々な震度が出ます。例えば台風は、中心気圧がどの位下がるかによって台風の強さが決まってきますが、風の強さは台風の中心から徐々に遠ざかると小さくなっていき、遮るものがあるか無いかで風速は変わってきます。それと同様です。

地震は、原因が震源で、放出されるエネルギーがマグニチュード、結果が震度です。ただ、一般には、地震というと震源のことも指し、勿論読んで字の如く、地が震えるわけですから、揺れそのものも表す言葉にもなっています。そこで我々は、揺れを地震動という言葉で表しています。気象庁が発表する図では震源というのは1点で表されていましたが、実際にはマグニチュードが大きくなると破壊の範囲が広がりますので、とても点では表せるものではなく、面として表す必要があります。【図2】このように、実際には広い

領域を破壊するので、地震が終わるまで、何分もかかるという場合があります。

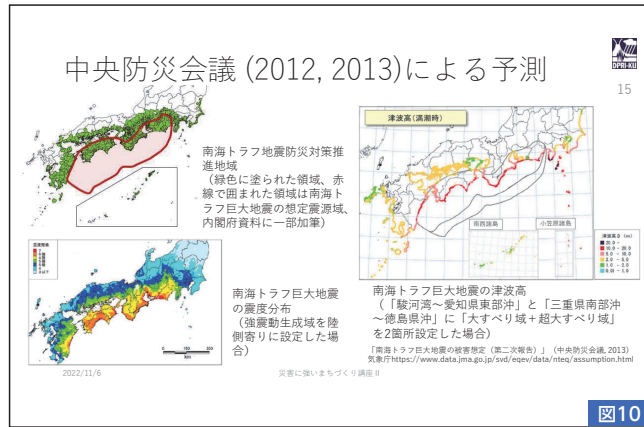
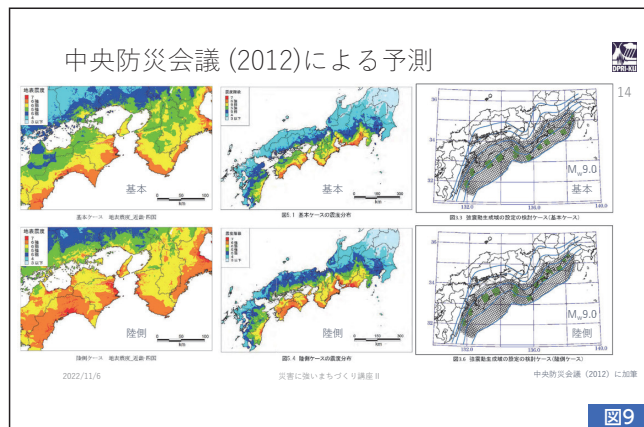
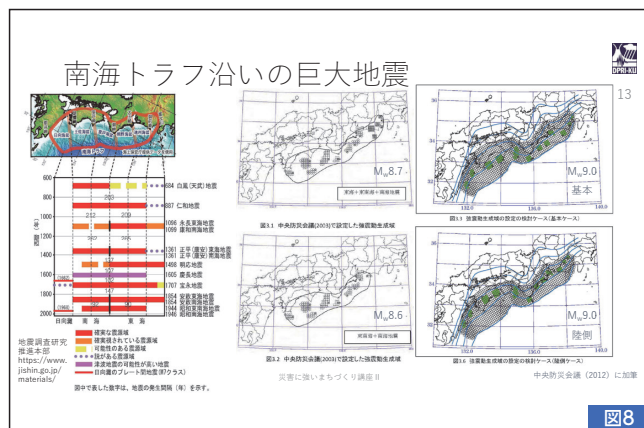
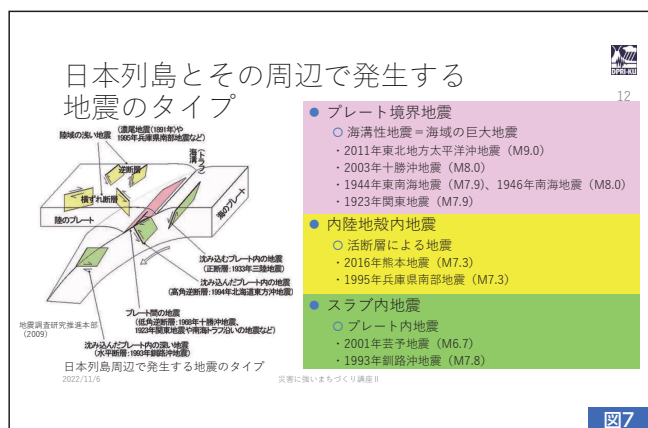


2011年の東北地方太平洋沖地震では、気象庁マグニチュードは8.4となっているのですが、実は、気象庁マグニチュードはこの8.4を超えると、頭打ちをしてしまうような指標です。そのような場合、モーメントマグニチュードという指標を使うのですが、それが9というマグニチュードで、それは日本列島の面積に対する相対的な大きさが示されています【図2】ので、それ程大きな領域が破壊したということです。世界でこれまで記録されているものとして最大なのは、モーメントマグニチュード9.5というもので、それは1960年にチリ沖で起こった地震です。津波が日本にまで押し寄せてきて、日本でも被害を受けました。太平洋の反対側で起こった地震ですが、非常に大きな規模の地震で、津波が太平洋を横断して日本にも被害を及ぼしたという地震でした。

震度についてですが、日本では明治17年から震度によって震度階というものを設けてきました。【図3】当初は4階級で始まっていますが、明治31年になると、7階級になります。これは震度0から6ということです。それがしばらく続いたのですが、1948年に福井市全体の建物が倒壊するような、非常に強い揺れを生じさせた福井地震が発生しました。福井市全体が震度6となるような地震だったた

だけではなく、場所と揺れ方、その違いによって被害も変わってくるのです。

日本列島とその周辺で発生する地震には、3つのタイプがあります。【図7】一つ目は、プレートとプレートの境界で起こるプレート間地震で、プレート境界地震と言います。2011年の東北地方太平洋沖地震、2003年の十勝沖地震、それからこれから危惧される東南海地震や南海地震、1923年の関東地震がこれにあたります。二つ目は、内陸地殻内地震、いわゆる活断層による地震で、2016年の熊本地震や1995年の兵庫県南部地震がこれに該当します。三つ目は、プレート内で起こるスラブ内地震で、2001年の芸予地震、1993年の釧路沖地震がそれです。



C 南海トラフで発生する地震

南海トラフ地震についてですが、この巨大地震は、近い将来起こる可能性があると言われています。【図8】プレートの運動がある限り、地震は必ず再現されます。この南海トラフの場合は、フィリピン海プレートが陸のプレートの下に潜り込んでいくため、フィリピン海プレートがどんどん東から移動しているという運動があるので、繰り返し起こることになります。南海トラフ地震が次にどのように破壊するのかは、我々はわからないのですが、対策する範囲は想定しなければなりません。震源の位置や強い揺れが起こる場所を特定したいのですが、なかなか今の我々の技術力ではわからないというのが正直なところです。そのために色々なパターン、最悪なケース、平均的なケース、そしてそれらのケースでは揺れがどうなるかを想定し、対策を考えています。また、強い揺れを出す領域が、震源の真ん中辺りにあった場合はどのような揺れになるか、強い揺れを出す領域が陸側によっていた場合にはどうなるか等を中央防災会議が想定し、揺れを予測しています。【図9】【図10】

D 西日本で起こる地震とその揺れ

また、南海トラフ地震が起こるまでの間に西日本ではどのような地震が起こるのかという話ですが、これまで起きた地震の記録から、南海トラフ地震の間は、内陸地殻内地震の活動期 (70年) と静穏期 (30年) を繰り返しています。そこから考えると、今、日本は1995年から2065年までの70年間の活動期にあると考えられます。その間に南海トラフ地震が発生する可能性が高いのではないかと考えられ、また、南海トラフ地震までの間、もしくはその直後までは内陸地殻内地震が活発になっているであろうと、想定されます。【図11】ここで強調しておきたいのは、内陸地殻内地震も活発になっていますので、南海トラフ地震の対策だけではなく、やはり足元で起こる地震がどうい



南海トラフ地震の間
内陸地殻内地震の活動期（70年）と静穏期（30年）の繰り返し

- ・安政の東南海・南海地震（1854年）
 - ・ 1789～1858年（70年間）は活動期
 - ・ 1789年寛政元年の地震（阿波の地震）（M7）が契機？
 - ・ 1859～1890年（32年間）は静穏期
- ・昭和の東南海・南海地震（1944年、1946年）
 - ・ 1891～1961年（71年間）は活動期
 - ・ 1891年濃尾地震（M8）が契機
 - ・ 1962～1994年（33年間）は静穏期
- ・次の東南海・南海地震
 - ・ 1995～2065年（約70年間）は活動期
 - ・ 1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）（M7.3）が契機
 - ・ 2065年までの約70年間に次の南海トラフ地震が発生する可能性がある
 - ・ それまでの間とその直後まで内陸地殻内地震の活動が活発

2022/11/6 図11

うものかを知って、それに対する対策を早くからしていただくのが必要だということです。

次は、揺れについてです。南海トラフ地震は、プレート境界地震で、最近起こったプレート境界地震といえば、東北地方太平洋沖地震です。【図12】

【図13】 【図14】 2011年の3月11日14時46分に発生し、仙台市の東方約130kmが破壊を開始した場所です。モーメントマグニチュードは9.0で、長さは約500km、幅は150～200kmで、三陸沖中部から茨城沖に渡る南北方向の震源場所となります。最大震度7で、沖縄を除く全県で揺れを観測しました。人的被害が16,000名余りで、行方不明者が3,500名近くという、多くの方が被害に遭われました。人的被害、建物被害共に、ほとんどが津波による被害で、全壊が12万棟余り、半壊が19万棟、更に一部損壊が61万棟と、非常に多くの建物が被害に遭ったということになります。津波の場合は、やはり一旦のみ込まれると、中々生きて戻れないという特徴があり、どうしても被害を受けると亡くなってしまう可能性が非常に高くなります。

変位と速度と加速度について説明します。【図15】
加速度というのは、速度の時間変化を表しているの
で、速度の最大値では加速度は0になります。また、
速度の変化が一番大きい時間には、加速度は最大になります。一方、速度というのは変位の時間変化を表し、
変位の最大値では速度は0になり、変位の変化が一番大きい時間に速度が最大になります。

地震の揺れによる建物の被害について、まとめますと、建物を壊すためには、まず変形させないとなりませんし、変形させるためには力が必要です。そして、小さな力だと徐々に変形してはいきませんが、壊れずに元に戻ります。ですが、大きな力をぐっとかけると、壊れます。それは、力というのは質量と加速度のかけ算ですので、加速度を与えると、段々変形し、ある変形までいくと、壊れます。物がいったん壊れると、後は力を入れなくても、どんどん変形が進みます。そして変形がどこまで進むかどうかというのは、エネルギー量で決まります。エネルギー量というのは、速度の二乗×質量に比例しますので、速度も大きくなければ、変形は進みま

せん。ですので、力とエネルギーが大きくなる、つまり加速度と速度が共に大きい揺れであると、建物が壊れます。逆に加速度と速度が大きくなないと、建物は壊れません。速度が大きくて加速度が小さい場合には、建物はそ

平成23年（2011年）
東北地方太平洋沖地震

- ・ 3月11日14時46分18.1秒
- ・ 宮城県沖（仙台市の東方約130km）で発生
 - ・ 発震点
 - ・ 北緯38° 6.2'
 - ・ 東経142° 51.6'
 - ・ 深さ24km
- ・ モーメントマグニチュードMw9.0
 - ・ 震源断層は三陸沖中部から茨城沖に渡る
 - ・ 長さ400km～500km
 - ・ 幅150km～200km
- ・ 最大震度7
 - ・ 沖縄を除く全県で揺れを観測
- ・ 人的被害（ほとんどが津波による被害）
 - ・ 死者16,079人
 - ・ 行方不明者3,499人
 - ・ 負傷者6,051人
 - ・ 重傷676人
 - ・ 軽傷5,112人
- ・ 建物被害（ほとんどが津波による被害）
 - ・ 全壊120,209棟
 - ・ 半壊189,523棟
 - ・ 一部損壊616,217棟
 - ・ 火災286件

2022/11/6 図12

東北地方太平洋沖地震 震度と震源域

2022/11/6 図13

長周期地震動 2011年東北地方太平洋沖地震
大阪府咲洲庁舎の被害

- ・ 52階で最大振幅（片側）137cm、最大加速度131cm/s/s
- ・ 内装材・防火戸等の損傷（合計360か所）
- ・ エレベーター全32基が停止
 - ・ うち25基は地震時管制運転装置が正常に作動したが、4基でロープの絡まりによる閉じ込め現象が発生。

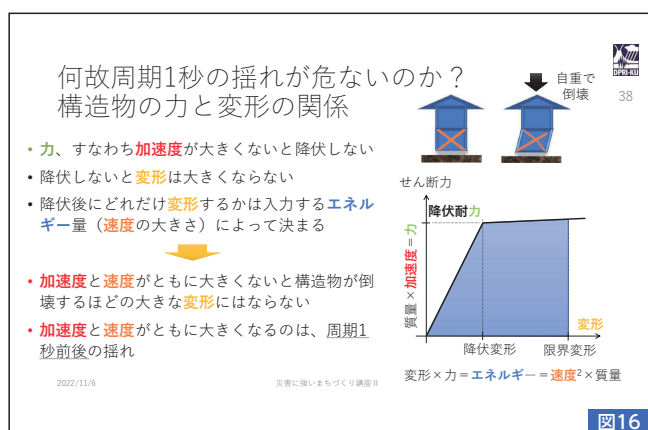
2022/11/6 図14

変位・速度・加速度

2022/11/6 図15

もそも壊れませんので、変形が進みません。物理的にどちらも大きくできる周期帯というのは、周期1秒前後になるために、周期1秒の揺れというのは加速度も速度も大きくなるので、建物を壊してしまうことができることになります。【図16】建物が変形しても、また元の状態に戻れば、柱は自重に耐えられるように造られていますので、壊れません。けれども、斜めの状態で止まってしまうと、自重がかかっていますので、その後、自重によってその建物はどんどん壊れていくということになります。ですので、建物が元の状態に戻れるかどうか、非常に重要なのですが、そのような耐震施工を考える必要があるということになります。

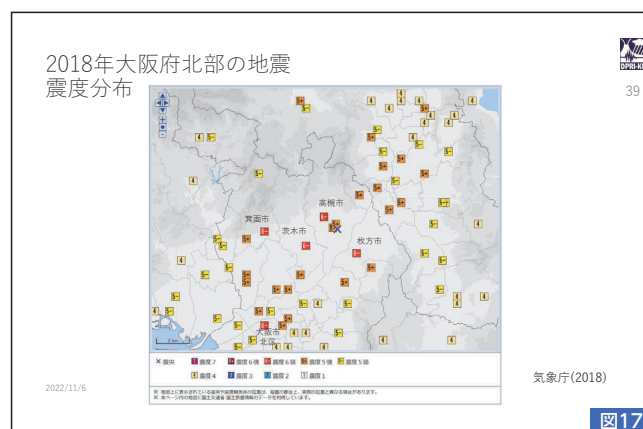
害を受けると、同時に揺れはそれなりに強いので、家具が転倒してしまうようなことが起こってしまい、被害に遭うケースもあるのです。マグニチュード6だからといっても決して安全ではないということです。た



2018年に大阪府北部で起こった地震では、マグニチュード6.3で、最大震度が6弱というような規模でした。**【図17】**構造的な被害は、ほとんどありませんでした。古い住宅が20棟ほど全壊していますが、それ以外は、一部損壊が非常に多く見受けられました。

【図18】 【図19】 【図20】 建物の倒壊による死者はいなかったのですが、ブロック塀の倒壊で2名、本棚やタンス等による圧死が3名、持病が悪化して亡くなった方が1名、計6名の方が亡くなっています。建物自体が倒壊しなくても、建物の中にある家具によって亡くなってしまうという可能性があるので、建物の耐震性のみならず、家具の転倒防止等が非常に重要になってきます。

特にこの大阪府北部の地震のように、マグニチュード6クラスの地震というのは、マグニチュード7クラスの地震に比べて、約10倍起こりやすいとされています。世界中の地震の統計を取ると、マグニチュードが1増えると、発生頻度が10分の1になるという関係であることがわかっているのです。マグニチュード7の地震ばかりに気を取られていると、その10倍の起こりやすさのマグニチュード6クラスの地震が起こった時に、被害に遭うことになりかねないのです。マグニチュード6クラスの地震というのは、この大阪府北部地震のように足元で起こると、特に都市部、大阪市のような人口が密集しているような場所で起こると、建物の倒壊は無いとしても、一部損壊で建物の被



被害の状況 人的・物的被害

2 被害の状況

(1) 火災の状況

【大阪府】	大阪市	3件
【兵庫県】	尼崎市	4件

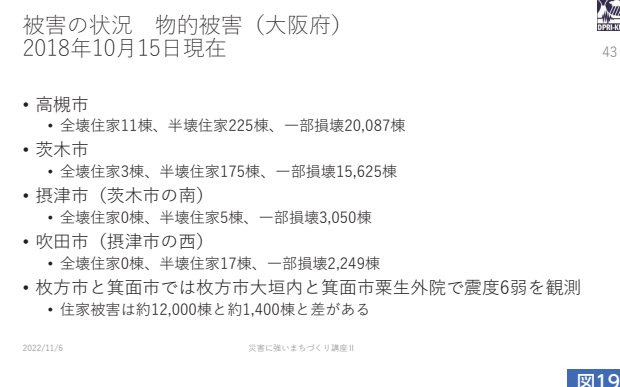
消防庁応急対策室（第32報）（2019）

人 の 建 物 被 害					住 家 被 害					非住家被害	
都道府県名	死者	行方不明者	負 傷 者		全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	公共施設	その他
			重傷	軽傷							
	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	棟	棟
三重県			1	1							
滋賀県				3				5			
京都府			1	24			9	3,424			24
大阪府	6		56	328	20	421	57,586		3	702	23
兵庫県			4	38	1	3	223				8
奈良県				5			28				39
徳島県				1							
合 計	6		62	400	21	483	61,266		3	773	43

【死者の状況】
【大阪府】大阪市2人、高槻市2人、茨木市1人、箕面市1人

(3) 重要施設の被害
石油コンビナート等特別防災区域に被害情報なし。

建物の倒壊による死者はいない
ブロック塀倒壊（２人）
本棚・タンス等による圧死（３人）
持病の悪化（１人）



被害の状況 物的被害
ブロック塀棟



だ、家具をしっかりと固定する等で予防することは可能です。

また、大阪府北部地震では、ライフラインの被害がありました。【図21】復旧するのに、電力は3時間

程度でしたが、ガスは4日かかっています。建物は丈夫で大丈夫であったとしても、ガスや水道、電気が来ないという状況になってしまう可能性もあるのです。ですから、水や食料等を普段から備えておくというのも、必要な対策の一つになります。

日本全国の地震がどのようなところで起こるかを想定して、地震動予測地図というものが地震ハザードステーションから公表されています。【図22】【図23】【図24】これは防災科学技術研究所が取りまとめているものですが、内容については文部科学省の地震調査研究推進本部でオーソライズされたものが、地図上に表記されているというものです。これをご覧いただくと、ある場所で今後30年以内に、震度6弱以上の揺れが起こる確率が描かれています。また、どのような震源があるかということを見たり、内陸地殻内地震の震源がどのようなところにあるか、その地震が起こった時にどのような揺れになることが想定されるか等ということ地図上でご覧いただくことができます。

同じ地震でも、破壊の仕方によって揺れが変わりますので、その揺れの違いを見たりもできます。これはあくまでも確率論的地震動予測地図ということで、震度6弱以上の揺れが起こる確率は、どれくらいかを見ることができます。また、各自治体では、被害想定もしていますので、そのような情報によって、ご自身やご家族が住まれている場所で、どの程度の揺れが想定されているかということがわかりますので、それらも参考に、今後の対応をしていただければと思います。

ライフライン被害

ライフラインの被害状況

	被害・機能損傷	復旧
電力	大阪府・兵庫県内で最大約17万戸が停電	当日3時間後には復旧
水道	大阪府高槻市・吹田市で断水。近畿各地で漏水。約9万戸	翌日19日未明に復旧(ただし、数日漏水続く)
ガス	大阪ガス管内で約11万戸供給停止	4日後の24日に復旧
NTT	1万5000回線	翌日19日復旧
新幹線	山陽・東海道線で一時運休・運転見合わせ	
飛行機	日本航空・全日空で18日発着予定の計74便が欠航	

2022/11/6 災害に強いまちづくり講座II 新聞記事より 徳田 (2018)

図21

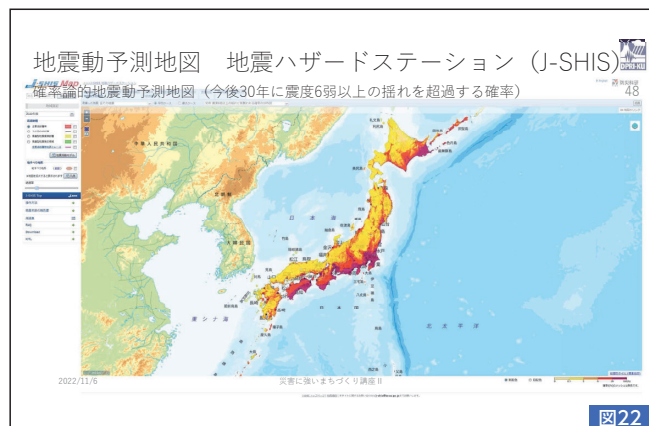


図22

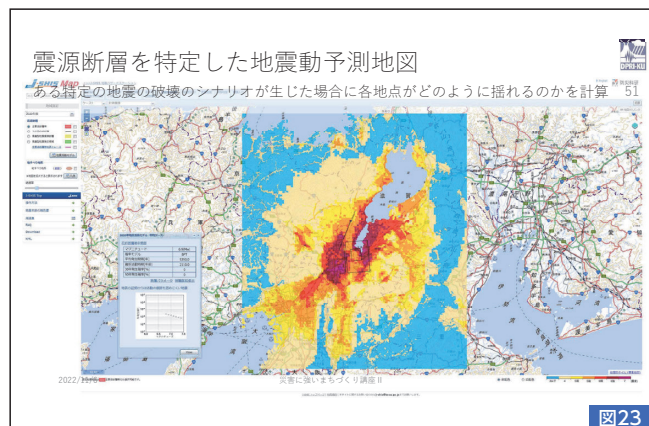


図23

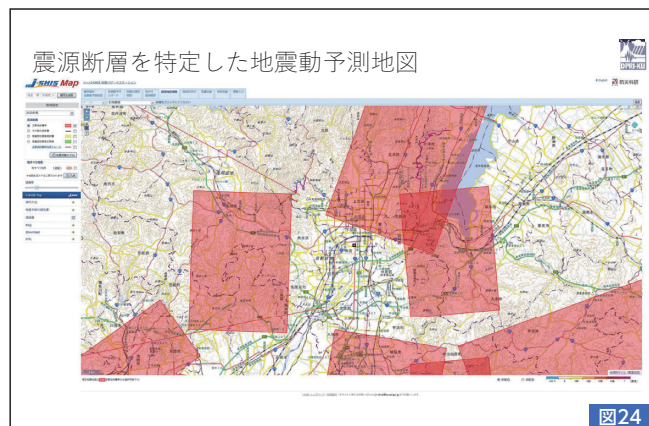


図24

おわりに(1)

- 南海トラフでの地震は繰返し発生している
 - 南海トラフでの地震では震源域近くでの強震動と津波に注意が必要
 - 地震と地震の間には、西日本において内陸地殻内地震が活動期となるため、注意が必要
 - 現在は、活動期のさなかである
- M7クラスの内陸地殻内地震の場合、建物に被害を及ぼす地震動が生ずる
 - 建物に被害を及ぼす地震動の特徴
 - 周期1秒前後(0.5~2.0秒)の速度パルス波
 - 加速度(力)も速度(エネルギー)も大きい揺れ
 - 生成要因
 - 震源断層の大きさに比例する強震動生成域の大きさに依存
 - M9クラスの地震でも場所によっては生じることもある

2022/11/6

災害に強いまちづくり講座II

図25

おわりに(2)

- 震源域で地表地震断層を伴う場合の揺れ
 - 地盤変状を伴う
 - 変位が大きくなる
 - 建物のみならず、擁壁・基礎の耐震性が重要
- M6クラスの内陸地殻内地震
 - 構造体に被害は少ないものの、屋根や壁などに被害
 - 生活の維持が困難
 - 復旧に時間がかかる
- 周辺の地震環境及びそれによる揺れの想定を把握し、揺れに備えることが重要

2022/11/6

災害に強いまちづくり講座II

図26