

巨大地震と津波、そして火山噴火 —発生メカニズムと備え—

東京大学地震研究所副所長、災害科学系研究部門教授 古村 孝志

東北地方太平洋沖、熊本、鳥取で地震が発生し、各地は大きな被害に見舞われました。今後、南海トラフを震源にした巨大地震や首都直下地震も心配されています。本日は、自然災害のメカニズム、予知研究の最前線を報告し、災害の備えにつなげていただきたいと思います。最初に、熊本地震が起きたときの国内約1,800か所の地震計データで見た揺れの様子を見ていただきます。このデータは防災科学技術研究所がウェブでも公開していますが、注目していただきたいのは、地震発生から約200秒後、熊本から遠く離れた平野でも長い間、揺れを記録している点です。遠隔地でも軟らかい地盤の平野では被害が起きるかもしれない、そんなところに私たちは住んでいることを認識していただき、これからの話を進めます。

本震・余震、揺れの現象への認識

熊本では震度7レベルの地震が2回起き、大きな被害をもたらしました。震度の階級には6強・弱もありますが、震度が1ランク違うと被害は全く異なった様相になります。震度7はめったに遭遇するスケールではありません。国内で最初に7のスケールが導入されたのは1948年の福井地震の後で、それまでは6まででした。その後、7以上を記録した地震は、阪神・淡路、新潟中越、東北地方太平洋沖です。

震度7になると木造家屋の3から5割は倒壊しています。新しい耐震基準で建てられた家屋は地震に対して強くなったものの、震度6強から7の揺れがくるとダメージは大きく、震度7でも壊れ

ない家屋というのは少ないと認識しておいたほうがよいと思います。ただし、家が壊れても中にいる人の命は助かる強度を持たせるのが、今日の耐震基準の考え方です。

大地震が起きた後に心配されるのは余震です。余震というのは、本震のときに壊れ残った断層面の一部で起きる、相対的には小さな地震ですが、真下で起きると非常に強い揺れに見舞われることがあります。また、熊本地震のように、当初の地震が本震だと考えられていたものの、より大きな地震がその後に起きるという例もまれですがあります。過去十数年間を振り返ってみると、2003年の宮城県北部地震では、夜中に震度6弱の地震があって、朝7時に6強の地震が起きて「宮城県連続地震」とも呼ばれました。04年9月には紀伊半島南東沖で、夜7時に震度5弱の地震が起き、翌朝7時により大きな本震が起き、再び震度5弱を記録しています。震度6弱を超えるような地震は、阪神・淡路以降、48回あったのですが、より大きな地震が1日以内に起きたケースが、宮城県北部、紀伊半島、熊本の計3つで率にすると6%ですが、「初回よりも大きな地震がくるかもしれない」ということを、忘れてはいけないと思います。

阪神・淡路大震災以降、国内にはたくさんの地震計と震度計が置かれ、地震の揺れを詳細に調べることができるようになりました。熊本地震での益城町、阪神・淡路での神戸市葺合、新潟中越での小千谷、東北地方太平洋沖での宮城県築館に置かれた地震計データを見ると、いずれも震度7の揺れですが、揺れの強弱と成分幅に違いがあります。築館では小刻みな強い揺れが数分も続きまし

古村 孝志（ふるむら たかし）

略 歴

平成4年・北海道大学大学院理学研究科博士課程修了。平成4年・北海道教育大学教育学部助手、平成5年・北海道教育大学教育学部講師、平成8年・北海道教育大学助教授。地震波伝播、強震動シミュレーション研究に従事。平成12年・東京大学地震研究所地震火山災害部門助教授。地震波解析、強震動シミュレーション研究に従事。平成20年・東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター教授、東京大学地震研究所巨大地震津波災害予測研究センター教授を兼務。平成27年・東京大学地震研究所副所長、災害科学系研究部門教授。

主な著書

『NHKサイエンスZERO 東日本大震災を解き明かす』（NHK出版）、『千年単位の地震史が示す東海・東南海・南海地震の大連動の確実性』（『日本の論点2012』講談社）、『東日本大震災の科学』（東京大学出版会）など。



た。益城の揺れは10秒程度続き、茸合と小千谷もほぼ同様です。M7クラスの直下型地震では、断層の破壊時間が十数秒ぐらいで揺れの時間も十数秒ですが、揺れは激しく、木造家屋の多くが壊れます。対して海溝型の地震は揺れが長く続きます。M8からM9が想定されている南海トラフ地震のような巨大地震なら揺れ時間が数分続くとみておく必要があると思います。

“揺れの成分”にも注目する必要があります。揺れには、石垣を崩すようなガタガタとした小刻みな極短周期の成分もあれば、木造家屋を壊すようなゆっさ・ゆっさと感じさせる揺れ、高層ビルをゆ～らゆ～らと揺する長周期などがあります。熊本、阪神・淡路、中越、東日本の“揺れ成分”を調べた結果、熊本ではゆっさ・ゆっさとした周期があって、阪神・淡路に匹敵する強さでしたが、その成分は中越と東日本沖にはありませんでした。今回の鳥取地震では、木造家屋の倒壊が懸念される“揺れ成分”はほとんど含まれておらず、「瓶が落ちた」「崖が崩れた」など、極短周期の揺れによる被害が多かった。地震被害は地震ごとに大きく異なるということです。

余震の発生も個々に異なります。熊本地震の余震を日数と発生頻度から考えれば、新潟・中越地震を超えます。97年の鹿児島県北西部地震、2000年の鳥取県西部地震、05年の福岡県西方地震、08年の岩手・宮城内陸地震はずっと少なかった。同じ内陸地震でも余震の起き方・発生数は全然違うのです。

余震が収まるまではなかなか復旧・復興ができませんし、避難所の住民にすれば「怖くて家に戻

れない」という事態になります。したがって、余震も含めた地震への備え、家屋の耐震補強が重要です。直近の鳥取地震について、余震の多さを指摘する報道もありますが、余震活動は過去の内陸地震に比べ比較的少ない部類に入ります。もちろん今後の推移には注意が必要です。知っていただきたいのは、内陸地震は余震が多いものだということです。

地震のメカニズムを知る

さて、熊本地震はなぜ起きたのか。地震メカニズムの話を進めます。西日本、四国、九州、南には沖縄、台湾の沖には南海トラフ、さらに琉球海溝が続き、フィリピン海プレートが沈み込んでいます。陸のプレートが沈み込みに耐え切れなくなると反動でずどんと戻る。これが地震発生メカニズムです。琉球海溝は両側に開く「背弧海盆」で、開きの規模は年間3cmほどです。この動きに別府・島原地溝帯と雲仙間の一帯が耐えられず、切れて地震を起こしました。この一帯は活断層がたくさんあり、地殻が薄いので下からマグマが上がって雲仙普賢岳や阿蘇山が形成されています。つまり熊本の地震も阿蘇山の活動も、同じ地殻変動活動の中の一現象と見ることができます。

日本には活断層が約2,000本ありますが、特に要注意な断層が98本とされ、国の地震調査研究推進本部が重点的に地震危険度の調査を行っていました。その1本が、今回、地震を起こした布田川・日奈久断層です。実は最大M7クラスの地震が起きるという注意は出されていたのですが、

活断層の地震というのは、1000年から1万年に1回という発生確率なので、今後30年以内の確率ともなれば数値は低くなります。地震という低頻度現象の危険度を確率で表す難しさがあります。

私は地震の後から「熊本で地震があるなんて聞いたことなかった」という声を複数聞きました。でも本当でしょうか。明治22年にはM6.3の地震が起きて53人の人が亡くなっています。熊本城の石垣も壊れましたし、住宅が倒壊した写真もたくさん残っています。多くが過去を忘れていてのではないのでしょうか。伝承の忘却は熊本だけに限ったことではないと思います。

熊本の上空から撮影した写真を絵図化した画像を見ていただきます。周りが山で、まちには川が流れ、伏流水も豊富で、肥沃な平野が広がっています。「熊本ですよ」と言わなければ、みなさんの住むまちだと思われるかもしれません。日本国内には同じような環境の土地が多い。しかし、こういう地は地盤が軟らかいので、地震被害の危険度が高いということを忘れてはいけません。熊本地震下での益城町の“揺れ”を一例にあげます。地震計データを比べると、地下250mの揺れと地表の揺れには約10倍もの開きがありました。私たちは、軟らかい地表に住んでいるのです。もちろん国内には、地盤が硬い場所も存在します。防災科学技術研究所・地震ハザードステーションのウェブサイトをご覧いただければわかりますが、みなさんが住む地域の地震の際の揺れやすさが図示されています。地震に関する情報公開は進んでいます。実は熊本市も地震時のハザードマップをつくり住民に発信していました。布田川・日奈久断層が動いたときの地区別震度予測も発信されていたのですが、どの程度の人が目を通し危機意識を抱いたのかはわかりません。自治体は懸命ですが、なかなか住民の防災行動につながらないのです。

過去の災害を知り伝えるために

24時間内で起きた地震の震源を見てください。月間のデータにも目を通してください。震源は全

国広範囲に分布しています。国内ではどこでも恒常的に地震が起きているのです。日本には複数の活断層があり、プレート沈み込みの影響を受けます。プレートの動きはほぼ一定で、太平洋プレートは年間8から10cm、フィリピン海プレートが年間4から5cmですから、おおむね爪が伸びるぐらいのスピードです。その結果、海溝型地震の起きる周期は約50～100年に1回の頻度とされています。これに対して内陸活断層の地震は先述とおり1000年から1万年に1回です。ばらつきはあるものの、人が亡くなるほどの被害が起きた地震を時系列に整理すると、ほぼ一定間隔で推移しています。最近、よく「地震は活動期に入ったのではないか」と聞かれるのですが、冷静に過去を見る必要があります。日本列島では、おおむねマグニチュード7クラスなら年1回、8クラスなら10年に1回、9クラスは600年に1回ぐらいの発生頻度です。しかし繰り返すようですが、昔の地震は忘れがちです。2009年の駿河湾地震にせよ、08年の岩手・宮城内陸地震にせよ、地元以外の多くの人は忘れるのが普通です。

みなさんの住む地域が、過去、そして最近ではいつ遭遇したのかを把握しておくことは大事です。国からも地震の発生確率が示されています。3.11前、海溝型地震が宮城県沖で30年以内に99%の確率で起きると予測されていました。ただ実際は、想定マグニチュードを上回っただけではなく、震源域も広域で、巨大津波が広範囲を襲いました。地震の予測というのは簡単ではありません。宮城県沖での地震は過去600年間、平均37年間隔で起きてきたのに、3.11は過去と違うレベルの地震だったのです。数百年の経験からの予測の限界です。

内陸活断層のうち危険度の高い98本についても、地震の発生確率が出されています。先述したとおり、日奈久断層、布田川断層についても発生確率は出されていました。ただ、数値そのものはあまり大きくなく、30年以内の発生確率は0.9%でした。「0.9%なのに地震危険度が高いのか」と思われるかもしれませんが、内陸活断層の発生確率の見方に注意が必要です。というのは、述べたよう

に活断層の地震は1000年～1万年に1回の発生頻度だからです。日奈久断層での平均発生間隔は1,350年プラスマイナス500年という大きな幅があるのです。もちろん、個人の立場で考えたら、知りたいのは生きているうちのことで、せいぜい30年以内かもしれません。

内陸活断層にせよ海溝型地震の危険度にせよ、「全国地震動予測地図」が示されているものの、見方が難しい点もあろうかと思えます。例えば30年以内に震度6弱以上に見舞われる確率の図がありますが、30年に対する危険度をどう認識するのか、あるいは確率が相対的に小さい地域ではある種の安心感を抱くかもしれないという懸念もあります。予測地図は安全地図ではないと認識しておく必要があると思います。自治体の企業立地ガイドの中には、他地域と比べ、自然災害発生に対する安全優位性を盛り込んだものもありますが、確率の見方の間違いと都合のよい解釈です。私たちは、正しく日本の地震危険度、地域の危険度、過去に起きた災害を伝えていくことを考えないといけません。

「最悪」シナリオを想定した備えに臨む

私たちは5年前の東日本大震災を忘れることはできません。地震の震源は宮城県沖ですが、巨大地震にとっては“破壊開始点”でしかありません。断層がずれ動いた範囲は岩手から茨城にかけての沖合の南北約500km・東西約200kmにおよび、プレートが20m超の滑り込みを起こしました。東日本沿岸は、大きく長く続く揺れに見舞われ大津波が発生しました。海溝型巨大地震の長い揺れには小刻みな揺れが強く、これが地盤を壊し、液状化で地盤が傾く、マンホールが浮く、電柱が倒れる、といった事態にもなりました。同じような地盤災害は、崖地に整備された住宅地の地崩れにも当てはまります。地盤が崩れてしまったら、丈夫な家でも大破し強い揺れによる家屋崩壊被害と地盤災害の両面を考える必要があると思います。

東北地方太平洋沖地震では、海のプレートの上を陸のプレートがはね上がりました。はね上がった

プレートは沈下し、沿岸域では満潮時に冠水するといった現象も起こっています。実は1946年の南海地震でも、高知の市街地が地震の地殻変動で同じ現象になりました。もとのに戻るのに20年くらいかかりました。次の南海地震が再来すればまた沈下するでしょう。下がった陸には海水が津波として沿岸に押し寄せます。津波というのは、“海が揺れる”のではありません。持ち上がった海底から押し上げられた巨大な水の塊が陸に押し寄せてくる現象です。

M9最大級レベルの地震の東北地方太平洋地震を経て想定がなされるようになってきました。先ほど話したように、宮城県沖ではおよそ37年周期でM7.5の地震が起きていました。1978年の宮城県沖地震から数えれば、「もうそろそろだ」と心配されていました。確かに地震は起きたけど、600年に1回しか到来しないような超巨大地震でした。得られた教訓は、過去の経験だけに縛られないということだと思います。確かに私たちは過去を調べることはできるものの、知りうる歴史というものは限られています。もっと昔に、あるいは将来に、私たちが知らない地震があったかも、もしくは将来に起きる可能性があるという発想に立つ必要があります。ただ、最大級想定をめぐっては、「南海トラフ地震で沖縄まで壊れるかも」と言う人もいますが、そこまでは考えていいかは疑問です。九州・パラオ海嶺から駿河湾にかけての範囲が今の科学で妥当と考える最大レベルです。補足すれば、有史以来の最大スケールは1707年の宝永地震とされていますが、被害の詳細は不明で、死者2,000人とも2万人とも言われています。桁が違うほどよくわからないのです。地震の49日後には富士山が大噴火しました。その4年前には2000年に一度という頻度の元禄関東地震が起きており、幕府や藩の財政は逼迫しました。こうした地震災害のシナリオを考えておく必要があると思います。「万全な備え」はできないとしても、国の危機管理としての最悪シナリオを考えることは重要です。先般、最大級の南海トラフ地震を想定した内閣府の想定資料などをもとにした報道がずいぶん話題になりました。高知県黒潮町では33m

の大津波がくるなど、過去に例をみない内容になりました。

今日、南海トラフ地震に備えた津波被害想定は、既往最大と、最大級の2本立てになっていますが、非常に混乱した状態にあると思います。例えば津波への備えとしての防潮堤の高さをどう定めるのが適切か。難しい判断ですね。議会や住民と議論を尽くして合意を得なければなりません。「医療費や教育費に充てるお金よりも防潮堤建設を優先させていいのか」、いや「人の命は大事だから」と言い切って借金しても設置するのか。最大級の地震の津波来襲は1000年後か2000年後かもしれないけどメンテナンスし続けるという合理性も問われる。結局、正答がない中で議論することになる。私は、公共施設などの重要構造物は一定の高さのある場所に確保すべきだと思いますが、全てを防潮堤で支えるのではなく住民の避難行動が適切に行えるまちをつくっていくことが、妥当なのではないかと考えています。

“揺れ”への備えはどうでしょう。地震で気をつけるというものには、地盤災害という一面もあります。先にも触れたように軟らかい地盤上では住宅倒壊の被害が大きくなりますので、もちろん耐震化は最優先です。「怖いのは津波だけ」とは決して思わないでいただきたいと思います。

南海トラフ地震で地域がどの程度の震度に見舞われるのか、説明しておきます。国が出している予測図上でオレンジ色に識別されている一帯は震度6強で、地盤の悪い所はぼつぼつと赤く識別され、震度7が想定されています。

南海トラフは陸に近いので、東日本大震災時の津波よりも短時間でくるでしょう。震源地に近い所では5分と想定されていますから、おそらく揺れが続いているさなかです。となると、耐震性のない家では壊れる、家具の下敷きになる、退避路が塞がれるという事態下ですから、避難は困難を極めるでしょう。

1946年の南海地震については高知気象台の地震計記録が残っているのですが、すさまじい揺れが10分以上続いたということがわかります。南海トラフ地震に対する備えは、津波以前にまずは揺れ

であることを忘れてはいけません。

余震や誘発地震にも留意が必要です。過去を見ても、昭和東南海地震が1944年に起き、翌45年には三河地震、46年には昭和南海地震、2年後の48年に福井地震が起きるなど、南海トラフ地震の前後にも内陸で地震活動が活発化する傾向があります。地震というのは1回だけですまないのです。

南海トラフ地震の発生確率は「30年以内に70%」。2012年に想定された最悪シナリオでは、32万人が死亡、経済損失は国家財政の2倍を超える220兆円です。ですが、実際の被害はわかりません。地震の規模、発生時間帯などによって事態が異なるからです。地震発生の確率が高いのは事実ですが、その被害が「最悪」になるかどうかともわからない。メディアなど一部には、人を脅かすような表現をしているようですが、人々に対策へのやる気を起こさせなくなるような逆効果を生んでいるのではないかと指摘する社会心理学者もいます。情報が錯綜する今日、冷静・適切に考えて、南海トラフ地震の対策をとっていただきたいと思っています。

「伝承が住民の主体的な“備え”を促す」

地震の“揺れ”を補足したいと思います。2014年の長野県北部の地震は、内陸活断層である神城断層の最北端で起きた地震でした。大被害に遭ったのは白馬村堀之内地区や三日市場地区です。山があり、川が流れ、田んぼや畑が広がった土地です。水量が豊かで、湧水もあるという豊かな地が大きな揺れに見舞われました。軟らかい堆積物に覆われた地では、震源の真上よりも長時間、揺れが続くことがシミュレーション上でも確認されています。歴史資料によると、1714年の信濃小谷地震、1858年の信濃大町地震でも、震度6強相当の強い揺れにみまわれ、白馬村堀之内の過半数は家屋が全壊したそうです。歴史地震研究者・都司嘉宣先生の研究発表に依拠するものですが、地区が災害経験を生かせなかったのかという疑問を私は強く抱きました。過去が忘れ去られる現実、最近地震が続いた長野や熊本、鳥取だけでなく、全

国共通の問題だと感じます。

マスコミ報道ではなかなか備えを実践した人の声が紹介されていないようにも思います。もちろん、発災直後の被災している中で、「うちは耐震補強を施したから問題なかった」といった声は伝えにくいという判断かもしれませんが、備えの成功例に、多くの人が耳を傾けなければいけないと思います。

首都直下地震が心配されている東京を観察してみましょう。関東大震災でも証明されたのですが、埋め立て地や低地に位置する下町の地盤は揺れやすいことがわかっています。都心なら銀座の地盤は揺れにくいですが、大手町は揺れやすい。さすがに銀座にわが家を建てることはできないですが、揺れへの備えは、先にも述べた防災科学技術研究所・地震ハザードステーションのウェブ情報を活用するなど、個人レベルでも臨めるのではないのでしょうか。

予知サイエンスの最前線

地震の予測サイエンスがどこまで進んでいるのかを話します。直前予知として警戒や注意情報を出し、避難を促すことへの期待は高いです。目下、直前予知の仕組みができてるのは「想定東海地震」だけです。南海トラフの東端、つまり駿河湾から御前崎沖に沈み込むプレートでは陸上から観測し続けており、およそ地震発生の2～3日前の異常を見つけることができる可能性があると考えられています。しかしそれ以外の想定震源域は沖合100kmから200kmに位置しますから、前兆があっても、陸の観測では把握できないのが実情です。内陸の直下地震予知においては、M7クラスの地震と小さいため、前兆現象は非常に小さく、残念ながら今は直前予知できる仕組みはできていません。できることといえば、発生確率や地域の危険度の高低といった相対的な評価に限られます。

ちなみに想定東海地震の観測で前兆が見つかれば、気象庁で判定会が開かれ、地震発生の可能性が高まれば内閣総理大臣に伝えられ警戒宣

言が出されます。判定会が招集されないまま、突然、地震が起きる可能性も十分にあります。突然の発災もみなさんの視野に入れていただきたいと思います。阪神・淡路大震災の後、国土地理院が全国1,200か所に観測測量点を設け、リアルタイムで陸のプレートのひずみを調べています。1mmから2mmの精度で各地のゆがみがわかり、情報はウェブにも公開されています。海底の観測技術にも触れておきましょう。海のプレートと陸のプレートに蓄積される歪みを陸からの観測だけではなく、海底で観測しようと海上保安庁が取り組んでいます。陸ならGPSを活用できますが、海底では電波が届きませんので、海に沈めたマーカの距離を船から音波で測るすごい技術です。開始されたのは10年前で、南海トラフのプレート間の固着ぐあいも把握できるようになりました。詳しく見ると、四国沖、駿河湾沖でもがっちり固着しているなど、次の地震に向かう様子が見えています。

私自身の研究の一端も紹介します。今、京コンピュータなどを使って、過去に起きた地震を再現する試みに臨んでいます。阪神・淡路大震災でなぜ市街地が強く揺れ、6,300人ものが亡くなるような木造家屋破壊・火災を起こす激しい揺れになったのか。基本的には、神戸の地下構想と断層が影響したことはわかっています。さらにシミュレーションを重ね、発災の可能性が高い全国の地域・地区に対し、揺れ度合いも含めより具体的な予測データを発信したいと思っています。

今後、サイエンスの進化に伴い、精度の高い緊急地震速報や津波の観測情報を出せるようになるでしょう。夢物語ではありません。実際、3.11から5年、国は太平洋の140か所で海底ケーブルを敷いた観測点を設置するなど、観測力を高めようとしています。地震への備えに、終わりはありません。もちろん不確定性の高い自然現象への減災への備えは難しく、なかでも地震発生予測は非常に難しい。しかし減災につなぐためには、地震の根源を知り、およぼす災害の原因をしっかりと突き詰めることが必要です。技術と知恵を生かさなければなりません。