

南海トラフ巨大地震や京都周辺の活断層地震が 京都市へ及ぼす影響について

京都大学防災研究所
地震災害研究部門 教授

岩田 知孝氏

東日本大震災から10年が経とうとしている。2011年3月11日午後2時46分に発生したマグニチュード9.0の2011年東北地方太平洋沖地震は、岩手県沖から茨城県沖の南北長さ約500km、東西幅約200kmの岩盤が最大50m以上ずれることで、東日本を中心強い揺れをもたらすとともに、東北地方と関東太平洋側を中心に巨大津波が襲い、壊滅的な被害を引き起こした。震災による死者・行方不明者は18千人を超え、40万棟以上の建物が全壊・半壊となった。津波に襲われた福島第一原子力発電所において炉心溶融が発生し、周辺住民の避難の長期化といったことも引き起こした。被害総額は原子炉事故を除いても約17兆円と推計された（内閣府）。

2011年東北地方太平洋沖地震時には京都市内では震度2が観測されて、揺れた記憶がある方が多くおられると思うが、さすがにこのような揺れでは被害はない。2011年東北地方太平洋沖地震ほどの規模でなくとも、もっと近くで地震が起きれば揺れが大きくなることは想像できる。このテーマは、様々な地震により京都市がどのように揺すられるか、ということであるので、まず、2011年東北地方太平洋沖地震と似たタイプの地震を京都の近くで探してみる。2011年東北地方太平洋沖地震は、東北の太平洋側にある太平洋プレートが、日本の陸地が載っている大陸プレートの下に沈み込んでいる境界で起きたプレート境界地震であった。西日本に目を向けると、同様にフィリピン海プレートが大陸プレートの下に沈みこんでいて、巨大地震が歴史的に繰り返し起きていることが知られている。南海トラフ（深い溝）は、このプレートが沈み始めるところに位置していることから、この境界でおきる地震を南海トラフの地震と呼んでいる。

南海トラフでいつ、どのくらいの地震が起きてきたかは、図1のようにまとめられている。直近は1944年の昭和東南海地震、1946年の昭和南海地震で、それらの発生より現在は75年ほど経過している。この表からは、「繰り返し」起きていることはわかるが、繰り返し間隔は90年から265年と幅があるし、「震源域」と書かれている部分もいろいろバラエティがあるな、という風に感じるのではないかと思う。今の観測態勢に

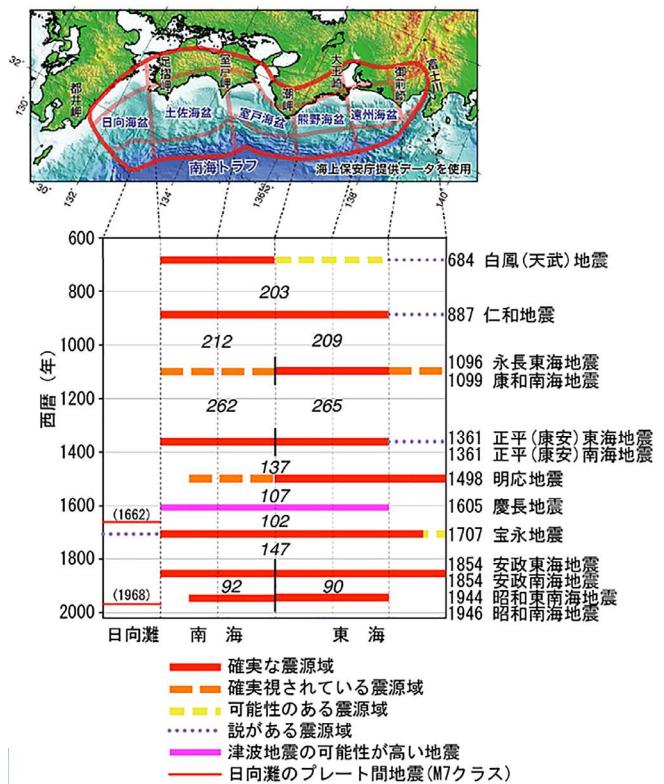


図1 過去に発生した南海トラフ地震の震源域の時空間分布

[南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）]

(地震調査研究推進本部

<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nEQ/nEQ.html>

近い、地震計を使った近代的な地震観測が実施されていたのは、昭和の地震だけで、それ以前は、いわゆる古文書からの情報が主であることに注意する必要がある。津波の遡上高から、どのあたりの海底面がどのくらい変形したか、そして変形を作るためには、地下の断層面がどれくらいずれなければいけないか、という震源域の推定結果も考慮されている。

古文書情報としては、地震がいつ起きたか、という「日にち」情報は信頼できることであろうが、震源域というのは、揺れがどれくらいだった、といった記載や、揺れによる被害の様子、更には津波被害といったことから推定しているので、それなりの精度であることを認識して置く必要がある。発生間隔が200年以上開いているところの時代に信頼できる古文書が欠落していれば、その間南海トラフの地震がなかったとは言えないかもしれない。

南海トラフの地震の実態として、比較的よくわかっているのは、江戸時代以降の1707年宝永地震、1854年安政東海地震、安政南海地震、及び上述の昭和の地震である。1707年の宝永地震は、東海+南海の震源域全体が一度に活動したと考えられる一方、1854年の安政では東海地震が発生した32時間後に南海地震が発生し、昭和の場合は東南海地震発生して約2年後に南海地震が発生した。これからも発生の仕方も様々であることがわかっている。

この3例の地震のうち、揺れによる被害分布や津波の遡上分布から、1707年宝永の南海地震が一番大きい地震であったと考えられている。地震規模M8.6は、2011年東北地方太平洋沖地震発生前に国内で認識されていた最大規模の地震であった。この地震に限らず、南海トラフの巨大地震では、震源域に近く、海岸に面している四国や紀伊半島の太平洋側での津波及び揺れの災害が多くなったことが古文書に残っている。宝永地震の時には、大阪をはじめとする瀬戸内海各地において、河川などを伝って津波が遡上して被害を拡大したといった記載が残っている。揺れの被害について、大阪平野の東に位置する河内平野で家屋が多数倒壊した記述から、震度6～7（宇佐美・ほか、2013）（現在使われている震度階級の1つ前の、震度0から7の8階級のもの）、奈良盆地の寺社において被害があった記載から、震度6相当と考えられている。一方、京都（当時の京都洛中と考えられる）では震動がゆるかっただという記載がなされ、震度5くらいと考えられている。また、日本の各都道府県の地震被害に関する地震活動をまとめた、京都府の地震活動の特徴（地震調査研究推進本部、2020）においても、歴史的な南海トラフの巨大地震での地震被害の記載はない。このことから、古文書で残っている限りにおいては、南海トラフの巨大地震で京都市が大きな被害を被るという可能性が低いと言える。

1点注意があり、南海トラフの巨大地震は1707年宝永地震が最大規模なのか、という点についていくつかの状況証拠をあげて考えたい。2011年東北地方太平洋沖地震の発生前には、日本海溝沿いの大地震は、M7.5～M8程度の地震がそれぞれ棲み分けているという作業仮説を研究者はしていた。その中で、平安時代中期の869年に貞觀地震が起き、陸奥国が大震動に見舞われ、津波が襲った記載が残されていた。この地域の津波堆積物調査が実施され、東日本沿岸は過去約3500年の間に7回以上、津波に襲われていたことがわかり、貞觀地震（そして、2011年東北地方太平洋沖地震も）もこれらに含まれる津波を引き起こした地震である可能性が高いことがわかった。震源域は棲み分け

ているわけではなく、時には同時に活動して巨大地震になる可能性があるということだ。なお、京都市民が慣れ親しんでいる祇園祭の起源が、この貞觀地震をはじめとして、この前後に日本各地で発生した自然災害による災難を鎮魂するために実施された御靈会にあることはご存じかもしれない。

では南海トラフの地震はどれくらいバリエーションがあるのか？歴史史料からは図1のような情報が得られていて、1707年宝永地震が最大級かなとも思う。四国から九州にかけて、海岸近くにある湖沼の堆積物調査が実施された。津波によって海成堆積物が淡水成堆積物の間に挟まっているのを調べるというわけだ。そんな都合のよい湖沼が沢山あるわけではないが、例えば図2のように、離れた湖沼でそれぞれ堆積年代と堆積層厚を調べた結果、1707年宝永地震の時に運ばれた堆積物厚より、それより過去の今から約2000年前に、場所によっては、より厚い堆積物を残しているイベントがあったことがわかった。津波によって運ばれた堆積物厚、という指標からだけではあるが、1707年宝永地震より大きい津波を伴う地震があった可能性が指摘できる（海洋開発研究機構）。

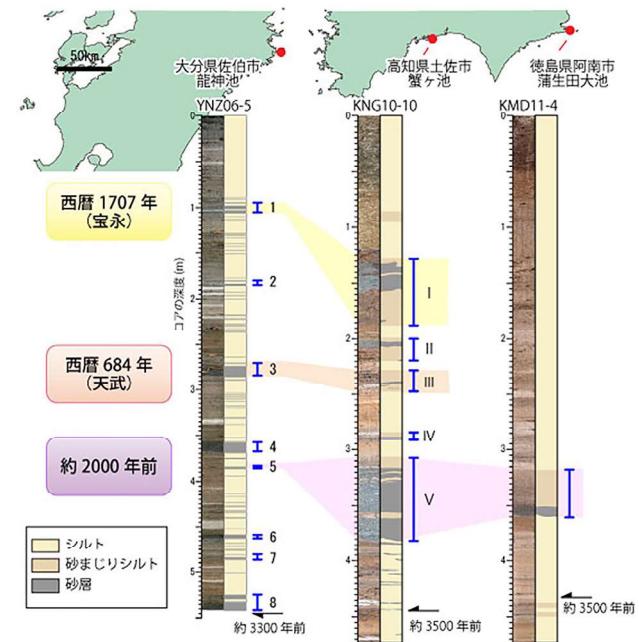


図2 九州東岸から四国の津波堆積物の対比
(東海・東南海・南海地震の連動性評価研究, 海洋開発研究機構
<https://www.jamstec.go.jp/donet/rendou/report/predict02.html>)

内閣府では東日本大震災の発生を受けて、南海トラフにおいてもM9クラスの巨大地震の発生を想定した場合の震度分布と津波高を求め、被害想定を行っている（内閣府、2012、2013、2018）。これによれば、京都市から京都府南部域では（現在の震度指標で）震度5強から場合によっては（様々なモデルを想定しているため）震度6弱となる。震度5強、6弱と言えば、2018年大阪府北部の地震の震源近くである、高槻市や



茨木市で震度6弱の観測点があり、その周辺は5強であったが、その程度ということとすれば、屋根瓦が落ち、ブルーシートが屋根に多数掛けられていた風景を思い出す方もおられると思う。南海トラフの巨大地震が起きたとしても、京都市では現在の建物が倒壊するような揺れにはならないだろう、というのが、前半の結論だ。

内陸の地震はどこで起きているのだろうか？多少の違いはあるが、日本近くでは小さい地震は地殻上部のどこでも起きている。では地震被害を引き起こすような地震はどこで起きているか、というと、歪みを一気に解放するため、プレート境界地震と同様、ある破壊面が繰り返し動いていると考えている。図3をみていただくとわかるが、地下の震源断層と呼ばれる部分が動いて、そこに溜まっていた歪みを解放する。その震源断層の「頭」が地表地震断層と呼ばれる。2016年熊本地震の本震の時に、益城町などで見つかった総延長約30kmの地表のズレがそれにあたる。1回の地震で地表までズレが達するくらいの広い断层面が動いたためである。

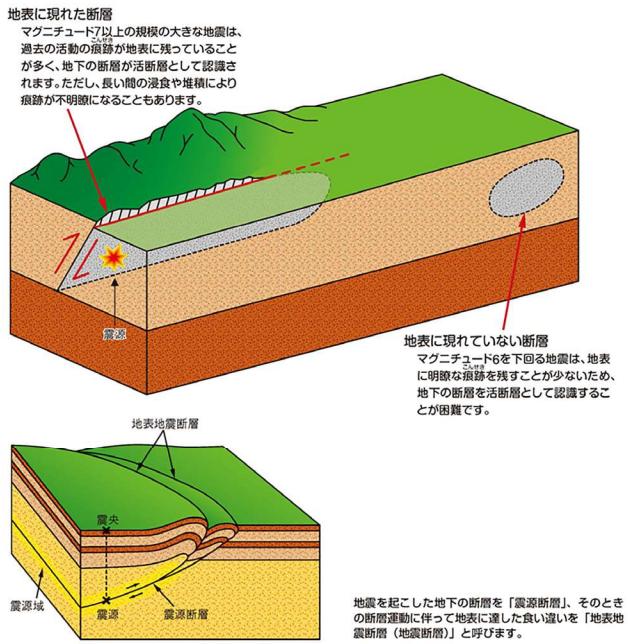


図3 地表地震断層、震源、震源断層の説明

(地震調査研究推進本部 <https://www.jishin.go.jp/materials/>)

「活断層」という言葉は聞かれたことがあるだろう。「活（い）きている」、地層を断ち切っている「断層」とはどういうことか？約45億歳の地球において、生きているとは、最近数十万年の間（約260万年前以降の第四紀、という定義もある）に繰り返し活動（動いている）断層を、つまりその間に堆積した層をずらせた痕跡や地形的な特徴から活断層と判断している。2016年熊本地震本震で生じた地表地震断層は、この活動以前に、活断層として認定されていた、布田川

断層帯という「活断層」に沿っておきた繰り返し活動した結果の活断層と、1回の地震の地表地震断層が合致するということは、その地表地震断層の下に、強い揺れを引き起こす震源断層が隠れていると考えることができる。

そういう観点で、図4の「京都府の地震活動の特徴」の中に書かれている、活断層を見てみよう。地図中に赤い線は著名な活断層で、京都府内、また近所に沢山赤い線があることに気づくだろう。少し注意深く見てみると、京都市街地である京都盆地の東西の山と平地（盆地）の境界に沿って活断層があることがわかる。京都盆地は、東と西の、今、正に東山丘陵、西山丘陵、と名前がついているところが上昇し、盆地が相対的に沈降することでできた地形なのだ。この地図の中には、被害地震の場所と発生年代、地震規模（マグニチュード）が書いてある。京都盆地の周辺には思いの他多くの○印がついていることに気づくだろう。図の○の色は、1884年以前と1885年以後に分けてあるが、地震カタログ（地震のデータベースのこと）で、発生時刻、位置、地震規模、場合によっては被害の様子が記されているが、1884年以前は宇佐美・他（2013）などの古文書史料調査に基づくものである一方、1885年以後は、主として震度観測の資料に基づいた宇津（1982）や気象庁（当時は中央気象台）による地震計を使った解析に基づくカタログによっているためである。京都は長らく都があり、古文書が沢山残されていることもあって、過去の地震の記載は豊富であるといえるだろう。それでも京都にお住まいの皆さんは、強い揺れに襲われたことがない、と感じられるだろう。最近それなりに揺れた、というのは1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）と、2年前の2018年大阪府北部の地震くらいだろうか。京都では、1995年兵庫県南部地震時に大山崎や長岡京、右京区摂原、物集女あたりで軽微だが建物被害が生じたし（植村、1999）、2018年大阪府北部の地震では、震源に近い八幡市を中心に屋根瓦の崩落といった軽微な建物被害が起きた。

では、京都市内の東西の活断層である、花折断層帯や西山断層帯が活動した場合には揺れはどのくらいになるであろうか？こういった、発生する可能性のある地震が起きた時に、周辺がどのくらいの揺れに見舞われ、建物倒壊等の被害がどれほど発生するか、といった地震被害想定がなされている。京都府や京都市は、推定震度や地盤の液状化の発生の可能性といった情報をそれぞれウェブ上で公開している。京都市防災危機管理情報館の防災ライブラリには、京都市各区の印刷用の各種被害想定の地図がある。京都府マルチハザード

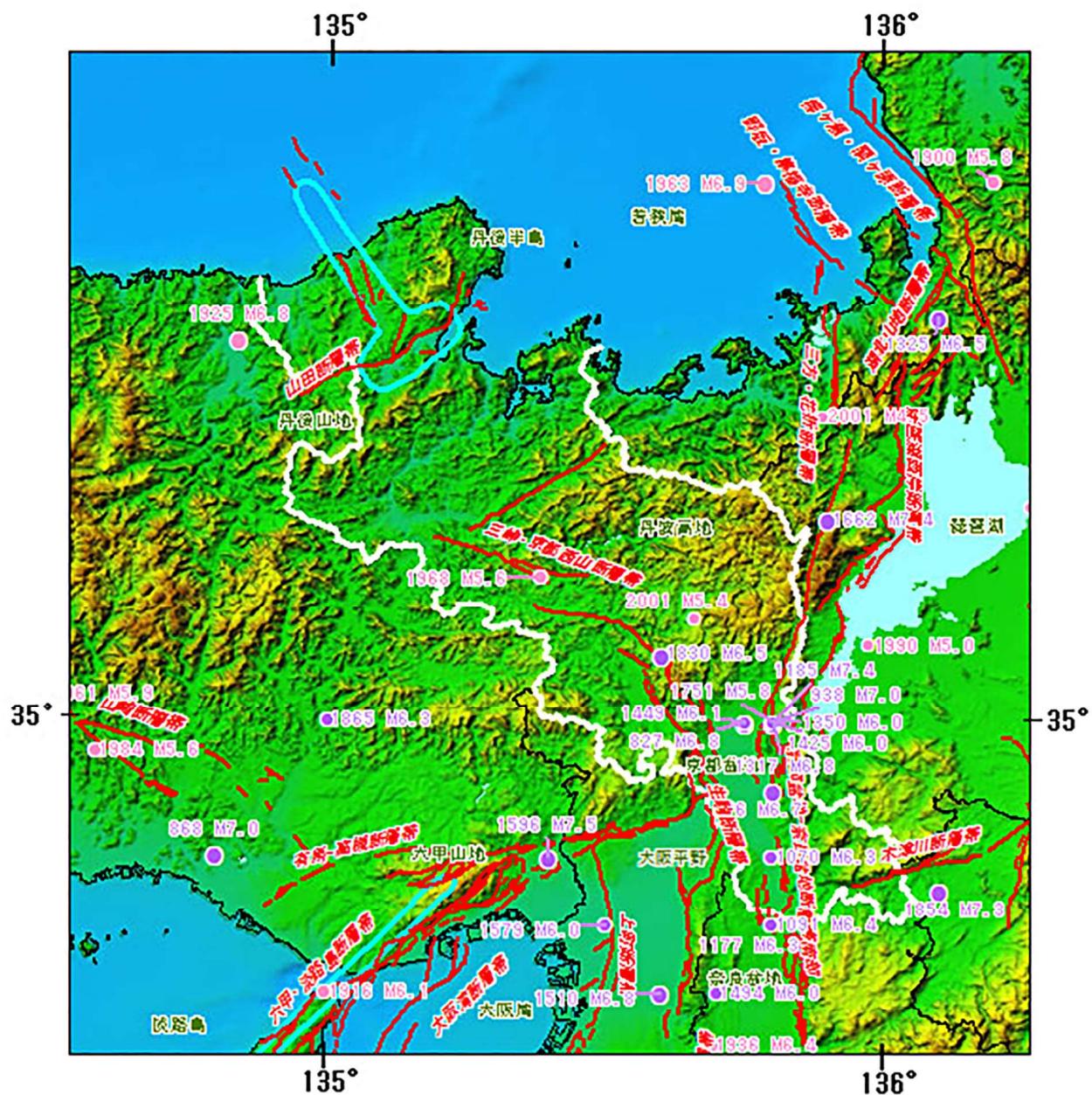


図4 京都府の地震活動の特徴

(地震調査研究推進本部 https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kinki/p26_kyoto/)

ド情報提供システムでは、被害想定地図が画面上で提供されるため、我が家のある危険度や街全体の危険度を知ることができる。

例えば後者で、「活断層の地震」を選ぶと、京都盆地のほとんどが震度6強で、盆地の縁で震度7にもなることが示される。ただし、この図面は、ある地震が起きた時にそういう揺れの分布になるわけではなく、判っている活断層の地震のどれかが起きた時の、その地点の最大揺れを示していることに注意する必要がある。地点を選ぶと、その地点の活断層毎の想定される震度一覧が出てくる。東山沿いの盆地の縁の震度7は、花折断層帯が活動した場合であり、西山沿いの盆地の縁に現れている震度7は、西山断層帯が活動した場合、ということがわかる。

古文書には地震被害がそれなりにあったことで、図

4のように京都盆地付近で地震があったことはわかるが、甚大な被害が起きた例はあるのか、ということについては、1596年慶長伏見地震をあげてみよう。400年以上も前のことになるけれども。この地震は、これまでに出てきた花折断層帯や西山断層帯を震源としているわけではなく、有馬高槻断層帯で発生したと考えられている。マグニチュードは $7\frac{1}{2}\pm1\frac{1}{4}$ と幅があるが、1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震より大きい。京都市では京都三条より伏見にかけて被害が大きく、伏見城の天守大破、石垣崩壊、東寺、天竜寺、二尊院、大覺寺等が倒壊した（宇佐美・ほか、2013）。伏見城で死者が3～6百名（北原・ほか、2012）などになっている。古典芸能に詳しい方ならば、謹慎を秀吉から言い渡されていた加藤清正が、この地震の時（発生は夜中だが）に秀吉のもとに駆けつけ助けたことか

ら謹慎が解かれた、という、歌舞伎や上方落語の「地震加藤」をご存じかもしれない。逸話がこのような形で残されているほどインパクトがあった事件である、ということなのであろう。

建物が沢山倒れた経験が400年も前なので、京都市内において大きい地震被害が出るイメージがわからないけれども、京都が抱える2つの脆弱性を指摘したい。ひとつは、寺社も含め伝統的に貴重な建物が多いことから、建物群（建物ひとつひとつというよりは、寺院、神社の建物一般として、という意味）としての揺れへの脆弱性が指摘できる。一部の寺社では耐震性能をあげることをしているが、見上げるほどの立派な屋根を持つ門や本堂は、その莊厳さ、偉大さには歴史の重さと京都らしさをひしひしと感じると同時に、今、強い揺れがおきなければよいな、とも感じてしまう。

もうひとつは、慶長伏見の地震当時の京都の街並みがどの範囲だったか、ということである。図5は、豊臣秀吉が京都に御土居を築き、洛中と洛外が明確に区分された。街並みは京都にお住まいの方はご存じの御土居の中に集中していたわけだ。震源断層に近かった伏見で大被害の他の京都の被害は、この中及び周辺の寺社の被害として記載されている。京都盆地全体にくまなく広がり、大きな街並みを作っている今の京都のほとんどは、慶長伏見の地震のおりには、建物はほとんどなかつたわけだから、もし、同じ規模の地震が再来したとしたら、一般的の建物群は当時よりずっと地震に強いと思われるが、とても多くの方が被災することは明らかである。

京都の街並みで地震災害で恐れるべきことのひとつは火災である。一般的の建物は、地震災害を経験するたびに建築基準法の改訂につながり、新築の建物は人命を守ることができるような耐震性を保有してきている。京都の建物は、伝統構造物が多いことから、耐震性が十分である建物とそうでない建物が混在していると言える。地震は弱い者いじめをするので、耐震性の低い建物が狙われ、街並みの中でそういった建物が倒壊することで、周りへ2次的な影響を及ぼす可能性がある。倒壊により火災が発生すると、場合によっては倒壊していない街並みだったので、火災消失されることにつながるかもしれない。悪いことが重なったことを言っているわけではなく、1995年阪神・淡路大震災では多地点で起きたことだ。古い家についての耐震診断に関しては、各地方自治体が補助事業を実施している。京都市の場合は、木造住宅及び京町家耐震診断士派遣事業を行っている（京都市）。ご自宅の建物が古いといったご心配の方は、確認されることをお勧めする。

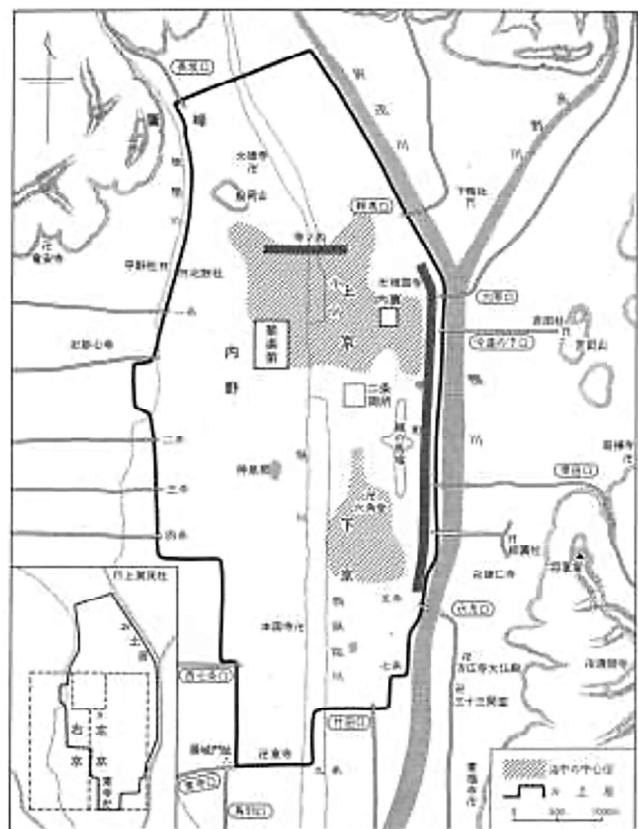


図5 天正19年（1591年）頃の京都市街
京都市歴史的風致維持向上計画の報告書より引用（京都市
<https://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000071658.html>）

京都盆地を取り巻く活断層が活動した場合に京都盆地は強く揺れることはわかつたが、ではそれがいつ頃の事なのか、ということについて述べる。図4では京都周辺に沢山活断層があることはわかつたけれども、その中で、花折断層帯と西山断層帯について考えよう。

日本に影響を及ぼす地震のもととなる、プレート境界あるいは活断層といった場所を特定した時に、大きな地震が起きる確率値は文部科学省地震調査研究推進本部が公表している。それぞれの断層帯などの科学的な調査結果を踏まえて、日本のその分野の研究者が集まった部会、委員会、というところで議論し、求めているものだ。そこでは花折断層帯は、三方・花折断層帯（の一部）として、西山断層帯は三峠・京都西山断層帯（の一部）として評価されている。京都府や京都市の地震危険度図などの対象となっている、花折断層中部は、最新活動時期は約28百年前以降6世紀（14百年前）以前、平均活動間隔は約42～65百年、想定されるマグニチュードは7.0程度、今後30年発生確率はほぼ0～0.6%、京都西山断層帯は、最新活動時期は約24百年前以降2世紀以前、平均活動間隔は約35～56百年、想定されるマグニチュードは7.5程度、今後30年発生確率はほぼ0～0.8%とされている（地震調査研究推進本部）。



これらの発生確率の数値は、最初に述べた南海トラフの巨大地震とはかなり違って、小さい。小さい理由は、まず100~200年に一度といったタイミングで繰り返し発生している南海トラフの地震と違い、活動間隔は数千年と一桁違う間隔であることが大きい。また、最新活動時期や平均活動間隔の数値はかなり幅があって、これって信頼できるのか？と思われる方もいるだろう。幅があるのは、例えば活動時期は古文書に対応する地震でない限り、積もった地層がずれているということから調べるのだが、その地層の年代測定の幅によるものが大きい。平均活動間隔もそれに似た幅が存在し、結果的にそのような幅がある数値になっている。この数字を見て、自分がここに住んでいる間には「起きない」と考え、何もしないのか、幅も含めるといつ起きるかはわからないので、準備だけはしておこう、と考えるか。ここからは受け取り手の問題なのかもしれない。科学的に言えることは、先にも書いたが、活断層は繰り返し動いているから、その地下には震源断層があり、動いたら強い揺れが襲う、ということだけだ。

地震の発生に関しては、歪みがかかり、その物質の強度を超えることによって起きる破壊現象であることから、機械の金属疲労による故障といったことと比較して考えると、破壊が起きる前には、（機械なら）音がするとか、妙な震動が起きるといった前兆現象があるので、地震の発生もそういったことが観測できるかもしれない、と様々な量の観測をしてきているが（現在も行っているものもある）、金属に比べて地震を起こす地球の内部はもっと複雑であることによるのか、前兆をつかめたことはなく、破壊に至る物理モデルも作業仮説としていくつも提案されているが、観測によって検証されてはいない。この活断層は○年後に必ず動く、とか、明日動く、といった予報はまだまだ出せそうにない。それには備えることが重要なのではないか、と考える。

最後に、ひとつ興味深い観察事実を述べて、この稿を終わりにする。南海トラフの巨大地震と西日本の内陸の地震、いわゆる活断層に関する地震の関係だ。内陸の活断層にかかる力、歪みも、元はフィリピン海プレートが大陸プレート下に沈み込むことによって生じているので、何らかの関係があると考えてみるのは自然なことだ。図6は、南海トラフの巨大地震の発生時と西日本の内陸地震の発生時の相対的な特徴をみたもので、8回の南海トラフの巨大地震の発生年を0年とし、その前後に起きた内陸地震の発生年を10年毎の頻度数で示したものである。横軸、年グラフのマイナスは南海トラフの地震の前に起きたことを現し、プラス

は地震の後に起きたことになる。例えば1944年東南海地震発生の後、1948年におきた福井地震は、0から10の間のヒストグラムにカウントされる（Hori and Oike, 1999）。もし、南海トラフの巨大地震と内陸地震が無関係に起きていたら、このヒストグラムは平坦なものになるであろう。しかし、ヒストグラムは巨大地震が発生する前に段々と高くなり、発生後もしばらく内陸地震が起きていることを示している。

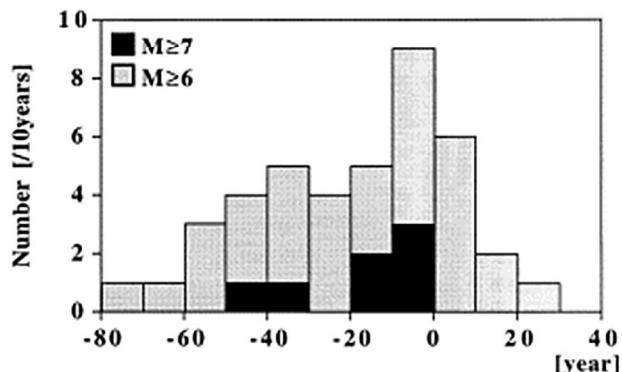


図6 南海トラフの地震の発生前後10年毎の、近畿の内陸地震の頻度の重ね合わせ。基準年は887、1096、1361、1498、1605、1707、1854、1944年の8回（Hori and Oike, 1999）。

では、現在はどのあたりに居るか、ということなのだが、1948年福井地震の後、西日本ではM 6以上の内陸地震、活断層に関する地震は起きていないかったが、1995年兵庫県南部地震を発端に、2018年大阪府北部の地震まで、このグラフに入れることのできるM 6以上の地震がいくつか起きていることから、このグラフに置き換えれば、巨大地震に向けて内陸地震が増え始めている-60年とか-40年あたりにいるのではないか、と考えている。ということは、どの活断層かわからないけれども、次の南海トラフの巨大地震発生に向けて、内陸地震の発生がいくつかあるだろう、という予想がつく。足元にある活断層が活動した場合の揺れに備えることが今必要となっている。



参考文献等

宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子（編）、2013、日本被害地震総覧599-2012、東京大学出版会

宇津徳治、1982、日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年-1980年、東京大学地震研究所彙報、57、401-463。

https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_snippet&index_id=4535&pn=1&count=20&order=17&lang=japanese&page_id=28&block_id=31

海洋開発研究機構、東海・東南海・南海地震の連動性評価研究

<https://www.jamstec.go.jp/donet/rendou/report/predict02.html>
(2020年12月1日閲覧)

北原糸子・松浦律子・木村玲欧（編）、2012、日本歴史災害辞典、2012、吉川弘文館

京都市、京都市防災危機管理情報館

<http://www.bousai-kyoto-city.jp/bousai/index.html>
(2020年12月1日閲覧)

京都市、京都市歴史的風致維持向上計画

<https://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000071658.html>
(2020年12月1日閲覧)

京都市、京都市情報館【令和2年度】木造住宅及び京町家耐震診断士派遣事業

<https://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000119039.html>
(2020年12月16日閲覧)

京都府、京都府マルチハザード情報提供システム

<http://multi-hazard-map.pref.kyoto.jp/top/top.asp>
(2020年12月11日閲覧)

地震調査研究推進本部、京都府の地震活動の特徴

https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kinki/p26_kyoto/
(2020年12月1日閲覧)

地震調査研究推進本部、主要活断層帯の長期評価

https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/major_active_fault/
(2020年12月16日閲覧)

内閣府、東日本大震災関連情報、<http://www.bousai.go.jp/2011daishinsai/>

(2020年12月1日閲覧)

内閣府、南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）について

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html
(2020年12月1日閲覧)

Hori, T. and Oike, K., 1999, A physical mechanism for temporal variation in seismicity in Southwest Japan related to the great interplate earthquakes along the Nankai trough, *Tectonophysics*, 308, 83–98.

