

📷 関東の地殻変動 西村卓也(京都大学防災研究所)の資料より



📷 日本橋より魚河岸及び三越呉服店附近延焼: 帝都大震災画報 (1923年: 関東地震) 提供: 消防博物館



大正関東地震から100年、昭和東南海・南海地震から77年を迎えて

※昭和南海地震(1946年)から数えて77年と表記しています

The Kanto Earthquake

関東地震

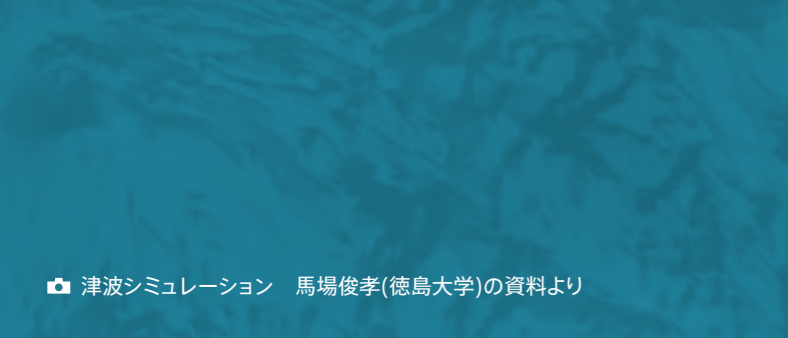
The Nankai Trough Earthquake(s)

南海トラフ地震

It has been 100 years since the Taisho Kanto Earthquake and 77 years since the Showa Tonankai and Nankai Earthquakes.

Preparing for the Kanto and Nankai Trough Earthquake(s).

に備える



📷 津波シミュレーション 馬場俊孝(徳島大学)の資料より

大正関東地震から100年 昭和東南海・南海地震から77年を迎えて「関東地震」「南海トラフ地震」に備える

発行者：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会
<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>



編集・監修：
「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)」防災リテラシー部会
部会長 高橋 誠 (名古屋大学大学院環境学研究科)
副部会長 井ノ口 宗成 (富山大学都市デザイン学部)
戦略室リエゾン 木村 玲歌 (兵庫県立大学環境人間学部)
原案作成 田村 圭子 (新潟大学危機管理センター)
専門的助言 加藤 尚之 (東京大学地震研究所)
酒井 慎一 (同 大学院情報学環・学際情報学府)

誌面編集・デザイン：GK Kyoto
作成協力：消防博物館、白子町(千葉県)、東京大学史料編纂所、広川町(和歌山県)、
(※頁順) 沼津市明治史料館(静岡県)、高知市、高知県、東京大学情報基盤センター

発行年月日：2023年9月1日発行



📷 長周期地震動のシミュレーション等を行うスパコン (東京大学情報基盤センター Wisteria/BDEC-01)



📷 関東大震災 (1923年: 関東地震)



📷 昭和南海地震 (1946年: 南海トラフ地震)
(c)朝日新聞社/アマナイメーシズ

東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 (2023)

大正関東地震から100年、昭和東南海・南海地震から77年を迎えて

関東地震 南海トラフ地震 に備える

1923年、関東を巨大地震が襲いました。関東大震災から100年を経た現在、近々起こるのではないかと考えられているのが、南海トラフ地震です。歴史を振り返ると、関東と東南海・南海ではこれまで何度も大きな地震が繰り返されてきました。今後も同じ場所で起こることが想定される地震 — そのメカニズムを考えます。

巻頭対談

酒井 慎一 (さかい しんいち)

東京大学 情報学環・学際情報学府 教授。
地震観測データによる災害の現状把握・予測、特に首都圏の被害軽減策に取り組む。



加藤 尚之 (かとう なおゆき)

東京大学 地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター 教授。岩石の摩擦に基づいて、地震の発生メカニズムを研究。

日本で繰り返し起きてきた巨大地震

加藤 大正の関東大震災が起きてから、ちょうど100年が経ちました。この間、1944年と1946年には東南海・南海で大きな地震が起きています。2つのエリアで地震が繰り返されるメカニズムは、ほぼ明らかになっていますね。

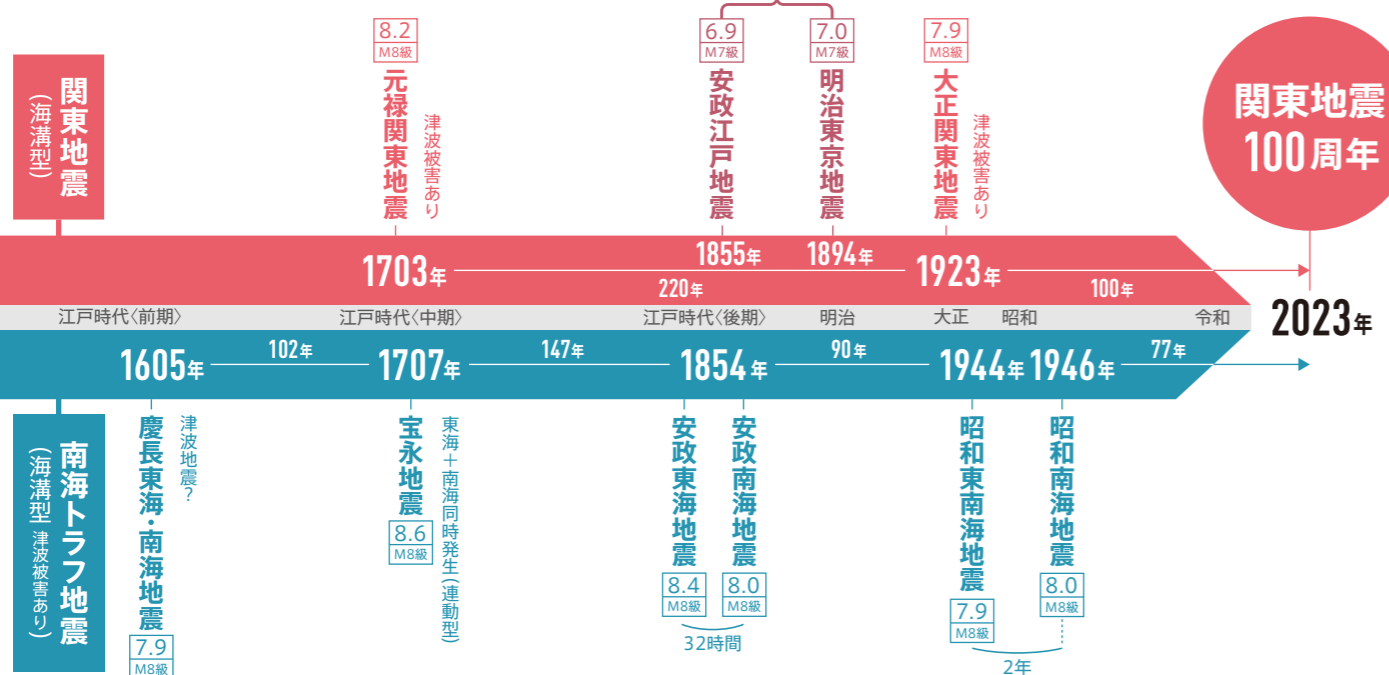
酒井 地震が起こる理由は、プレートの沈み込みにより地中にひずみエネルギーが蓄積するからです。相模トラフからは南関東の下に、南海トラフからは西日本の下にフィリピン海プレートが年間4~5センチぐらいのスピードで沈み込んでいます。岩盤が別の岩盤の下に潜り込む際にひずみが蓄積され、そこにエネルギーが溜まります。蓄積量が限界値を超えると

地震が起こる。プレートの運動速度が大きく変わらない限り、ほぼ周期的に地震が発生するわけです。

加藤 確かに歴史を振り返ると、関東と南海では百年程度から数百年の間隔で地震が繰り返されています。

酒井 原理を考えれば、ひずみが一定量に達すると地震が発生するのだから、ある程度周期的に起こるのは理にかなっています。ただ、過去の地震については古文書などの記述はありますが、地震計で計測したわけではないので正確な状況はわかりません。

江戸時代以降の関東地震・南海トラフ地震



関東地震 : 相模トラフ(プレート境界上)で起こる海溝型地震を指す。歴史的に知られているのは、元禄関東地震と大正関東地震。
首都直下地震: 日本の首都圏に影響を与える直下型地震の総称。

「関東地震」、元禄と大正の違い

加藤 歴史的には、1703元禄関東地震と1923大正関東地震が「関東地震」として知られています。1703元禄関東地震は、より広い範囲で被害があったといわれています。

酒井 地震の観測記録はないので正確なことはわかりませんが、津波被害や地殻変動の分布から、大正関東地震の主な震源域である相模湾に加え、房総半島方面に震源域が広がっていたため、規模が大きかったと考えられています。古文書に書かれた被害分布を頼りに地下で起きた現象を想像するしかありませんね。

加藤 地質学的調査によれば、関東エリアではプレート境界型の地震が繰り返し起こっていると、これだけはいえそうですね。

酒井 房総半島や三浦半島で地質調査を行うと、地震の際に

発生する地面の隆起した痕跡が見つかります。隆起はおそらく地下で断層運動が発生した結果、地表面が盛り上がったものと考えられます。

加藤 関東ではプレート境界型以外の地震も起きています。例えば1855安政江戸地震については、古文書の記述がかなり残されていて被害状況もわかります。これはプレート境界型とは違うと考えてよいのでしょうか。

酒井 プレート境界で発生したか、プレートの中で発生したかは、簡単には判断できません。地表面に大きな変動の出るようなゆれではなく、でも相当強かった。とすれば震源がちょっと深かったと想像できます。おそらくはプレート内部が震源と考えられますが、断言はできません。

繰り返しと時間差が南海・東南海の特徴

加藤 南海トラフで起こる巨大地震も、フィリピン海プレートの沈み込みによって起きています。メカニズムは大正の関東地震と似ているようですが、どこか違いはあるのでしょうか。

酒井 東南海とは静岡県から紀伊半島まで、さらに紀伊半島から四国・九州ぐらまでのエリアが南海であり、この2つの地域では連動する形で地震が繰り返されています。最後に発生したのが1944東南海地震と1946南海地震です。この2つについては、地震計による観測記録があるので震源域がある程度わかって、関東よりも繰り返す間隔の短い点が特徴です。

加藤 宝永(1707)、安政(1854)、昭和(1944・1946)、と100年程度の間隔で南海トラフで巨大地震が発生しました。

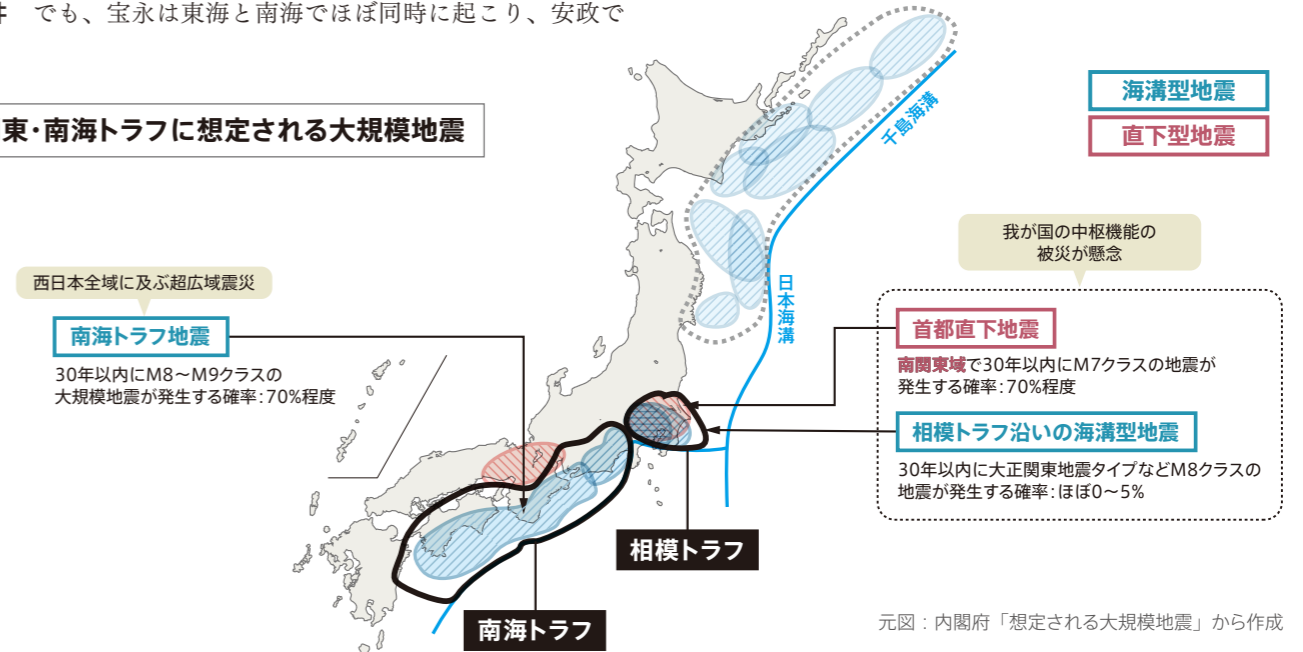
酒井 でも、宝永は東海と南海でほぼ同時に起こり、安政で

は32時間の時間差、昭和の場合は2年の間隔があいています。同じ南海トラフの地震ですが、発生様式は異なっていて、次は、どのように発生するかは、わかっていません。

加藤 南海トラフの場合は、津波による被害が大きいです。同じプレート境界型といっても、関東では火事による被害が甚大と、被害の特徴が異なります。

酒井 大正の関東地震では、津波被害もありましたが、それよりは建物被害に加え、人口密集地であった東京周辺での火災がひどく、死者が多数だったことが注目されます。一方、南海トラフの地震では、津波被害が、より大きい被害をもたらすのではと推定しています。

関東・南海トラフに想定される大規模地震



地震の被害軽減のための被害予測研究

加藤 地震は繰り返して発生しますが、その度に、震源の広がりや規模が違い、関東と南海トラフのように地震動や津波被害の特徴が違えば、被害軽減は簡単ではありません。

酒井 とはいえ、どんな被害が起きるのか、その幅を知っておく必要があります。いろいろな可能性を考え被害を想定す

るのです。震源や地盤などの影響から、どこがどのように揺れるのかを推定する、構造物を耐震化する、そして被害軽減そのものの研究として、人間の安全確保に資する情報伝達手法の開発、その後の経済的影響を軽減するための施策や枠組み等、様々な分野にまたがる総合的な研究が必要です。

地形・地質に刻まれた地震・津波の痕跡

過去に発生した巨大地震の痕跡は地形・地質や生物の遺骸に残されています。地震の断層運動によって地盤が隆起するたびに海岸段丘ができたり、津波で流された土砂が堆積したりします。このような地形や地質から、これまでに発生した巨大地震の規模や発生時期を推定し、相模トラフ沿いや南海トラフ沿いで発生する巨大地震の長期的な予測に利用しています。



穴倉 正展 (ししくら まさのぶ)
 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター国内連携グループ長。沿岸域の地形・地質調査で古地震学に取り組む。

関東地震

岩石海岸の波食棚が示す 歴史上の関東地震

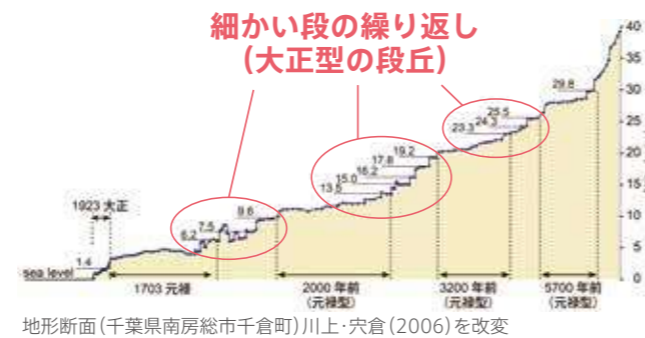
岩石海岸において干潮時に現れる平らな岩の面を「波食棚」と言います。波食棚は、高潮位時に波打ち際となる崖の基部から低潮位面に向かってわずかに傾斜しながら広がっています。波食棚が隆起するとその前面が侵食されて崖ができ、海岸段丘となります。海岸段丘は地震性隆起の歴史を知る鍵となります。その形成プロセスの理解のためには、精密な測量と長期的なモニタリングによる侵食速度の推定が必要です。房総半島先端近くにある見物海岸は、明瞭な2段の海岸段丘が確認できます。ここで、海岸段丘の形状・高度、形成過程を把握するために、地上レーザースキャン・深淺測量による精密地形計測を実施し、1703元禄関東地震と1923大正関東地震で隆起した波食棚を特定しました。今後の侵食の推移を継続して観察し、地震履歴の理解に役立てます。



大正と元禄の関東地震で隆起した波食棚 (千葉県館山市見物)

海岸段丘からわかる地震性隆起の歴史

大正関東地震が起こった当時から、地形学者は「海岸段丘」に注目していました。高いところに同じような段があり、昔も関東地震のような地震で隆起が繰り返されてきたことは、当時から知られていました。房総半島南部沿岸の海岸段丘は古くから研究されており、特に顕著な段丘面は元禄型関東地震の繰り返しによって形成されたと考えられています。千倉地域の段丘はその典型例です。元禄型では房総沖の断層が運動して動くと言われていたのに対し、大正型は相模湾の断層のみが動くと考えられています。細かい段の繰り返しの部分が大正型の段丘です。この分析から、元禄型地震が過去約5700年で少なくとも4回、1200～2500年の間隔で起こっていたことがわかりました。



地形断面 (千葉県南房総市千倉町) 川上・穴倉 (2006) を改変

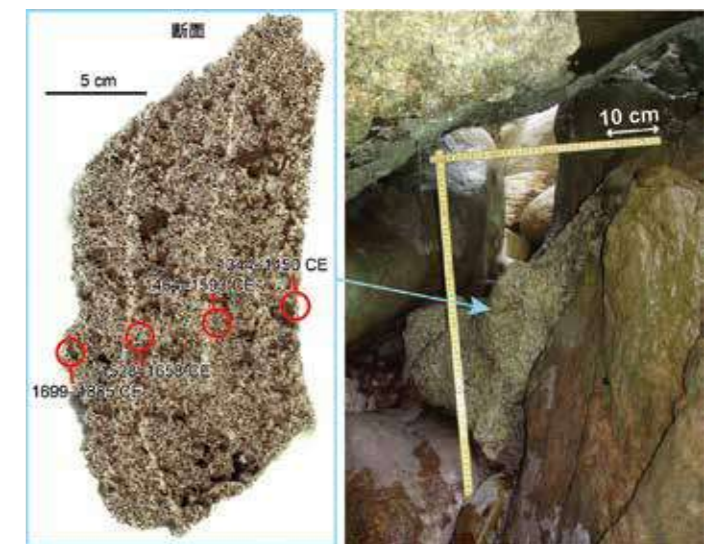


元禄型の隆起による海岸線の変遷 (千葉県館山市西川名)

南海トラフ地震

生物遺骸からわかる 南海トラフ地震のサイクル

紀伊半島南部沿岸において地震履歴に関する地形・地質学的な調査を行っており、過去5500年間の隆起痕跡についてまとめています。ここでは、おもにヤッコカンザシ (*Pomatoleios kraussii*) という平均海面の指標として有効な環形動物で構成される隆起生物遺骸群集が、複数のレベルに分布しています。それらのうち、厚く発達した群集について詳しく分析すると、3～4層の層構造をなしていることがわかり、100～150年毎に1層ずつ形成され、全体として400～600年かけて群集が形成されていることが明らかになりました。これは1層ずつが、南海トラフでくり返し起こる地震時の急激な隆起と地震間の沈降のサイクルを示しています。400～600年に1回の割合で通常より大きな隆起を生じて全体が離水していると解釈され、スーパーサイクルと呼ばれています。この大きな隆起の最新イベントは1707宝永地震です。



多層構造をなす生物遺骸群集 (和歌山県那智勝浦町山見鼻) 穴倉・他 (2008) を改変

津波石からわかる 過去の津波規模とその年代

2007年から和歌山県串本町の橋杭岩で、津波石の調査を行い、過去の津波の規模と年代を明らかにしました。橋杭岩とは、火山岩であるデイサイトの岩脈が、周囲の頁岩との差別侵食によって直線の壁状に突出した岩列です。周囲の波食棚上には直径数mを超えるデイサイトからなる漂礫が多数散らばっています。これらは直径1mを下回る小さな漂礫を除き、台風時の高潮などではほとんど移動していません。また聞き取り調査等から1946昭和南海地震時の津波でも大きな変化は確認されておらず、ほとんどの漂礫は昭和の津波よりも大きな規模の津波によって運ばれた津波石と考えられます。いくつかの漂礫にはヤッコカンザシ等の生物遺骸が固着しており、漂礫の移動時期を推定したところ、12～14世紀と17～18世紀の2時期とわかりました。両者の間隔は400～600年で、特に後者は1707宝永地震に対比できます。すなわち漂礫は宝永地震クラスの津波時に移動し、それはスーパーサイクルである可能性が指摘できます。また一部の大きい漂礫は1707宝永地震時を超える規模の津波があったことを示しています。



波食棚上に散らばる津波石 (和歌山県串本町橋杭岩周辺)

歴史資料から読み解く大地震

歴史資料には、日々の出来事を継続的に記した日記や、様々な出来事に際して書かれた文書、記録などがあり、自然現象や災害について後世に伝えていくということも意識されていました。書かれた時期や場所に留意して記録等を丁寧に読み解き、理学研究の結果と組み合わせることで、過去の災害を明らかにします。(本文中の月日は和暦による)



杉森 玲子 (すぎもり れいこ)
東京大学 史料編纂所 / 地震火山史料連携研究機構 教授。
専門は日本近世史。



榎原 雅治 (えばら まさはる)
東京大学 名誉教授。
専門は日本中世史。

関東地震

首都直下地震

南海トラフ地震

1703年 元禄関東地震

M8級

江戸での被害

元禄16年11月23日の地震で、江戸城の門や石垣、武家屋敷、寺院、民家が倒壊し、被害は甚大でした。霊岸島・江戸橋・永代橋・築地の地名とともに津波の記述があり、その高さは隅田川河口部では1~2m程度であったと推定されています。遺跡からは、液状化の記述を裏付ける痕跡も見つかりました。翌年4月まで余震が続いたという記述もあります。

大地震・大火の連続により改元

11月23日の地震の直前、18日に江戸で大火がありました。地震の後にも火事が発生し、余震が続く中で29日には再び大火となりました。大地震と大火が連続したため、幕府が朝廷に改元を申し入れ、翌年3月、元禄から宝永に改元されました。

江戸以外でも大きな被害

小田原では城が倒壊、大火が発生し、城下町の寺院や家屋に壊滅的な被害が出ました。また、房総半島から相模湾の沿岸にかけて、非常に高い津波が押し寄せました。土砂崩れで家屋も埋没しました。



「一代記 付津波ノ事」(池上家文書 白子町(千葉県) 個人所蔵)
白子町の池上家の先代である長柄郡小母佐村(白子町)の医師、池上安閑が書き記した覚書です。今の白子町南白亀川をさかのぼってきた津波によって生死をさまよった筆者が一命をとりとめたときの津波体験の様子が記されています。元禄地震を今に伝える貴重な記録です。(千葉県発行の防災誌「元禄地震」より)

1855年 安政江戸地震

M7級

建物倒壊による圧死と火災

安政2年10月2日の地震に伴う死者は7000人以上、大半は圧死でした。台地より低地・埋立地で揺れが大きく、地盤によって差が出ました。30ヶ所以上から出火し、焼けた範囲は約1.5km²(東京ドーム32個)に及びます。大手町から丸の内一帯が含まれており、幕閣の屋敷も倒壊、焼失しました。

社会の状況

安政江戸地震が起きる2年前の嘉永6年は、2月に小田原地震が起きたほか、6月に黒船が来航し、直後に將軍徳川家慶が亡くなって次の將軍家定の縁組が課題となりました。嘉永7年は3月に日米和親条約を結び、4月に内裏が炎上して京都が大火となり、6月に伊賀上野地震で1000人以上の死者が出ました。こうした困難な出来事が相次いだため、8月に朝廷から幕府に改元を申し入れました。手続きが進められていた過程で11月4・5日に安政東海・南海地震が発生し、まもなく11月27日に安政に改元される結果となりました。

幕府の対応

幕閣への金銭的支援を迅速に実施し、旗本への金銭補助は調査に基づき実施しました。町方の救済については地震直後から評議し、①炊き出し(20万人余)、②事前に準備していた資材による御救小屋の開設、③御救米の給付(38万人余)を実施しました。救済にあたり大きな役割を果たしたのは町会所です。町会所は、天明の打ちこわしで危機感を持った幕府が寛政の改革で設けたもので、備蓄していた米が窮民を救いました。



「江戸大地震之図」(部分。東京大学史料編纂所蔵島津家文書)

1605年 慶長東海・南海地震

M8級

震源には異論がある

房総半島と、土佐・阿波での地震・津波による被害の記録がありますが、東海地方では地震の記録がありません。そのためこの地震は、南海トラフではなく、房総沖と四国沖で起きた2つの地震、あるいは小笠原近海で起きた地震という意見があります。

1854年 安政東海・南海地震

東海	南海
M8級	M8級

安政東海地震の発生時刻は9時46分

嘉永7年11月4日・5日に2日連続で起きた地震です。複数人の日記がありますが、発生時間帯は一致しません。条約交渉中のロシア使節を乗せてきた船の航海日誌(15分刻み)の記述では、9時45分から59分に起きたと理解されます。津波は米国西海岸に12時間以上かけて伝わり、検潮所での波形の記録の解析から発生時刻が推計されました。

甚大な津波被害

下田には東海地震の津波が来て、人家に大きな船が突っ込んだ、家が将棋倒しになった、無事だったのは875軒中4軒のみ、停泊していたロシア船が津波で大破し、修理のため移動中に沈んでしまった、と伝える記録があります。大阪湾から安治川・木津川を遡った南海地震の津波で、停泊中の船がぶつかって橋が落ち、川沿いの家が倒壊、前日・当日の揺れを恐れて船中にいた多くの避難者が亡くなりました。

1707年 宝永地震

M8級

安政東海・南海地震より津波の影響は大きい

宝永4年10月4日に発生した、東海沖から四国沖までの広い範囲を震源域とする巨大地震で、東海から九州沿岸を大津波が襲いました。津波の浸水域や高知平野の沈降範囲の広さから、安政東海・南海地震より規模の大きい地震・津波だったことがわかります。



「津波が広村を襲う様子を描いた図」(安政聞録 養源寺所蔵(和歌山県))



「夜月の景気」宝永噴火を描いた絵図(個人所蔵)

「焼初十一月二十三日より十二月八日の夜迄毎夜に此の如く見る、但し二十三日焼初めの夜、別して大きに当所人家の戸はめをならず、同く明ヶ七ツ時分に当宿へ焼灰降る事唯一朝なり」
「毎夜稲光りのごとく、伊豆あまき山辺迄光り渡る事此の如し」

元禄関東地震、宝永地震、安政東海地震時の富士山

元禄関東地震の35日後

12月28日に大きな地震があり、朝から1日揺れました。12月晦日から翌年1月3日まで富士山が鳴動しました。火山学では、地震後にマグマが富士山のかなり浅い部分にまで上昇し、群発地震を起こしたが、幸い噴火にまでは至らなかったと推定されています。

宝永地震の49日後

「南東斜面より大噴火し」噴火は12月9日未明まで16日間断続的に続き、新たに開いた宝永火口から噴出した火山礫や火山灰などが江戸はもちろんのこと、100km以上離れた房総半島にまで降り注いだ*とされます。

*内閣府、災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 平成18年3月 1707 富士山宝永噴火

安政東海地震の50日後

「富士山の雪が溶けていて、2、3月頃の山のようなだ」という異変を指摘する資料が残っていて、山体の内部に熱気がこもっていたのではという風説がありました。

地盤によって増幅されるゆれの影響

地震のゆれは地盤を伝わり、地盤によって、ゆれの大きさが変わります。1923関東地震では、震源から遠い場所で被害が集中したのはなぜでしょうか。次の南海トラフ地震において長周期地震動はどのように伝わり、どのような影響が想定されているのでしょうか。



古村 孝志 (ふるむら たかし)
 東京大学 地震研究所 教授。スパコンを用いた数値シミュレーションにより、複雑な地下を伝わる地震波の特徴を再現。

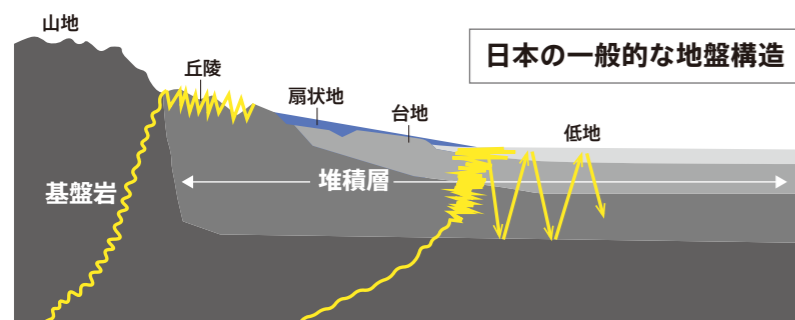


関口 春子 (せきぐち はるか)
 京都大学 防災研究所 准教授。平野・盆地の地下構造の調査から地形・地質学的情報による地震動予測計算を行う。

地震のゆれと地盤の関係

日本の地盤構造は堆積層によって特徴づけられる

日本の一般的な地盤構造は、基盤となる硬い岩盤があり、隆起しているところと沈降しているところがあって、でこぼこしています。隆起すると山地になり、岩石が風化して崩れたものが低いほうへ流れ、沈降域に堆積物をためます。沈降が長時間継続すれば、堆積物は新しいものが上に積み重なっていきます。堆積地盤がゆれやすいのは、やわらかい物質だからというだけではありません。この堆積層の上面と下面を行ったり来たりする波や地表に沿って伝わる表面波は、堆積地盤の構造、つまり厚さや、基盤岩の形状の影響も受けます。



地震波は、地盤の硬さにより、伝わる速さや大きさが変わる

地震波には伝わる速度が速いP波と遅いS波が含まれ、P波は地震波の進行方向に振動する縦波であり、S波は地震波の進行方向に垂直に振動する横波です。同じ大きさの入力があった場合のゆれの振幅は、硬い媒質の地盤で小さく、やわらかい地盤で大きくなります。地盤の硬さの違いを数値化して計算に入れることで、大地震時の各地のゆれを予測することができます。繰り返しになりますが、地盤の硬さだけでゆれの振幅が決まるわけではないのです。波が硬い岩盤とやわらかい地盤の間を反射したりして変化しますので、その仕組みは複雑です。

堆積地盤でのゆれの特徴

- ① 軟らかい物質ほどゆれやすい。
- ② 堆積層地盤の縁などで表面波が発生する。
- ③ 堆積層に入った地震波は、地表面と基盤岩上面で反射を繰り返し、長い間、地面をゆらし続ける。

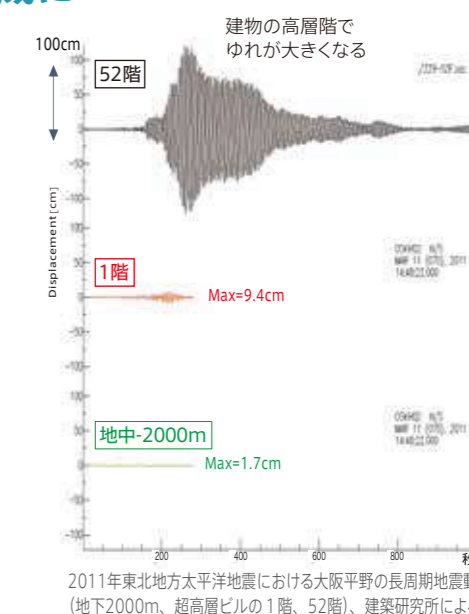
南海トラフ地震

次の南海トラフ：長周期地震動は首都圏の大きな脅威に

関東平野などの大規模な平野や盆地は、やわらかい堆積層で覆われており、堆積層で長周期の波が増幅されます。首都圏や近畿圏や中京圏は大規模な平野部に立地しており、南海トラフ沿いの地震では、膨大な人口が長周期地震動による影響を受けると考えられます。長周期地震動により、高層ビルが大きく長くゆれることで、室内の家具や什器などが転倒・移動、エレベータの故障などが懸念されます。

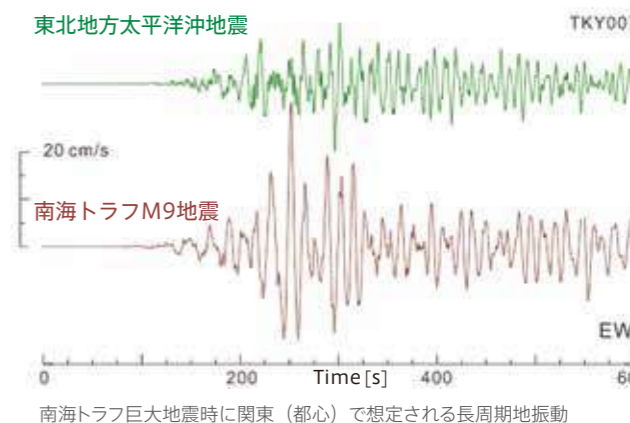


大地震によって、大型平野で長周期地震動が生成するメカニズム



長周期地震動による被害が顕在化

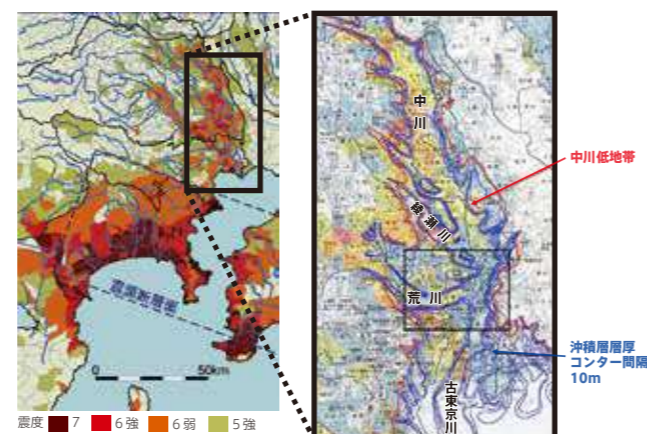
巨大地震の発生時、長周期地震動はゆっくりと表面波として伝わります。1944昭和東南海地震(M7.9)と1946昭和南海地震(M8.0)の時、超高層ビルはなく、長周期地震動による被害の心配はありませんでした。東北地方太平洋沖地震(M9)時は、東京で長周期地震動が強く生成されましたが、大きな被害が発生するレベルではありませんでした。でも、同じ規模の南海トラフ地震が起きた時には、関東平野の長周期地震動は遥かに大きくなるという心配があります。南海トラフ地震の震源は浅いことや、海域を通過して地震動が強く増幅されるという伝播経路の影響があるからです。



関東地震

1923関東地震の被害は、地盤の影響で埼玉東部～東京東部に集中

関東地震で震源からの距離が遠いにも関わらず埼玉東部から東京東部の地域は、被害が集中しました。これは、中川低地帯と呼ばれる分厚い沖積層(堆積層の中でも最もやわらかい地層)のたまった場所とほぼ重なります。青のコンターは、沖積層の厚さを表していて、その形は、まるで、川が作った谷のようです。実際、一つ前の氷河期、海面がぐっと下がった時に川によって削られた谷に、その後、海から水が流れ込んでやわらかい地層がたまったところ。上述の「堆積地盤がゆれやすくなる原理」によって、この現象を説明することができます。



左図出典：諸井・武村 (2002)：関東地震 (1923年9月1日) による木造住宅被害データの整理と震度分布の推定、日本地震工学会論文集, 2(3), p.35-71。
 右図出典：遠藤邦彦・小杉正人・菱田量 (1988) 関東平野の沖積層とその基底地形。日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 23号, p.37-48。
 貝塚爽平・松田磐余編 (1982) 首都圏の活構造・地形区分と関東地震の被害分布図。 p.48

データ同化により長周期地震動のリアルタイム予測が可能に

現在は、陸海の観測網が充実しています。スパコンを活用し、観測と計算をデータ同化(観測データが入ってくるのに合わせて、計算モデルを修正、再計算する)させることで、これから発生する長周期地震動をすみやかに予測することが可能です。長周期地震動の元になる表面波の伝わる速度はS波より遅く、関東平野

に到達までに1分以上あります。M7クラスの2004年 紀伊半島南東沖の地震の観測データをもとに、データ同化の実験を行うと、時間とともに同化が進み、短い間隔で第1報、第2報、第3報と予測を更新することで、関東平野に強いゆれが発生する数十秒前に大きなゆれの発生を予測できることがわかってきました。

地震がもたらす被害 ～火災・地盤・津波～

関東大震災(1923)と東日本大震災(2011)を比べると、関東大震災の被害規模の大きさがわかります。死者・行方不明者数は約10万5千人で東日本大震災の5倍程度、経済面での損害総額をGDP比で見れば36.7%で東日本大震災の10倍以上に相当し、大正12年当時の国家予算の3.6倍にもなります。まさに国の存亡を左右する被害をもたらしたのが関東大震災です。



武村 雅之 (たけむら まさゆき)
名古屋大学 減災連携研究センター 特任教授、理学博士(東北大学)。著書に『関東大震災 大東京圏の揺れを知る』(鹿島出版会)など。



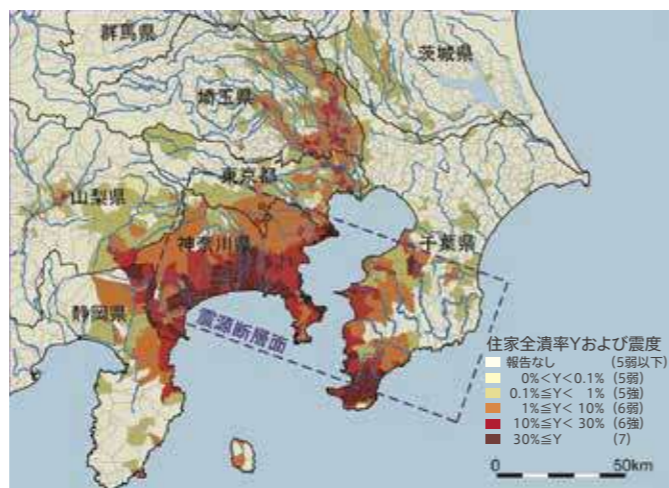
木村 玲欧 (きむら れお)
兵庫県立大学 環境人間学部 教授、博士(情報学)(京都大学)。著書に『戦争に隠された震度7』(吉川弘文館)など。

関東地震

家屋の全潰が火災を呼び起こし、土砂災害も発生

震源域は、ほぼ神奈川県と千葉県の下です。神奈川で震度7相当の揺れがあった他、東京・神奈川・千葉・埼玉の広範囲で震度5強～6強になりました。当時の横浜市は人口約42万人で東京市の約220万人に比べ1/5の規模の都市でした。一方横浜市の住家全潰棟数は約1万6千棟と東京市の1万2千棟をはるかに凌ぐものでした。特に横浜市の沿岸よりの中心地である大岡川と中村川・堀川に挟まれた埋立地(現在のJR関内駅周辺)では、全潰率が80%以上に達しました。火災の発生場所は約290カ所に及び、全潰率の高いこの地域に集中しました。火災の発生と建物の全潰が密接に関連していて、建物の耐震性を上げることの重要性を示唆する結果だと言えます。

また、神奈川県西部(箱根、丹沢)を中心に多くの土砂災害が発生し、集落を襲ったり、駅に停車中の列車が土石流に流され海中に没したりしました。また、溪流がせき止められ、その2週間後の集中豪雨で土石流が生じて、多くの人命が失われました。

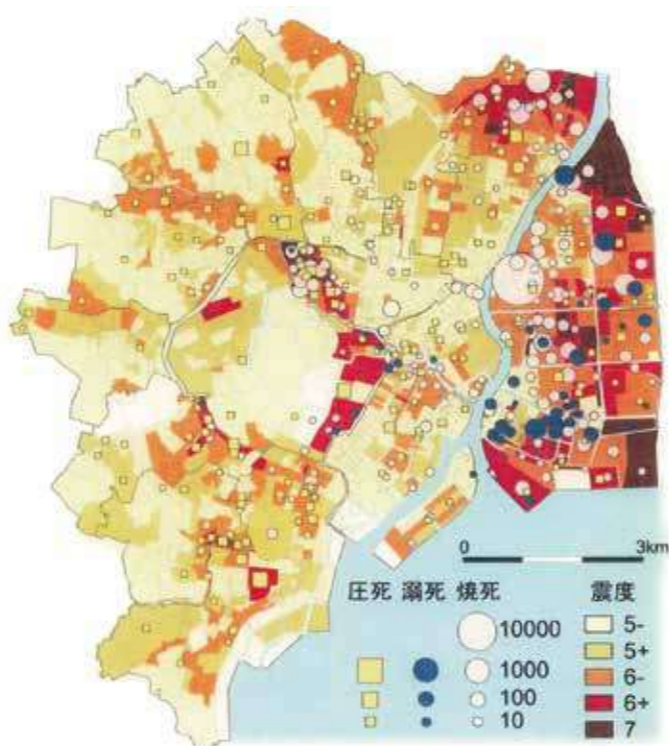


関東地震による木造家屋の全潰率から評価された震度分布

都市の基盤整備がない東京は極めて「燃えやすい」町だった

一方、東京では神奈川ほどの揺れはなかったにもかかわらず、死者数では神奈川の約2万7千人に対して、東京は約6万9千人にも上っています。火災による焼死の他、火災から逃げるために河川に入ったことによる溺死なども見られました。産業都市化政策が進んでいた東京がなぜこれほど甚大な被害を被ったのか。主要な理由として考えられるのは、東京が極めて燃えやすい町だったことです。明治維新以降の急速な都市化政策により、関東大震災の前の東京は木造建物が密集して、道路などの基盤整備はほとんどなされていませんでした。

このような反省にたつて、関東大震災翌年の1924年から、主に東京市内の焼失地域を対象に帝都復興事業が行われました。帝都復興事業は耐震・耐火を前提に、大規模な道路整備、土地区画の整理、橋梁の新設や修繕補強などが行われました。その成果は現在に至るまで東京の都市基盤を支えています。



旧東京市15区内の町丁目ごとで集計した要因別死者数分布と震度分布

南海トラフ地震

震度5程度、避難判断が遅れ津波に巻き込まれた

1944昭和南海地震による死者・行方不明者は1223名です。被害は広範囲に及び、愛知県438名、三重県406名、静岡県295名、和歌山県51名、岐阜県16名、大阪府14名、奈良県3名です。愛知県南部では震度7相当のゆれをもたらし、学徒動員された中学生など64名が、倒壊した軍需工場の下敷きになり圧死しました。これらの工場は、軍用機製造のため、柱などが切られており耐震性が極めて弱かったと言われていました。

また、津波が伊豆半島から紀伊半島までを襲い、三重県尾鷲市では最大で高さ9メートルの津波が襲いました。三重県の死者の大半は津波によるものです。この津波は、東日本大震災(2011)のように高さが10メートルを大きく超えるものではありませんでしたが、それゆえに「震度5程度の中で、避難についての判断が遅れて津波に巻き込まれた」人も多かったとも言われています。

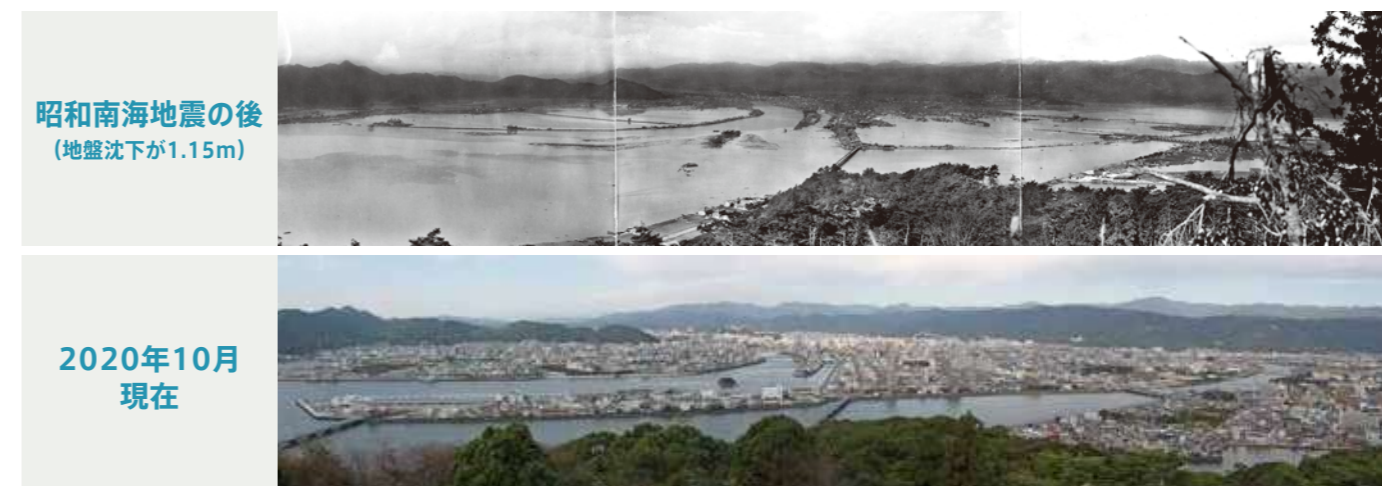


津波で大きな被害を受けた三重県尾鷲町(現尾鷲市) 撮影:宮村攝三

地盤沈下で、戦後の食糧難に追い打ち

2年後に発生した1946昭和南海地震による死者・行方不明者は1443名です。九州から中部地方まで震度5程度のゆれに見舞われ、広い範囲で建物被害による死者が発生しました。県別では、高知県679名、和歌山県269名、徳島県211名、香川県52名、岡山県51名、兵庫県50名、大阪府32名、岐阜県32名、愛媛県26名などです。

高知・徳島・和歌山・三重県沿岸では高さ4～6メートルの津波に襲われました。また、高知県・徳島県を中心に、地震で地盤が沈下した後、津波が遡上することによって、多くの農地に塩水が流入しました。これにより農作物も被害を受け、戦後直後の食糧難に追い打ちをかけることになりました。



高知市の五台山から見た昭和南海地震発生翌日の高知市街と現在の市街。地震後には地盤の沈下によって市内の広い地域が水没しているのが分かります。提供:(上)高知市(下)高知県

地殻変動から知る過去と未来

日本列島周辺は、複数のプレートがぶつかり合うことで、地表面を構成する地殻に複雑な力が加わり、隆起・沈降・移動など大小様々な地殻変動が起きています。地殻変動の様子を知ることによって過去の地震の様子、未来の地震の予測がどのようにわかるのでしょうか。



西村 卓也 (にしむら たくや)

京都大学 防災研究所 教授。地殻変動を解析することで、過去と未来の地震活動を明らかにする研究を実施。

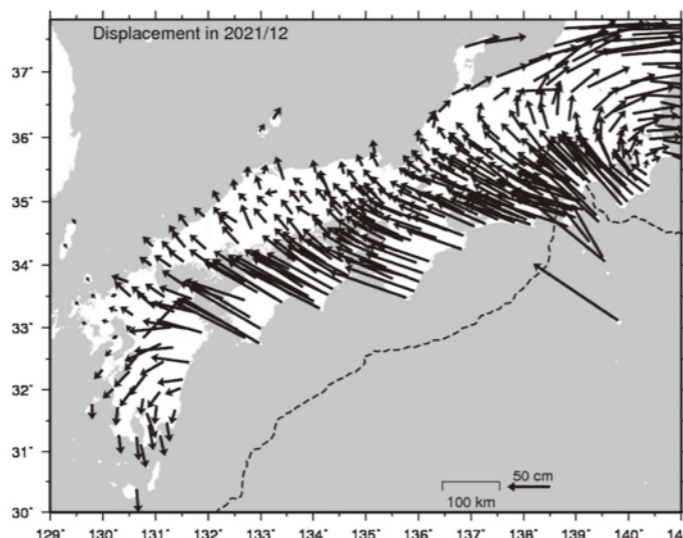
地殻変動から知る今後の地震発生

国土の動きをGNSS測量で捉えると次の地震がわかる

日本列島の下には太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込んでいます。そのため地殻には常に力がかかっています。地殻変動の観測からも、沈み込むプレートの方向に押されて地面が大きく動いていることがわかります。力が加わり続けて、変形が限界に達したとき、地殻内で破壊が発生します。地震はそのような破壊現象であるとされています。地殻内の変形の程度や様子を「地殻のひずみ」といい、地表における精密な測量を繰り返すことなどで検出されます。

GPS衛星やみちびき(準天頂衛星システム)等、測位用の人工衛星(GNSS衛星)から送信信号を地表に設置した受信機で観測することで、地表の地殻変動監視が可能です。

現在もプレートの運動によってひずみが蓄積されていますが、ひずみが限界に達すると地震が発生します。次の地震に向けて準備が進んでいることが観測からもわかっているのです。



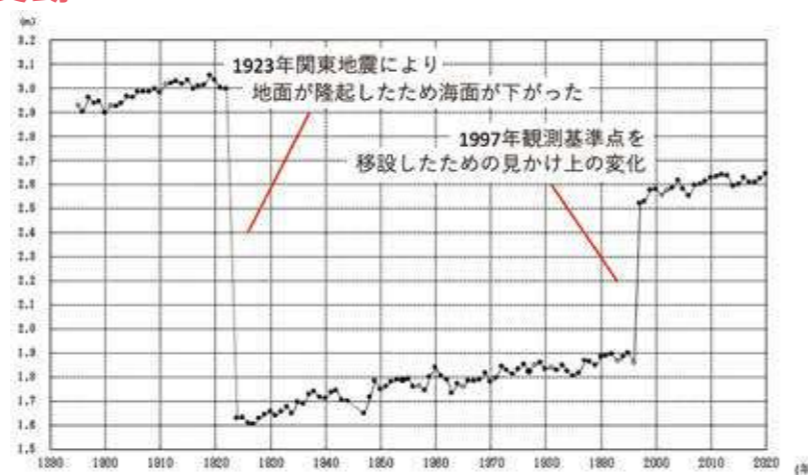
GNSS観測点における25年間の地殻変動(1996年4月起点)

関東地震

海面の高さの変化からわかる1923大正関東地震の地殻の上下変動

1923大正関東地震の前後の地殻変動は、いろいろな方法で観測されています。地面の隆起や沈降があると、海水面の高さ(潮位)が変わります。たとえば、神奈川県三浦半島の油壺の潮位記録を見ると、関東地震の際には海水面が1.3~1.4m下がりました。

つまり、断層運動により地面が隆起したのです。そして図を見ると、関東地震後、海水面は徐々に上がっています。つまりプレート運動で地面が押されて沈降しているのです。このように、関東地震の後にも、この地域にひずみがたまり始めていて、次の地震の準備過程が始まっていることがわかります。



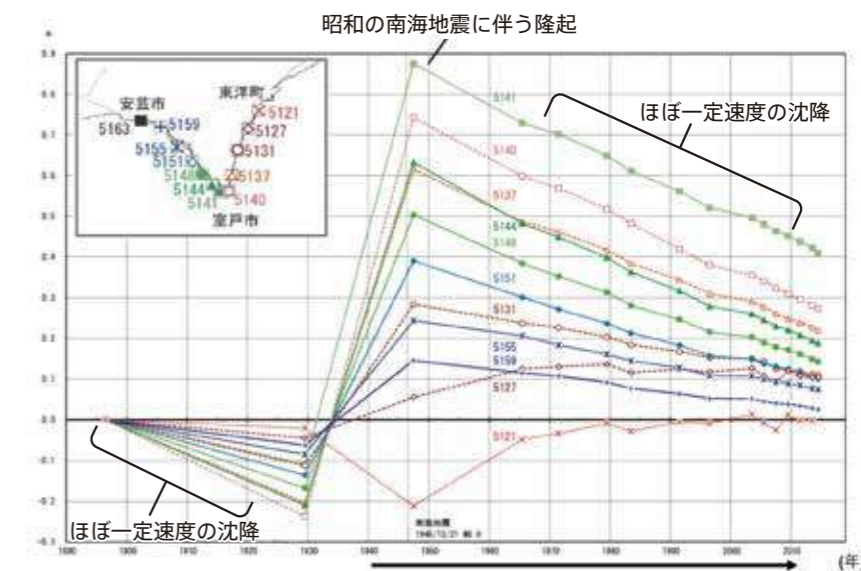
油壺における潮位記録(1301 験潮場・国土地理院)

南海トラフ地震

1946昭和南海地震をはさむ期間に室戸岬先端部が大きく隆起

室戸岬周辺は、南海地震の震源域となっています。繰り返し発生する南海地震のメカニズム解明や次の地震への準備状況を把握するために、重点的に調査観測を行っています。高精度な水準測量を繰り返し実施することで、地盤の上下変動を監視しています。

1946昭和南海地震による地殻変動を含む過去120年間の上下変動が観測されています。測量は数年から数十年に一度行われるので、潮位観測ほど時間変化を細かく知ることはできませんが、1946昭和南海地震の際には、高知県の室戸岬は大きく隆起したと、地震以外の時は徐々に沈降していることがわかります。この地域でも、ひずみが蓄積されて次の地震の準備が始まっていることがわかります。



少なくとも土佐湾沖のプレート境界は、1946年以降70年にわたり、強く固着

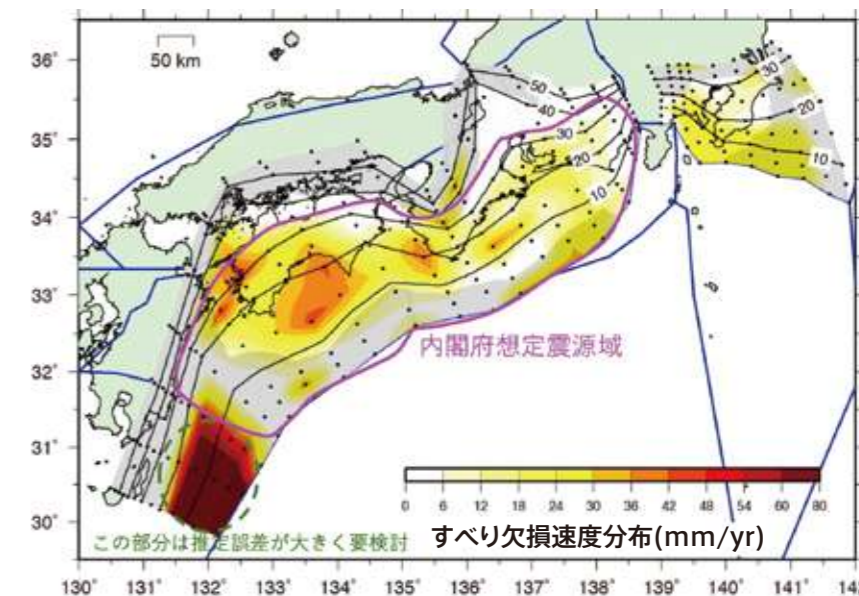
1896年を基準とした室戸地方の各水準点の経年変化(固定点5163) 出典:国土地理院

南海トラフの震源域に現在着実にひずみが蓄積中

プレート境界や活断層などの断層面上で、通常は強く固着して、ある時に急激にずれて(すべって)地震波を出す領域のうち、周囲に比べて特にすべり量が多い領域があります。その領域が中心となって繰り返し大地震を起こしているらしいことが明らかになってきました。

陸上での観測に加え、海底での地殻変動も観測できるようになってきたため、南海トラフ沿いのプレート境界における固着の程度やひずみの蓄積される速さが見えるようになりました。

相模トラフ沿いでもプレート境界が固着していますが、南海トラフ沿いよりもプレート運動速度が小さいために、ひずみが蓄積される速さは少し小さくなっていて、巨大地震の発生間隔が長くなる原因と考えられます。



南海トラフでの固着域の推定結果(内閣府想定震源域と比較)

海溝型地震

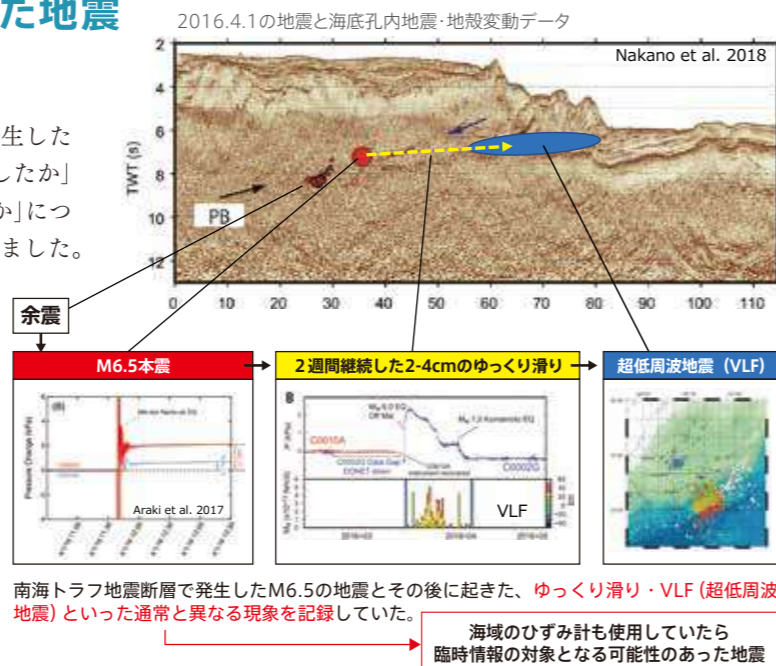
を解明する新たな研究

今後想定される海溝型の大規模地震に対して、最新研究を活かし、どのような対策がとられているのでしょうか。整備状況と新たな知見を共有します。

南海トラフ地震

2016年に三重県南東沖で発生した地震 臨時情報の判断が分かれる

2016年4月1日、三重県南東沖で、最大震度4の地震が発生した際に、震源深さについて、「29km(海のプレート内)で発生したか」もしくは「11km(南海トラフプレート境界面)で発生したか」について、即時的に特定するに至らず、専門家の意見が分かれました。後者の場合には臨時情報と対象となる可能性もあるものでした。これは、地震の位置を正確に決めるには、震源を取り巻くように分布した観測点が必要であり、震源と観測点の間の正確な地下構造が必要となるからです。地震が起これば、高密度な地震観測ネットワーク(MOWLAS)により震源の位置、断層のずれ方が即時的・自動的に決定・発表されます。ただし、「想定震源断層の地震であったか」、そうであれば「どこが割れたか」を特定するには、断層の構造が前提となります。



海底における断層構造を解明

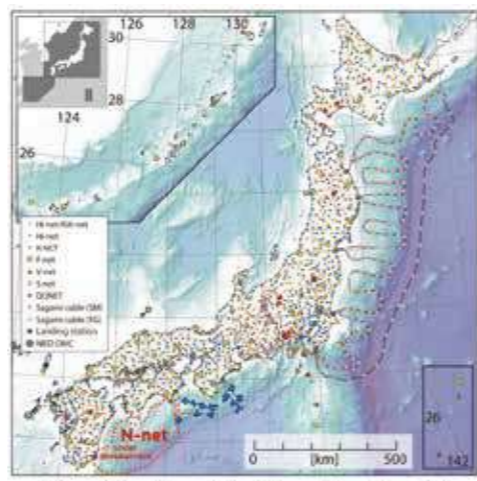
JAMSTEC(国立研究開発法人 海洋研究開発機構)では、海域広域研究船により、海底構造を可視化し、断層の場所・形状を調べており、「海底の大きい山・山脈は断層に位置する」「大きな枝分かれした断層がある」等、南海トラフ地震の断層を三次元的に

解明しています。この調査で「紀伊半島沖で地下約15キロの断面図上に南海トラフ地震の想定震源層がある」ことをわかり、臨時情報を出すために必要な「プレート境界断層の位置」についての特定を進めています。

海域の地震津波観測網の整備

南海トラフ海底地震津波観測網(N-net)の構築

MOWLASは全国の陸域から海域までを広く網羅していますが、南海トラフ地震の想定震源域のうち観測網が設置されていない高知県沖から日向灘にかけての海域にケーブル式の海底地震・津波観測システムを整備しています。N-netの36観測点にはそれぞれ地震計と水圧計を備えた観測装置が海底に設置されます。N-netの構築により、地震と津波の直接的な検知がそれぞれ最大で20秒、20分程度早まることが期待されます。観測データは、リアルタイムで気象庁にも伝送され、緊急地震速報や津波警報に活用される他、地方公共団体、関係府省庁、研究機関、民間企業等へ提供する予定です。



MOWLAS及びN-net設置予定位置 (防災科研提供)



小平 秀一 (こだいら しゅういち)

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海域地震火山部門・部門長。専門は海洋底地球物理学、構造地震学。地震発生帯活動、海洋性島弧形成等の国際PJ多数。



青井 真 (あおい しん)

国立研究開発法人 防災科学研究所 地震津波火山ネットワークセンター・センター長。専門は地震観測、強震動地震学、数値シミュレーション。



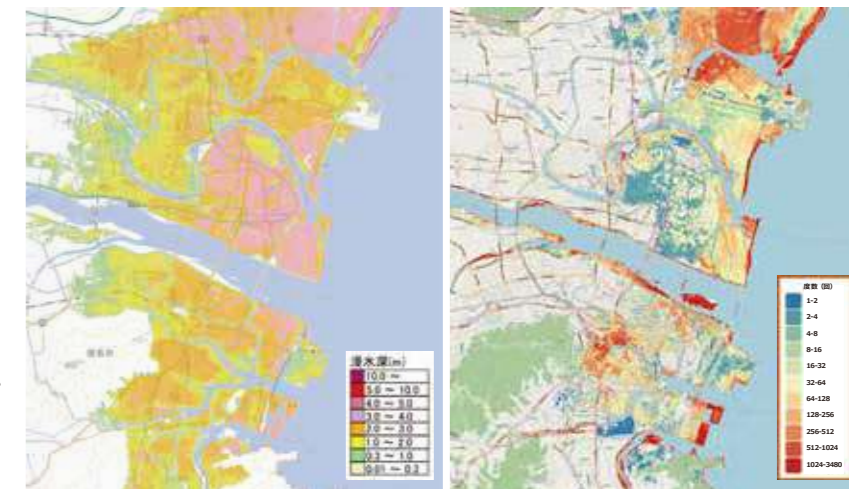
馬場 俊孝 (ばば としたか)

徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 教授。高性能津波計算プログラムのコミュニティモデル"JAGURS"を開発、2016年に国内外で公開、世界で利用が拡大。

南海トラフ地震

次の南海トラフ 津波浸水深想定vs浸水確率

南海トラフでは、防災科学技術研究所で3840ケースの地震モデルが提案されています。これを用い津波計算を行い、浸水回数を数え、その結果を浸水確率として地図上に可視化しました。利用目的ですが、「逃げることを諦めますという人」がいた場合、「この地域では10回津波が来るとしたら、そのうち1回は逃げられないような津波。でもあとの9回は逃げれば命は助かるような津波」と伝えます。そうすれば「避難への無力感」から「10回の内9回は逃げれば助かるのだから避難する」との行動変容を生むことです。



津波浸水深想定

浸水確率

浸水確率の考えが進むことで ハード・ソフトの対策にも変化が想定される

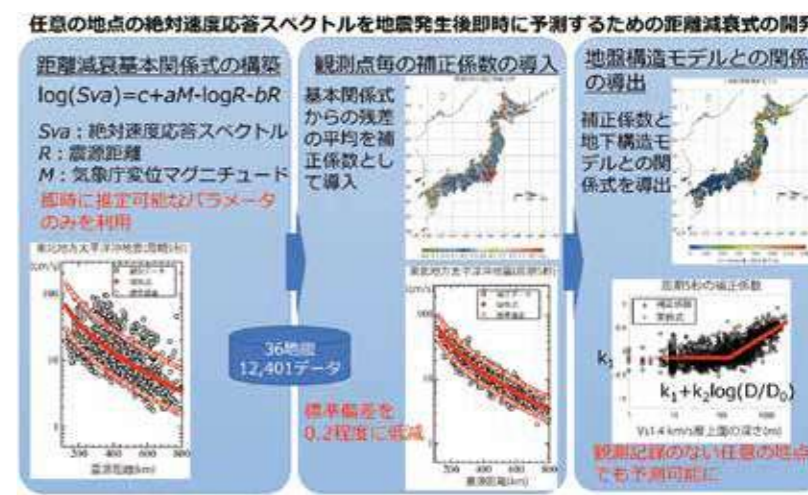
左図では「津波の浸水深」右図では「津波の浸水しやすさ」を示しています。左図の津波の河川遡上する場所では、浸水深は大きくないが、右図の浸水確率は高くなっています。つまり、最大

浸水深が発生する確率はそれほど大きくないが、河川遡上は高い確率で起こるのです。この2つの違いを知り、活用することで、ハード・ソフトの対策に変化を起こすことが可能です。

長周期地震動に関する予測情報

長周期地震動の即時予測を可能にした2つの技術

令和5年(2023年)2月より、防災科研が開発した手法を活用した長周期地震動の予測が気象庁で開始されました。これを可能にしたのは、これまで蓄積された大量の観測データを用いることで、地震発生直後に入手可能な地震規模等の震源情報を入力として長周期地震動を即時に予測できる手法を新たに開発したためです。また、防災科研が提供する深部地盤モデルを使うことで、観測データの有無に関わらず日本中どこでも各地点の地盤構造を考慮した予測を可能にしました。



長周期地震動の予測モデル (防災科研提供)