甲第A
333
号証

岩波新書
1587

## 1　311と何が違うか

南海トラフで発生する巨大地震は、二〇一一年三月一一日に発生した東北地方太平洋沖地震と何がどのように違うのだろうか。ともにプレートが沈み込む境界で発生する地震であり、津波をともなうという共通点がある。しかし、南海トラフはフィリピン海プレートが沈み込む場所であり、東北地方は太平洋プレートが沈み込む場所である。プレートの年齢も厚さも異なるし、沈み込むプレートの形状も異なるため、地震の起き方にも違いができる。それだけでなく、自然条件も異なれば社会的条件も異なる。南海トラフと東北地方太平洋沖について、地震発生様式、自然条件、さらに社会的条件の違いに着目して順に比較していこう。

### 地震発生様式の違い

東北地方太平洋沖地震が発生した日本海溝沿いと、南海トラフの巨大地震が発生する南海トラフ沿いにおける地震の発生様式は何が違うのだろうか。





ひと言でいえば、複雑さが異なる。日本海溝沿いの地震発生は、南海トラフよりも複雑とされている。複雑さの違いは、普段の地震活動に現れている。**東北地方のプレート境界では普段から地震活動が活発である。**二〇一一年の巨大地震の後、余震活動が非常に活発なのはよく知られているが、それ以前から多くの地震が発生していた。**一方、南海トラフ沿いでは、普段の地震活動は静かである。**二〇一〇年の一年間で調べてみると、東北地方太平洋沖の北緯三六度から四一度までの領域では、マグニチュード二以上の地震が約三〇〇〇個以上も発生している。それに対し、南海トラフの東経一三二・五度から一三九度までの領域では同じマグニチュード二以上の地震が三〇〇個程度しか発生していない。南海トラフは、地震活動で見ると普段は非常に静かなのである。

図2-1に、南海トラフ沿いと日本海溝沿いの一九三〇年以降におけるマグニチュード六以上の地震の発生時期を示した。マグニチュード八前後の地震の回数は南海トラフ沿いでは二回、日本海溝沿いでは東北地方太平洋沖地震を含めて三回で同程度である。しかし、それより小さな地震は圧倒的に日本海溝沿いの方が多いことがわかる。

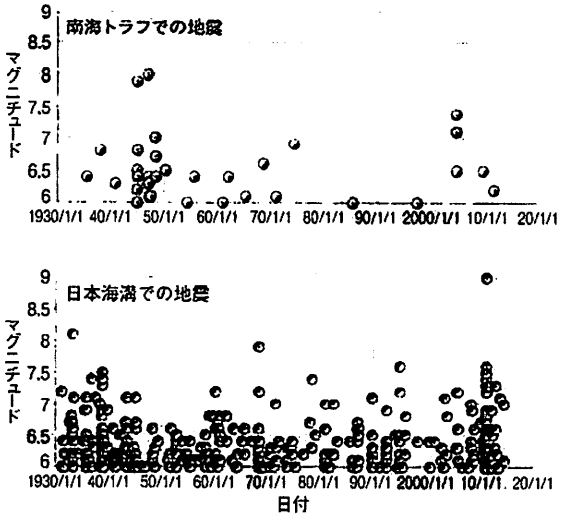


図2-1　日本海溝沿いと南海トラフ沿いにおける1930年以降の地震活動．マグニチュード6以上の地震の発生時期を気象庁の震源カタログから示した．

## 日本海溝沿いの地震

次に、比較的規模の大きな地震の発生について詳しく見てみよう。

東北地方の三陸沖北部では、過去にマグニチュード七・五前後の地震が繰り返し発生している。最近では、一九六八年五月一六日に発生した**十勝沖地震**(M七・九)と一九九四年の一二月二八日には**三陸はるか沖地震**(M七・六)が発生している。それ以外にも、一九三〇年以降にマグニチュード七程度の地震が八回も発生している(図2-2)。ちなみに、一九六八年の地震は十勝沖地震と名付けられてい



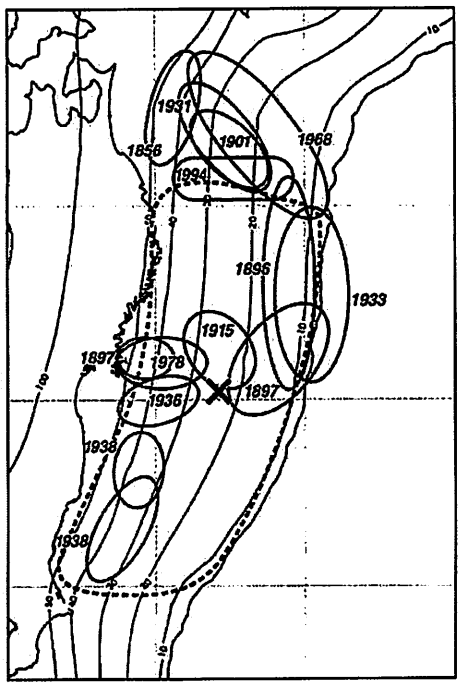


図2-2　日本海溝沿いの巨大地震の震源域．日本の地震活動(地震調査研究推進本部)から日本海溝沿いのM7.4以上の地震の震源域を示した．波線は2011年東北地方太平洋沖地震の震源域で×印は震源(破壊開始点)を示す．

るが、発生場所としては一九九四年の三陸はるか沖地震に近い。北海道の十勝沖では、ほぼ震源域を同じくしてマグニチュード八クラスの地震が、一九五二年と二〇〇三年に発生している。一九六八年の十勝沖地震の震源域は、これらとは明瞭に異なっており、混乱しないよう注意が

必要である。

三陸沖中部では、一八九六年に**明治三陸地震**が発生している。この地震は典型的な津波地震である。三陸沿岸から一五〇キロメートルも離れた沖合で発生し、体に感じる揺れはごくわずかであったため、まったく無警戒の住民に巨大な津波が襲いかかり、二万人以上の人たちが犠牲となった。三陸沖中部では海溝沿いで津波地震の発生が知られているものの、それよりも深い陸側のプレート境界では大きな地震の発生が知られていない。プレート境界が普段からゆっくりとずれているのであろう。

同じ三陸沖中部であっても、一九三三年に発生した**昭和三陸地震**(M八・一)は海溝の外側(陸と反対側)で発生した地震で、沈み込む前の太平洋プレート内部で発生した地震である。最近では**アウターライズの地震**と呼ばれているものである。アウターライズとは、プレートが海溝から沈み込む際に下向きに折り曲げられることにより、その反動で盛り上がった場所のことである。海溝の外側(outer)で、盛り上がる(rise)ため、このような名称で呼ばれている。

最近では、プレート境界の地震とアウターライズの地震はペアで起きることが多いと考えられ始めている。一八九六年の明治三陸地震はプレート境界の地震で、一九三三年の昭和三陸地震とペアと見なされている。同様な例は、北緯四七度付近の千島列島沖にもある。二〇〇六年





一一月一五日には、千島海溝から沈み込むプレート境界でマグニチュード八・三の地震が発生し、翌二〇〇七年の一月一三日には千島海溝の外側でマグニチュード八・一の地震が沈み込む前のプレート内で発生した。プレート境界で発生した地震によってプレート内のひずみが変化し、海溝の外側の地震を誘発したと考えられている。

三陸沖南部から宮城県沖では、マグニチュード七・五前後から八クラスの地震が数十年おきに発生している。この領域はGPSや海底地殻変動のデータの解析から、普段は強く固着している場所とされている。この領域で発生した地震としては、知られている地震だけでも一七九三年、一八六一年、一八九七年(二回)、一九一五年、一九三六年、一九七八年のものがある。そのため、この地域での地震発生が非常に切迫しているとされてきた。二〇一一年の東北地方太平洋沖地震はこの領域からプレート境界面のずれが始まって巨大地震となったものである。したがって、大地震が切迫しているという予測は正しかった。しかし、震源域が宮城県沖にとどまることはなく、巨大なものとなることまで予測されてはいなかった。

福島県沖は地震活動が比較的低調で、知られている過去の地震は一九三八年に群発的に発生したマグニチュード七クラスの地震だけである。そのため、この地域のプレート境界は地震を発生させずに、普段からゆっくりとずれ動いていると見なされている。実際、近年観測精度が

飛躍的に高まった海底地殻変動観測によると、二〇一一年の東北地方太平洋沖地震の前でも、福島県沖ではほとんど動きがなかったことがわかっている。この傾向は、地震から四年経過した今も同じである。

茨城県沖では、マグニチュード七程度の地震が頻繁に発生している。一九四三年の地震以降、一九六一年、一九六五年、一九八二年、二〇〇六年に地震が発生している。この地域もこれ以上大きな地震の発生が知られておらず、プレート境界が普段からゆっくりとずれ動いていると考えられていた。

これらの地域を広く覆うように震源域となったのが二〇一一年の東北地方太平洋沖地震であった。地震のずれが始まった宮城県沖は、両隣の三陸沖中部や福島県沖のプレート境界が普段からゆっくりとずれ動いているため、次第にひずみが集中していく領域である。宮城県沖から始まったプレート境界の急激なずれは、普段はゆっくりとずれ動いていた三陸沖中部や福島・茨城沖にまで拡大した。変形速度が遅いときには流れるように変形できても早い変形には追随できないで急激に破壊してしまうという物質の性質が反映したのだろう。

このように地域性を持ちながらも、比較的小さな地震から超巨大地震までを発生させているのが日本海溝である。





### 南海トラフ地震の発生様式

一方、南海トラフでは、普段の地震活動が非常に低調であるものの、一〇〇年から一五〇年ごとにマグニチュード八クラスの巨大地震が発生している。しかし、プレート境界で発生したマグニチュード七クラスの地震は少ない。図2-1を再び見てみよう。一九四五年以降で調べてみると、南海トラフ沿いで発生したマグニチュード七クラスの地震は三つしかない。一つは、一九四八年四月一八日に発生したマグニチュード七・〇の地震。時期的に見て一九四四年の東南海地震か、一九四六年の南海地震の余震であろう。あとの二つは、二〇〇四年九月五日に三重県南東沖で相次いで発生した地震である。最初の地震は夕方一九時過ぎに発生したマグニチュード七・一の地震、もうひとつは日付の変わる直前の二三時五七分に発生したマグニチュード七・四の地震である。

余談であるが、この地震が発生した日は日曜日であり、当時東京大学地震研究所に単身赴任していた筆者は、名古屋市の自宅に戻っていた。部屋でくつろいでいるときに最初の地震の揺れを感じた。そこで様子を見に名古屋大学に出かけて行った。このようなときには大学の地震火山関連の研究センターでは職員が集まってデータ解析や他機関による解析結果などの情報収

集を行い、どのような地震であったかを把握した上で緊急観測について相談をする。その結果、懸念されているプレート境界で発生した地震ではなく、トラフ軸付近のプレート内部で発生した地震であることがわかった。一段落ついて家に戻りほっとして休んでいると再び揺れを感じた。最初の地震よりは規模が大きく、気象庁は紀伊半島の沿岸や愛知県の太平洋岸に津波警報を出した。実際、潮岬の先端にある串本では〇・九メートルの津波を観測している。津波が発生したものの、この地震も心配したプレート境界面のずれによって発生するタイプの地震ではなかった。南海トラフ沿いで地震が発生しても、プレート境界面で発生するものは少ない。

もう少し規模の小さな地震でも、南海トラフ沿いで有感地震が発生すると巨大地震との関連が注目される。二〇〇九年八月一一日に駿河湾で発生したマグニチュード六・五の地震もそのような地震であった。この地震は早朝五時七分に発生したものである。揺れで目覚めた筆者は、携帯電話に自動的に送られてきたメールを確認した。すると駿河湾が震源である。驚いて気象庁や防災科学技術研究所の震源やメカニズム(断層のずれ)の速報を調べると、プレート境界面がずれて発生した地震ではなくプレートの内部で発生した地震であることがわかり、ほっとした。

このように、南海トラフでは普段のプレート境界面の地震活動は非常に静かで、いきなり巨





大地震が発生するという特徴のある場所なのである。その理由はプレート境界の固着の特徴にあるようだ。GNSSのデータを用いた解析によると、南海トラフ沿いのプレート境界はほぼ全面にわたって、かなり均一にべったりと固着していることがわかっている。そのため、普段はプレート境界面の上盤の地殻がフィリピン海プレートとガッチリくっついて陸側に押し込まれていて、ずれるときには一気に巨大地震にまで成長してしまうと考えることができる。

### 自然条件の違い

東北地方と南海トラフ沿いの地域の自然条件の違いを、揺れに関する違いと津波に関する違いに分けてそれぞれ見てみる。

地震による揺れの強さは、おもに二つの条件によって決まる。ひとつは震源域との距離、もうひとつは地盤などの地下構造である。ここでは、そのうち両地域の差として顕著な震源域との距離について説明しよう。

まず、「震源との距離」とせずに「震源域との距離」としたのには理由がある。地震のマグニチュードが大きくなると地震時にずれ動く断層の面積が大きくなる。「震源」というと、テレビなどで地図上に×印で表示されるのを思い浮かべて、その×印から地震波が周囲に拡がっ

ていくと考える人が多いと思う。震源とは、断層が最初にずれ動き始めた場所である。小さいマグニチュードの地震であれば断層の面積も小さいので、×印で表現してもほとんど問題はない。しかし、マグニチュードが大きくなれば断層の面積も大きくなる。巨大地震の場合、地震波は断層面の全体から放出されるため、「震源域」という捉え方が必要なのである。

東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード九・〇であった。序章で述べたマグニチュードと断層の大きさとの関係を適用すると、マグニチュード九の地震は三〇〇キロメートル四方の断層面で平均のずれが一〇メートルになる。実際には、東北地方太平洋沖地震の震源域はおおむね南北五〇〇キロメートルで東西二〇〇キロメートルであった。正方形ではなく、長方形となっている。前掲図0-2で見たように、これは震源域が拡大する領域として東西方向に限界があるからである。東側はプレートが沈み込み始める日本海溝が限界となる。西側は、温度が上昇して急激なずれを起こしにくくなる深さが限界となる。深さにして五〇キロメートルで、太平洋側の海岸線付近にある。東北地方太平洋沖地震で、非常に広い範囲が強い揺れに見舞われたのは、震源域が南北五〇〇キロメートルにもなったからである。岩手県から茨城県にかけて震度六強を記録した。新幹線で走っても二時間以上かかる距離である。

一方、南海トラフで発生する巨大地震の揺れは、最大で伊豆半島の付け根の駿河湾から四国



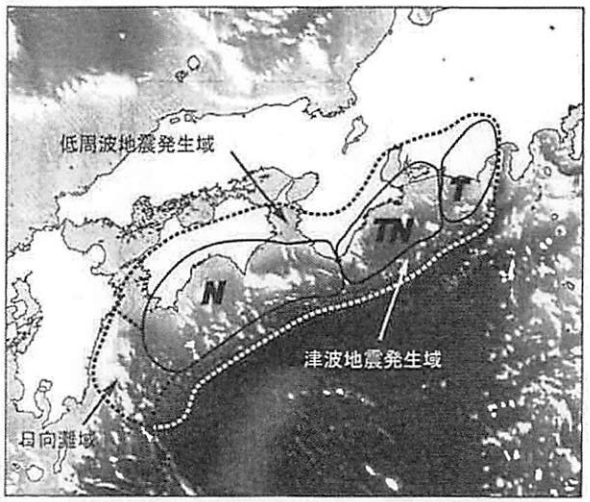


図2-3　南海トラフ沿いの巨大地震の震源域．東海地震(T)，東南海地震(TN)，南海地震(N)の震源域とされる領域に，津波地震発生域，低周波地震発生域，日向灘域が加えられ，南海トラフの最大クラスの地震の想定震源域とされた(破線の領域)．

沖を通って日向灘にまで達する可能性が指摘されている。その場合の震源域の大きさは、トラフに沿った距離で七〇〇キロメートル、トラフに直角の方向に約一〇〇キロメートルである(図2-3)。東北地方の日本海溝沿いと同様、トラフと直角の方向には限界がある。海側(南側)はトラフ軸であるが、陸側は深さ三〇キロメートル程度と考えられている。東北地方と比較して浅いのは、沈み込むプレートの年齢(海嶺でプレートが生産されてからの時間)が若く、温度が高いため、深く沈み込む前に地震を発生させる能力がなくなるから

である。

しかし、南海トラフ沿いでは、この三〇キロメートルの深さの場所がすでに陸の下になっている。東北地方では、強い揺れを発生する領域の西端がやっと海岸線付近であり、深さも五〇キロメートルと深い。つまり、陸地と震源域との距離は、南海トラフのほうが東北地方よりも近いのである。その分だけ地震の際の揺れが強くなる。東北地方太平洋沖地震では、津波による圧倒的な被害に比べると揺れによる被害は比較的少なく、仙台では一九七八年の宮城県沖地震よりも揺れが小さかった。しかし、南海トラフでは、津波に加えて揺れも強いと予想される。東北地方太平洋沖地震の津波の被害を見て津波対策ばかりに気をとられていると、揺れの対策がおろそかになりかねない。

津波についても、揺れの場合と同様、震源域と陸地との距離が重要な要素となる。それは、地震が発生してから津波が海岸に到達するまでの時間に関係する。東北地方太平洋沖地震の場合には震源域が陸地から離れていたため、津波の第一波が到達するまでに時間があった。気象庁の記録で津波到達が最も早かった地点は岩手県の釜石で、最初のピークが一五時一一分であった。地震が発生してから約三〇分後である。釜石に最大波高の津波が到達したのは、その一〇分後であった。福島県の相馬では、最初の津波のピークが到達したのが一五時三二分であり、





地震発生から五〇分近く経過していた。このように、東北地方太平洋沖地震では、津波により大きく被災した地域でも、地震発生から津波が到達するまでに三〇分から一時間程度の余裕があった。

一方、南海トラフで発生する巨大地震の場合には、時間的余裕がない。内閣府が推定した最大クラスの地震による津波の第一波が到達するまでの時間は、最悪のケースで、駿河湾沿岸の地震発生から三分である。駿河湾から日向灘の南海トラフ全域が一度にずれて地震が発生する場合、ずれ始めからずれ終わりまでに五分以上の時間がかかる。ということは、日向灘にまでプレート境界のずれが達する前に、駿河湾沿岸に津波が到達することになる。揺れが続いている最中に津波もやってくる。また、駿河湾以外の地域でも概ね地震発生から二〇分後には津波が到達する。時間的余裕は極めて少ない。

### 社会的条件の違い

大きな地震が発生してもそれだけで災害につながるわけではない。人間社会の側が揺れや津波に対してどの程度被害を受けやすいか(脆弱性)によっても災害の程度が異なる。例えば、同じ揺れであっても、建物の耐震性によって被害が異なる。耐震性があっても家具の固定をし

ていなければケガをする危険性が増す。

社会的条件の最大の違いは、何と言っても人口と産業の規模であろう。東北地方太平洋沖地震で直接の被害を受けたおもな県は、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県といった太平洋側の県である。これらの県の人口を合計すると、約九八〇万人である(平成二五年度、総務省統計局まとめ)。

一方、南海トラフの巨大地震で大きな津波被害を受ける可能性のある太平洋沿岸の県として、静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、大阪府、兵庫県、徳島県、高知県、愛媛県、大分県、宮崎県、鹿児島県の各県が想定されている。その人口を合計すると、約三五〇〇万人となる。

それぞれの県全体が被害を受けるわけではないし、実際に発生した被害と想定被害の違いもあるものの、人口の違いは大きい。東日本大震災では、九八〇万人を日本の残りの人口である一億一七〇〇万人が助けることになった。人口比では一対一二である。南海トラフ地震による災害では三五〇〇万人を残りの九二〇〇万人が助けることになる。人口比は二対五程度である。南海トラフの巨大地震が発生した場合、東北地方太平洋沖地震に比べ、圧倒的に助ける側の人口が少ない。

経済規模については、県別の総生産が総務省統計局によってまとめられている。東日本大震





災が発生する前年の二〇一〇年の統計では、先の東北地方の太平洋岸の県内総生産額の合計が三四兆円であるのに対し、南海トラフの巨大地震で津波被害を受ける可能性のある府県の県内総生産の合計は一三六兆円である。地震災害による国全体の負担が圧倒的に大きくなる恐れがある。このことは、いったん被害を受けると回復までの時間が長くかかってしまう可能性があることを意味する。さらに被害は、いわゆる**太平洋ベルト地帯**と呼ばれる東西交通の要を直撃する。第二東名高速道路ができて地震への耐性は高まったものの、物流の滞りは避けられない。鉄道による旅客輸送も、南海トラフの巨大地震発生時に中央リニア新幹線ができていれば影響が緩和されるが、それでも旅客輸送能力の減少は避けられないだろう。

このように南海トラフの巨大地震による災害が発生した場合には、被災しなかった地域からの援助は東日本大震災に比べてかなり弱くなることは避けられない。地震対策を進め、地域内で助ける側にまわる人口を少しでも増やすことが是非とも必要である。東北の被災地の迅速な復興はその意味でも重要なのである。

都市への人口の集中度も南海トラフの巨大地震の影響を受ける地域の方が大きい。人口密度は、二〇一〇年の国勢調査報告書によると、静岡・浜松の都市圏では一平方キロメートルあたり五五〇人、名古屋を中心とした中京大都市圏では一二八八人、京阪神を含む近畿大都市圏で

は一四八四人である。それに対し、仙台大都市圏は三六三人であり、その差は歴然としている。大都市地域では、物流や旅客交通網の発達で、狭い地域に多くの人口を効率的に住まわせることができるようになっている。しかし、地震によって、効率性を追求した社会の仕組みが停止すると、一気に不便な社会に変化してしまう。しかも多くの人が住む平野部は、河川によって運ばれた堆積物がたまってできた土地で、住みやすい反面、地震時には揺れが増幅される。東北地方よりも西日本の方が人口密度の高い大都市が多い。南海トラフの巨大地震はこのような大都市を同時に襲う。都市型地震災害が同時多発するのも南海トラフ巨大地震の特徴である。

## 2　地震のシミュレーション

さて、ここでは少し視点を変えて、地震のメカニズムについて科学的に考えてみよう。自然現象のしくみを数式で表現できれば、コンピュータによる計算によって再現することができるはずである。簡単な例は、真空中の物体の運動である。空気抵抗がない真空中で物を投げると、ニュートンの運動方程式に従って動く。物を投げる方向と投げる速さ(初速度)が決まれば、あ





とは重力の作用に従って物は動く。ニュートンの運動方程式は微分方程式で記述されているため、微分方程式をコンピュータの中で表現し解くことができれば、物体の動きを計算することができる。

もう少し複雑な現象としては気象予測がある。現在の気象予測はスーパーコンピュータが用いられている。地球全体の大気層を規則正しく並んだ多数の格子点に分割し、それぞれの格子の位置における気圧・気温・風向風速などを、世界中の国で観測したデータをもとにコンピュータで計算する。そのためには、大気の流れを表す流体力学の微分方程式、海から水蒸気が発生したり、水蒸気が雨になることを表す方程式など、多くの方程式を扱う。気象庁では全地球を二〇キロメートルごとという細かい格子に区分して計算している。そのため膨大なメモリと高い計算能力を持ったスーパーコンピュータを用いている。このようにして現在では、気象の数値予測が行われ、その結果をもとに天気予報・警報等の発表がなされている。

地震発生についても同様に、支配する微分方程式がわかりさえすれば原理的にコンピュータの中で計算することが可能である。しかし、コンピュータによる数値計算にもとづいた地震の数値予報はいまだ研究途上であり、気象予測からは大きな遅れをとっている。地震発生の数値計算とは何か、またどんなところが難しいかを紹介しよう。

山岡耕春

1958年静岡県生まれ
現在―名古屋大学大学院環境学研究科教授．地震予知連絡会副会長，火山噴火予知連絡会幹事
専攻―地震学，火山学
著書―『Q & A 日本は沈む？――地震・火山と防災』理工図書，『地震予知の科学』東京大学出版会（分担執筆）

南海トラフ地震　　岩波新書（新赤版）1587

2016年1月20日　第1刷発行
2016年4月5日　第3刷発行

著者　山岡耕春（やまおかこうしゅん）

発行者　岡本　厚

発行所　株式会社 岩波書店
〒101-8002 東京都千代田区一ツ橋 2-5-5
案内 03-5210-4000　販売部 03-5210-4111
http://www.iwanami.co.jp/

新書編集部 03-5210-4054
http://www.iwanamishinsho.com/

印刷・理想社　カバー・半七印刷　製本・中永製本

© Koshun Yamaoka 2016
ISBN 978-4-00-431587-2　Printed in Japan