

平成25年(ワ)第1992号 損害賠償請求事件

原 告 原告番号1番 外53名

被 告 国 外1名

## 準 備 書 面 2

(地震と津波に関する発生メカニズムと重要な知見)

平成26年7月1日

神戸地方裁判所第2民事部合議係 御中

原告ら訴訟代理人弁護士 弁護士 古 殿 宣 敬

同 辰 巳 裕 規

同 木 村 倫 太 郎

同 安 保 晶 之

同 松 田 昌 明

外

## 第1 地震と津波のメカニズム

### 1 地震のメカニズム

#### (1) 地震を起こすプレート

##### ア 地球の内部構造

地球の内部は、右図のとおりの構造になっている。すなわち、中心に個体の鉄でできている内核（コア）、その外側に液体の鉄でできている外核があり、その周囲を流動性のある岩石でできているマントル（下部・上部）が覆っている。このマントルが溶けたマグマは、海嶺（いわゆる海底山脈）から湧き出し、海水で冷却されることによって固まる。マグマが固まってできたものがプレートであり、地球の表面を覆う膜のようなものである。

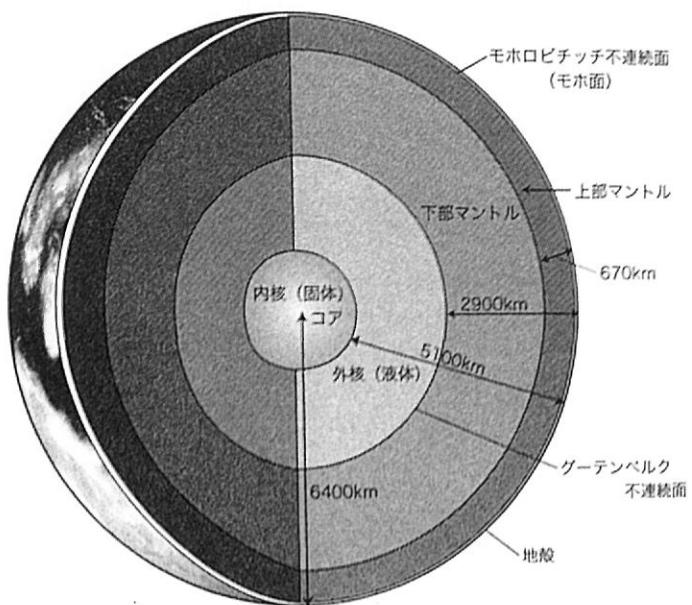


図1 地球の内部構造

NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

##### イ プレートテクトニクス

海嶺から湧き出たマグマが冷却されてできたプレートは、固くて流動性の少ない上部と高温で流動性の高い下部に分かれている。そ

して、このプレートは、マントルの対流によって海嶺を中心に左右に動かされる。このように、「地球は複数のプレートで覆われており、それぞれのプレートはマントル対流によって動かされている」という考え方方が「プレートテクトニクス」と呼ばれる理論である。このようにしてプレートが動く、すなわち断層運動が起きることによって地震が生じるのである。

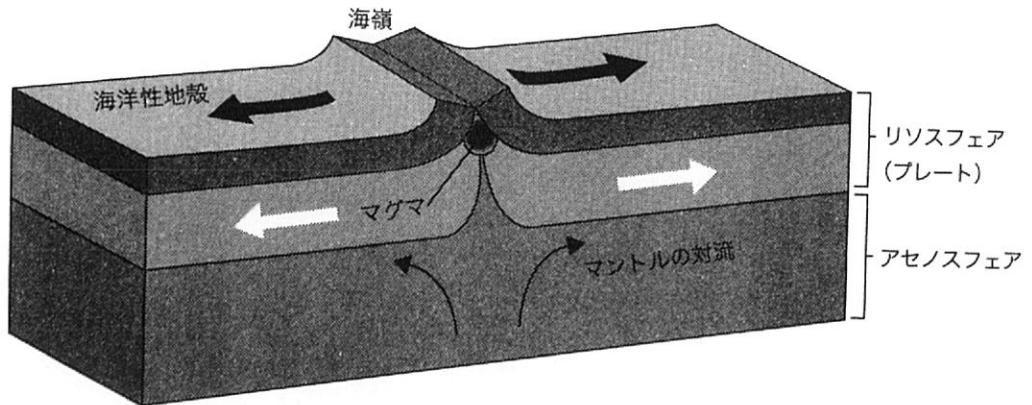


図2 海嶺から誕生するプレート

NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

#### ウ 日本列島周辺の4つのプレート

日本は地震列島と言われるが、その要因は、日本列島周辺に4つのプレートがひしめいていることがある。すなわち、日本列島の北東には、陸側の北米プレートと海側の太平洋プレートがあり、この境界が日本海溝である。まさに、このプレート境界付近で発生したのが、今回の東北地方太平洋沖地震である。

他方、日本列島の南西には、陸側のユーラシアプレートと海側のフィリピン海プレートがあり、この境界が南海トラフである。なお、この付近で近い将来発生すると言われているのが南海地震である。

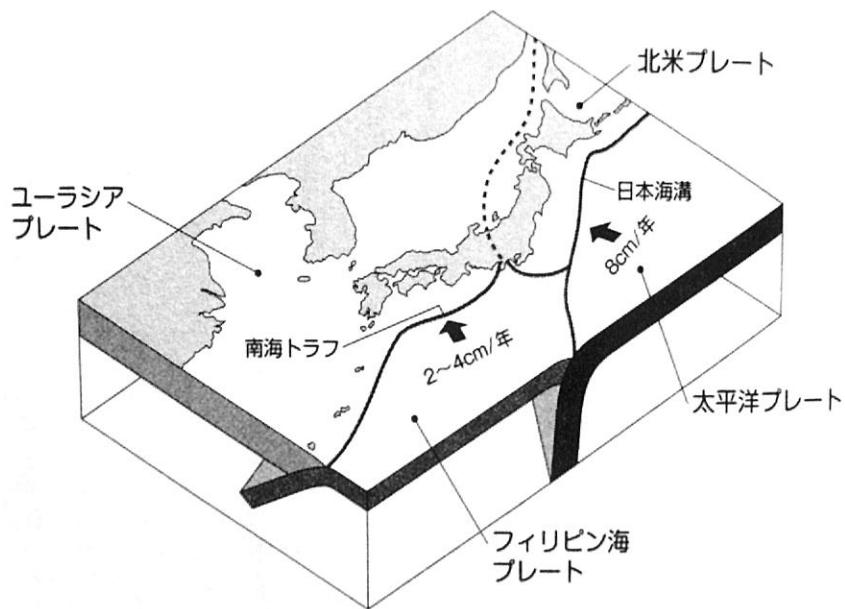


図5 4つのプレートがひしめく日本列島周辺

NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

## (2) 地震の発生のしくみと種類

### ア 「プレート境界型地震」

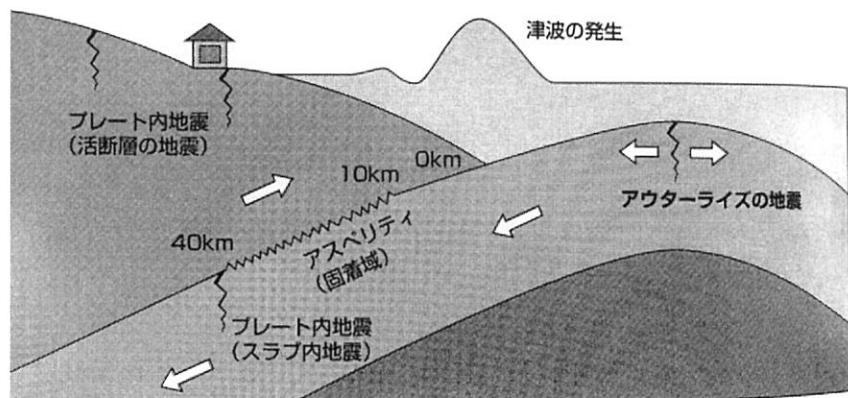


図6 プレート境界型地震の発生のしくみ

NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

海のプレートが陸のプレートの下（地球内部）に沈み込む際、プレート同士に凹凸があると、その部分が引っかかっていわゆる固着（アスペリティ）を起こし、陸のプレートを地球内部に引きずり込

む。このような状況が続くと、固着した部分にひずみが蓄積されていく。そして、蓄積されたひずみに限界がくると固着域が破壊され、陸のプレートが元の位置に跳ね上がることによって、地震が起きる。これが「プレート境界型地震」である。

日本列島の北東のプレート境界である日本海溝で起きたのが今回の東北地方太平洋沖地震である。

このようなプレート境界型地震は、世界各地のプレート境界部で発生しているが、とくに太平洋プレートの境界部で数多く発生している。(下表及び下図参照)。

#### <20世紀以降に発生した主なプレート境界型地震>

発生年	地震名	M	海洋プレート	大陸プレート
2011年	東北地方 太平洋沖地震	9.0	太平洋 プレート	北米プレート
2010年	チリ中部地震	8.8	ナスカ プレート	南米プレート
2004年	スマトラ島沖 地震	8.8～ 9.3	インド・オー ストラリア プレート	ユーラシア プレート
1964年	アラスカ地震	9.2	太平洋 プレート	北米プレート
1960年	チリ地震	9.5	ナスカ プレート	南米プレート
1957年	アンドレアノフ 地震	9.1	太平洋 プレート	北米プレート
1952年	カムチャツカ 地震	9.0	太平洋 プレート	北米プレート

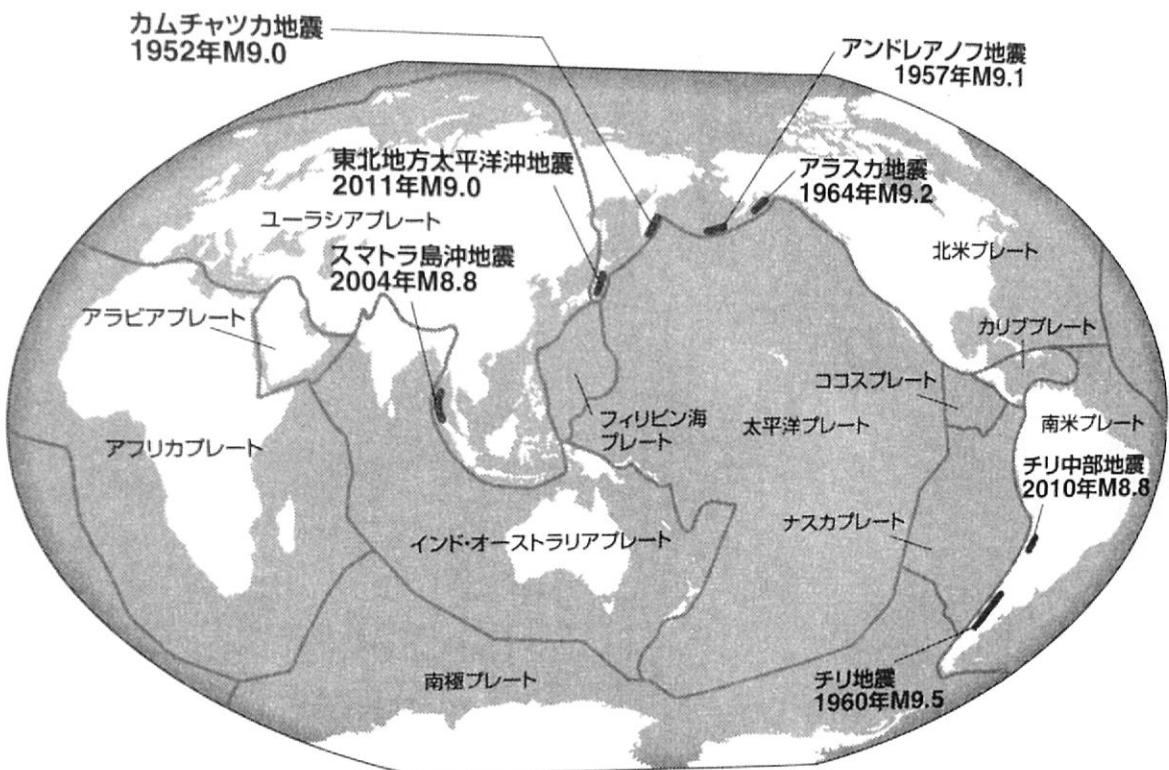


図3 地球を覆うプレートと近年の巨大地震発生地域

NHK サイエンス ZERO「東日本大震災を解き明かす」より

#### イ 「アウターライズの地震」

地球内部に沈み込みを始める海のプレートは、背中を持ち上げるようにして盛り上がるが、その部分に破壊が起きても地震が起きる。これは「アウターライズの地震」と言われ、昭和三陸地震（1933年（昭和8年）3月3日）がその代表例である。

#### ウ 「プレート内地震」

プレート内地震は陸のプレート内で起きる「活断層の地震」と海のプレート内で起きる「スラブ内地震」に分けられる。

地球内部に沈み込む海のプレートによって陸のプレートは陸側に強く押されるため、陸のプレート内にもひずみが生じる。そのひずみが限界を超えると、弱い部分に破壊が起き、地震が起きる。これが「活断層の地震」である。このような破壊は、同じ場所で繰り

返し起きるため、その部分が「活断層」として認知されるのである。

阪神淡路大震災(平成7年1月17日発生)や新潟県中越沖地震(平成19年7月16日)がその代表例である。他方、同様の現象が海のプレート内で起きて生じる地震は「スラブ内地震」と言われる。

## エ 「津波地震」

体に感じる揺れの程度とは不相応に大きな津波を伴う特殊な地震が「津波地震」である。断層運動がゆっくりと起きるために地震動としては小さく、揺れを体感しにくいものの、揺れとは不相応に大きな津波が生じるものである。これは、通常固着の起こらない浅い部分において、プレート境界面の摩擦特性の違いにより、断層のすべり運動が通常の地震よりもゆっくりと起こると言われている。

1896年(明治29年)6月15日に三陸沖で発生した明治三陸地震がこの代表例である。震度が2～3程度であったにもかかわらず、発生した巨大津波は遡上高38.2mを記録し、2万人以上の人人が亡くなっている。

## (2) 地震のタイプとエネルギー量

### ア 正断層と逆断層の区分

地盤が両側から押されて上盤(断层面の上側の地盤)が上向きに、下盤が下向きに動くタイプの地震は「逆断層」の地震と言われる。これに対して、地盤が両側から引っ張られて上盤が下向きに、下盤が上向きに動くタイプの地震は「正断層」の地震と言われる。

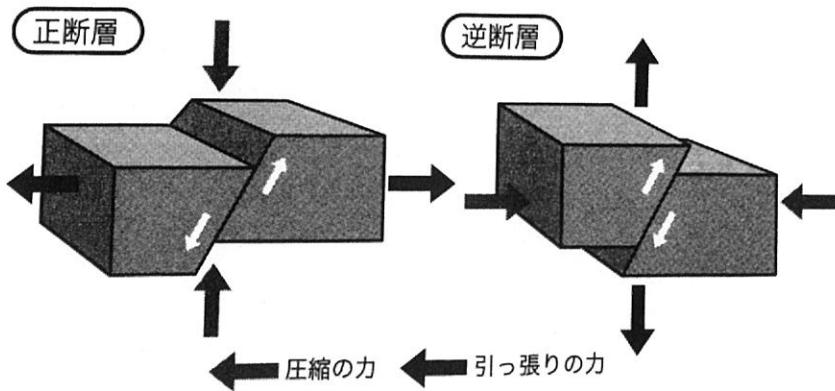


図7 正断層と逆断層の違い

NHKサイエンスZERO「東日本大震災を解き明かす」より

### イ エネルギー量

地震のエネルギー量は、マグニチュードという単位で表示される。マグニチュードが0.2大きくなるとそのエネルギー量は2倍になるため、マグニチュードが1大きくなるとそのエネルギー量は32倍( $2^5$ )になる。

そもそも地震が放出するエネルギーの量は、「どのくらいの面積を持つ震源域が、どのくらい動く（すべる）か」によって決まる。なお、後述するとおり、東日本大震災は、南北400～500km、東西200～250kmの震源域が20m以上動いたと言われている。

## 2 津波発生のメカニズム

### (1) 地震による津波の発生

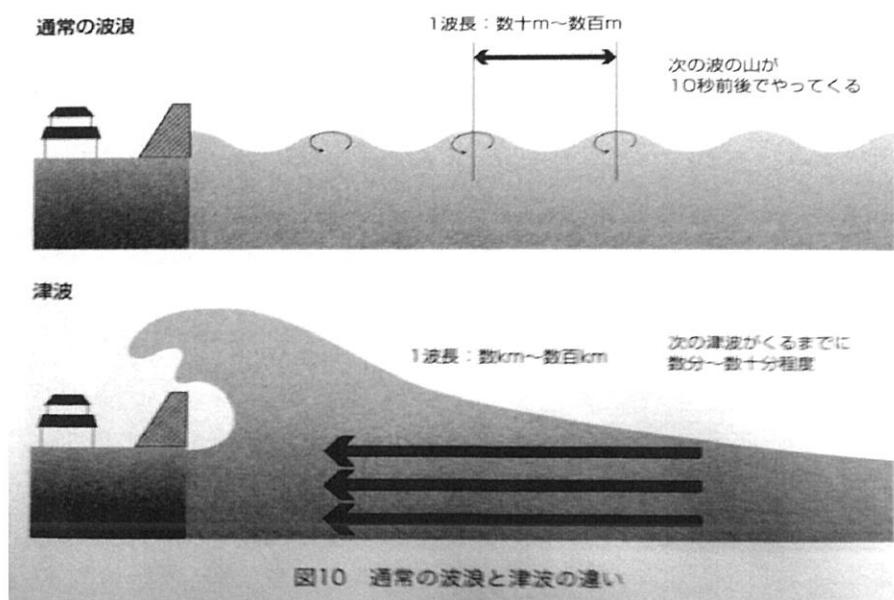
上述したとおり、地震が発生すると、それまで海のプレートによって地球内部の方向に引きずり込まれていた陸のプレートが海面の方向へ大きく跳ね上がる。その際、海底から海面までの大量の海水が跳ね上がったプレートによって持ち上げられる。持ち上げられた大量の海水によって、いったん海面は高く盛り上がるが、重力によって復元す

る力が働くため、盛り上がりの頂点から四方に大量の海水が広がり、津波が発生するのである。

## (2) 波浪と津波の違い

上記のようなメカニズムで発生する津波は、普通の波浪が大きくなつたものとは全く異なる性質を有する。

すなわち、波浪はあくまで海平面のみが変動するのみであるため、仮に防波堤を越える高さに達しても、防波堤を超えて海水が陸地になだれ込むことはほとんどない。これに対して、津波は、地震による海底面の盛り上がりによって生じることから、海底から海面までのすべての海水がいっせいに水平方向へ流れることになる。そのため、たとえ波高が低くても強いエネルギーを持っており、仮に人の膝下程度の波高であっても人は容易に流されてしまうのである。このような性質を有することから、いったん津波が防波堤を超れば、大量の海水が一気に陸地になだれ込むことになる。



NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

## (3) 津波の早さ

津波の速度は、沖合から陸地に近づくにつれ、遅くなる。すなわち、

沖合の水深500mの地点では時速約80km、水深50mの地点では時速約250km、水深50mの地点では時速約80km、水深1mの地点では時速約34kmと言われている。このように水深が浅くなるとスピードが落ちるという津波の性質から、浅瀬では後ろから来た速い波が前の波に追いついて重なり合っていき、波高が急激に高くなる。

そのため、津波が浅瀬に設置されている防波堤に達すると、大量の海水がせき止められるが、後ろから来た速い波が次々重なっていき、防波堤を越える高さに達するのである。そして、いったん防波堤を越えた海水は、一気に陸地になだれ込むことになる。つまりは、もし仮に波高5mの津波を防波堤でせき止めようと思ったら、防波堤の高さは5mでは不十分であり、より高くしなければならないのである。”

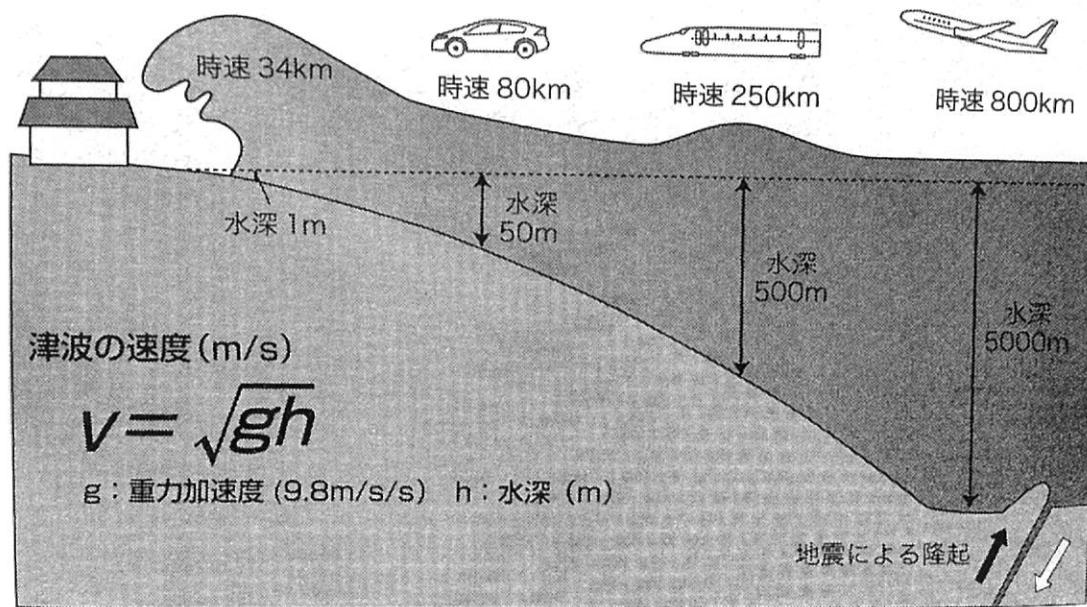


図12 津波の速さ

NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

## 第2 東北地方太平洋沖地震

### 1 東北地方太平洋沖地震の概要

後述する地震調査研究推進本部の発表によれば、東北地方太平洋沖地震は、次のとおりの地震であったとされている。すなわち、当該地震は、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した逆断層型の地震である。

り、その震源域は岩手県沖から茨城県沖まで、長さ約400km以上、幅約200km、最大の滑り量は20m以上である。また、GPS観測の結果によると、東北地方から関東地方の広い範囲で地殻変動が観測されており、宮城県牡鹿観測点では東南東方向に約5.3mの水平移動、約1.2mの沈降が観測されている。なお、宮城県沖の海底基準点は東南東に約24m移動し、約3m隆起していたことが分かっている。

## 2 東北地方太平洋沖地震の特徴

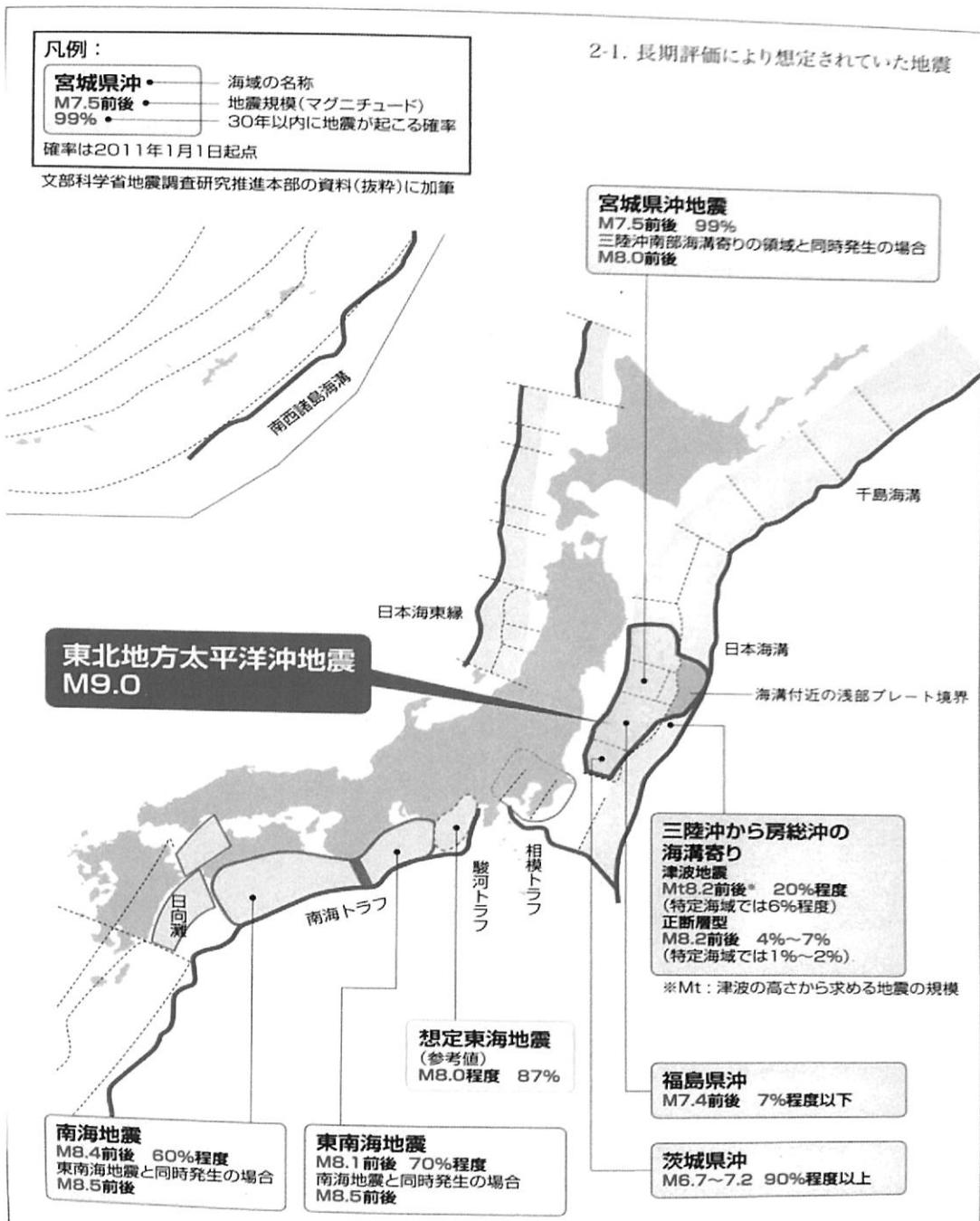
### (1) 連動型の巨大地震

この地震の大きな特徴は、①三陸沖中部、②宮城県沖、③三陸沖南部海溝寄り、④福島県沖、⑤茨城県沖の5つの領域が連動して発生した連動型の地震であることである。

なお、下図は、東北地方太平洋沖地震発生前に地震調査研究推進本部による長期評価で予測されていた内容と東北地方太平洋沖地震の震源地が図示されたものである。

下図中における海域の区域分けについては、後記第3、1(1)において説明する。

## 予測された震源域と地震



NHK サイエンス ZERO「東日本大震災を解き明かす」より

## (2) 巨大津波の発生

当該地震によって、海溝付近の深さ 5 ~ 10 km しかない浅部プレート境界が大きく滑っており、およそ 55 m の断層運動が起きている。この断層運動によって海底が大きく隆起したことにより、巨大な津波が引き起こされたと考えられている。

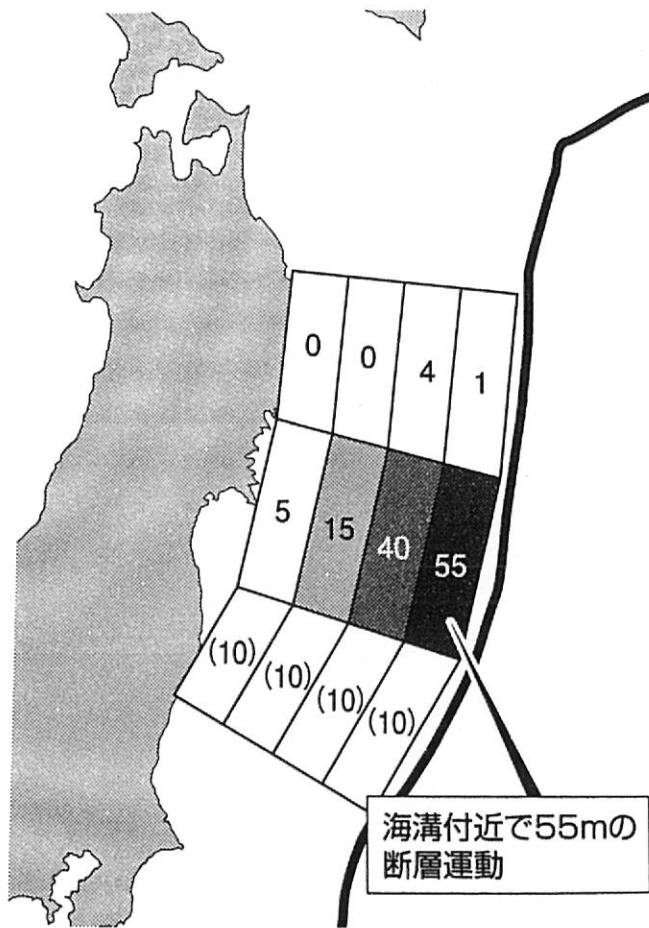


図20 東北地方太平洋沖地震のすべり量の推定結果（東京大学 前田拓人特任助教らによる）数字はメートル

NHK サイエンス ZERO 「東日本大震災を解き明かす」より

### 第3 地震と津波に関する重要な知見

#### 1 「宮城県沖地震の長期評価」

1995(平成7)年の阪神淡路大震災を契機に設置された文部科学省地震調査研究推進本部の地震調査委員会は、平成12年11月27日、「宮城県沖地震の長期評価」(甲B3)を発表した。

##### (1) 長期評価の意義

そもそも長期評価とは、プレート境界や活断層で起きる大地震につ

いて、その長期的な発生可能性を確率という数値で表す長期予測のことと意味する。

長期評価を算出するに当たっては、過去に発生した地震（震源域の形態、震源域、プレートの平均的なずれの向き、発生間隔など）を統計化し、震源域をいくつかの領域に区分して設定した上で、領域ごとに長期的な発生可能性が算定される（甲B3、16頁）。

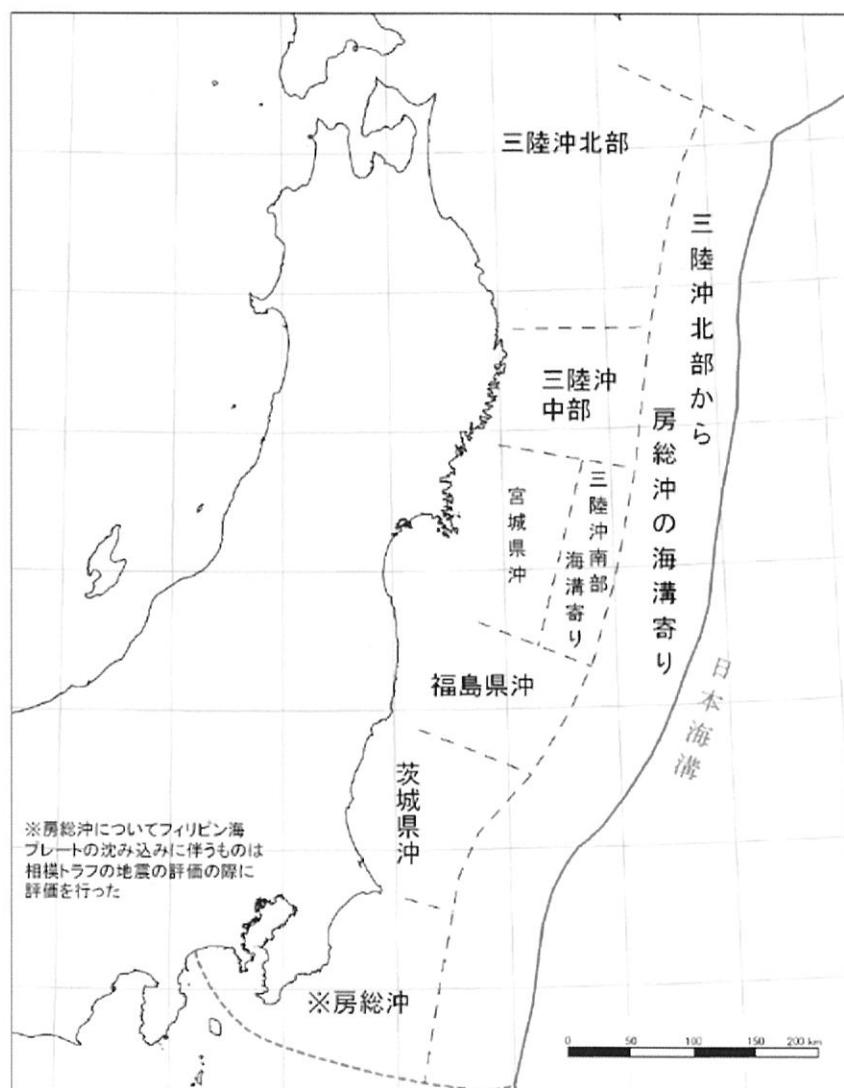


図1 三陸沖北部から房総沖の評価対象領域

地震調査委員会(2009)：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（一部改訂）（平成21年3月9日公表）

## (2) 宮城県沖地震の過去の活動

宮城県沖地震(1978年に宮城県沖で発生したマグニチュード7.

4の地震に代表される、陸寄りの海域を震源域として繰り返し発生する大地震)は、「東北地方の陸側のプレートの下へ太平洋プレートが沈み込むことに伴って、これら2つのプレートの境界面の牡鹿半島沿岸からその東方へ広がる範囲で発生している」と考えられている。

歴史地震の記録や観測成果の中に記述された、津波の記録、震度分布等に基づく調査研究の成果から、1793年以降2000年現在までの200年間余りに6回活動したと考えられ、この結果、活動間隔は26.3年から42.4年までの範囲となり、平均活動間隔は37.1年となるとされた。そして、発表当時の最新活動(1978年6月12日)からの経過時間は2001年1月1日現在で22.6年となり、平均活動間隔の61%に達するとされた。また、「地震の規模は、通常はM7.3～7.5の範囲にあったと考えられる(陸寄りの海域に想定される震源域の中だけが破壊した地震の場合を、以下「単独の場合」という。)。但し、1793年の地震は、陸寄り及び日本海溝寄りの震源域が連動して破壊したため(以下「連動した場合」という。)、その規模は他の地震より大きいM8.2程度であった」と考えられた。なお、1793年より前の地震についてはデータが十分でないものとして評価されていない。

### (3) 将来の活動について

宮城県沖地震の長期評価では「地震発生の可能性は、年々高まっており、今後20年程度以内(2020年頃まで)に次の地震が起こる可能性が高い」とされている。すなわち、将来の活動について、試算値によると、「2001年から20年以内に発生する確率は、約80%となる。さらに、10年以内に発生する確率は、今後年々急速に高まっていき2010年には約70%(2010年までに発生しなかったという条件の下での2010年から2020年の間に発生する確率)となる」うえ、「集積確率についても、2005年頃から年々急速に

高まっていく」と判断されている。また、「地震の規模は、単独の場合にはM 7.5前後、連動した場合にはM 8.0前後となると考えられる。但し、次の活動が単独の場合となるか連動した場合となるかは、現状では判断できない」と指摘されていた。

しかも、「なお、陸寄りと日本海溝寄りが連動した場合は、過去に大津波が発生したことが知られているので、津波の発生にも注意が必要である。」とされている。

#### (4) 小括

このように、宮城県沖では、近い将来高い確率で、単独の場合でもM 7.5前後、連動した場合にはM 8.0前後の大規模な地震がおこることが、平成12年の段階で示されていた。しかも、大規模な地震とともに、過去の経験から大津波が発生するかもしれないことが合わせて注意喚起されていたのである。

### 2 「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について」

地震調査研究推進本部の地震調査委員会は、平成14年7月31日、「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について」(甲B4)(以下、「平成14年長期評価」という)を発表した。この平成14年長期評価によって、既に、M<sub>t</sub>8.2(津波マグニチュード)前後の津波地震が50年以内に30%程度の確率で発生することが指摘されていたのである。これについて以下、詳述する。

#### (1) 平成14年長期評価の結果と推論の過程

平成14年長期評価において、「三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震(津波地震)」に関して、「M 8クラスのプレート間の大地震は、過去400年間に3回発生していることから、この領域全体では約133年に1回の割合でこのような大地震が発生すると推定される。ポアソン過程により(発生確率等は表4-2に示す)、今後30年以内の発生確率は20%程度、今後50年以内の発生確率

は30%程度と推定される。」とされている。

この長期評価を算出するために参照された過去のデータは、この領域で17世紀以降に発生したM8クラスの津波地震、すなわち、三陸沖で1611年、1896年に発生した2例、房総沖で1677年1月に発生した1例とされている。なお、1896年6月15日に発生した明治三陸沖地震は、次のような津波地震とされている。すなわち、「地震後約35分で津波が三陸沿岸に来襲した。津波 来襲直前に鳴響のあったところが多く、第2波が最大だった。波高が最も高かったのは岩手県綾里村(38.2m)で、被害の大きかった山田町では、戸数800のうち100戸ばかりが残り死者1000人を算した。津波は襟裳岬で高さ約4m、室蘭・函館で溢水があり、父島で波の高さ約1m。ハワイでは全振幅は2.5~9mで多少の被害があった。この地震は地震の規模に比べて津波が大きく、かつ海水の干退が比較的小さかったのが特徴である(宇佐美, 1996)。津波の波源域を断層モデルから推定すると、日本海溝沿いに長さ200~220km、幅50~70kmとなる。」とされている。

そして、このような過去のデータをもとに、1611年の地震及び1896年の地震は、「津波数値計算等から得られた震源モデルから海溝軸付近に位置することが判つて(相田, 1977, Tanioka & Satake, 1996)」おり、「およその断層の長さは約200km、幅は約50kmとし、南北に伸びる海溝に沿つて位置する」と考えられた。ただし、「過去の同様の地震の発生例は少なく、このタイプの地震が特定の三陸沖にのみ発生する固有地震であるとは断定できない」ことから、「同様の地震が、三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄りにかけてどこでも発生する可能性があると」され、上記の結果が得られた。

## (2) 小括

このようにして、平成14年長期評価によって、上記明治三陸沖地

震に匹敵するだけの津波を引き起こす津波地震の発生可能性が「今後30年以内の発生確率は20%程度、今後50年以内の発生確率は30%程度」と高い確率で指摘されていたのである。

そして、被告東京電力は、この平成14年長期評価による指摘を受け、平成20年ころに、明治三陸沖地震をもとに、その震源地を南にずらしてM8.3と想定して試算し、福島第一原発南側でO.P+15.7mの津波が到来するという結果を得たのである。

### 3 貞観地震・津波に関する知見

#### (1) 貞観地震・津波の概要

869(貞観11)年7月9日に発生した貞観地震は、連動型地震と考えられる巨大地震であり、巨大な津波を伴った。

すなわち、貞観地震は、宮城県から福島県にかけての沖合の日本海溝沿いにおけるプレート境界で、長さ200km程度の断層が動いたことにより引き起こされたM8以上の連動型で、かつ、プレート境界型の地震であったと言われており、これにより発生した貞観津波により、当時の海岸から3~4km内陸まで浸水していたと言われている。この浸水域は、東北地方太平洋沖地震によって発生した津波による浸水域とほぼ重なっている。

この津波は、上述した明治三陸沖地震などの津波地震と異なり、今回の東北地方太平洋沖地震と同様に大きな地震動を伴うものであった点にその特徴がある。

#### (2) 貞観地震・津波に関する知見の進展(2002(平成14)年頃まで)

貞観津波に関しては、『日本三代実録』に、「陸奥国で大震動があり、建物の倒壊や地割れに寄って人間や牛馬などに多くの被害がでた、また、雷のような音とともに津波が発生し、城下に至り、数千里が海のようになり、溺死者数千人が出た」旨の記述が残されており、古く

から指摘がなされていた。

そして、2002（平成14）年頃までに、多くの研究者によって、正史、伝承、津波堆積物などからその被害、波源モデル、規模、浸水域などに関する研究が着実に進められていた。

例えば、1990（平成2）年には、東北電力女川原子力発電所建設所の研究者が仙台平野の調査を行った結果、海岸から3kmの地点で、貞観津波による堆積物が発見された（甲B5・阿部壽ほか『仙台平野における貞観11年（869年）三陸津波の痕跡高の推定』）。また、平成13年（2001年）には、福島県相馬市においても、貞観津波による津波堆積物が発見されたとの報告がなされている（甲B6・菅原ほか『西暦869年貞観津波による堆積作用とその数値復元』）。

これらの研究により、2002（平成14）年までには、少なくとも、貞観津波の被害が甚大であったこと、海岸から3kmほどまで津波が押し寄せたこと、その津波は仙台平野からさらに以南の福島沖相馬付近まで及んでいたことなどは知見として確立していた。

### （3）貞観地震・津波に関する知見の更なる進展（2002（平成14）年以降）

被告国（文部科学省）は、2005（平成17）年10月から2010（平成22）年3月まで、委託先を東北大学とし、再委託先を国立大学法人東京大学地震研究所及び独立行政法人産業技術総合研究所<sup>1</sup>として、委託費総額合計5億146万5999円をかけて、「宮城県沖地震における重点的調査観測」業務を委託し、年度ごとに中間報告書及び委託業務完了報告書を受領した。

被告国（文部科学省）が、2005（平成17）年10月頃の時点

<sup>1</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）は、旧通商産業省工業技術院の15研究所と計量教習所が統合・再編されるかたちで2001年（平成13年）4月に設立されたもので、環境・エネルギー、ライフサイエンス、情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造、計測・計量標準、地質という多様な6分野の研究を行う我が国最大級の公的研究機関である。

において、このような委託をしたのは、政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会が公表した「宮城県沖地震の長期評価」（甲B3）のとおり、宮城県沖地震がおよそ37年の繰り返し期間で発生すると考えられるところ（上記第3、1）、前回1978年宮城県沖地震からすでに27年が経過し次の地震発生が差し迫りつつあることから、発生時期や規模の予測の高精度化が急務であり、また三陸沖南部海溝寄りとの連動型地震の活動履歴の解明も必要であると認識していたためである。

そして、この委託に基づき東北大学等の実施した調査研究により、貞観津波に関する知見が更に本格的に進展することとなった。

例えば、平成18年ころには、産総研活断層研究センターの岡村行信らが、仙台平野の津波堆積物を精査することによって、貞観津波による浸水域を明らかにした（甲B7・澤井ほか『仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波-1611年慶長津波と869年貞観津波の浸水域-』）。これにより、当時の海岸線の位置を推定した上で、仙台平野南部において、貞観津波が少なくとも2～3kmの遡上距離を持っていたことが明らかにされた。

そして、平成20年ころには、佐竹健治らによって、貞観津波による石巻平野と仙台平野における津波堆積物の分布を説明しうる津波波源モデルが、数値シミュレーションにより推定された（甲B8・佐竹ほか『石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション』）。その結果、プレート間地震で断層の長さ200km、幅100km、すべり7m以上の場合に、貞観津波による津波堆積物の分布をほぼ完全に再現できることが判明した。

このようなシミュレーション結果と併せて、産業技術総合研究所の海溝型地震履歴研究チームによる平成16年以降の調査研究によって、貞観津波が当時の海岸線から3～4km内陸まで浸水し、宮城県から福

島県にかけての沖合の日本海溝沿いにおけるプレート境界で、長さ 200 km 程度の断層が動く、M 8 以上の地震であったことが判明した（甲B 9・宍倉ほか『平安の人々が見た巨大津波を再現する-西暦 869 年貞観津波-』）。当該論文中には、貞観津波と同規模の津波が 450 年～800 年程度の再来間隔で過去に繰り返し起きていたことから、近い将来に再び起きる可能性が指摘されている。

#### （4）小括

以上のとおり、貞観地震・津波に関する知見は、東日本大震災が発生する 20 年以上前から相当程度蓄積されていたのである。

以上