

超巨大地震，貞観の地震と長期評価

島崎邦彦

しまざき くにひこ
東京大学名誉教授(地震学)

海岸から数 km の内陸まで押し寄せた津波により多数の方々が犠牲となった。今回の災害に最も類似しているのが、869 年(貞観年間)に発生した貞観の津波災害と思われる。最近の研究により、その地震像が描かれつつあったが、これほどまで大規模な超巨大地震は予測できなかった。

津波地震と貞観の地震

三陸地域は津波の常襲地と呼ばれることがある。この地域の過去の大きな津波被害は、揺れが小さいが高い津波となる特殊な地震、専門用語で「津波地震」によりもたらされた。しかし、揺れが大きく、高い津波が襲ってくる地震も知られている。貞観年間の 869 年に起きた地震で、貞観の地震と呼ばれる。最近の研究によって、その津波の浸水域が明らかになってきた。今回の津波の浸水域は、驚くほど貞観の津波の浸水域に似ている。まず津波地震について、そして貞観の地震について述べる。

三陸沖から房総沖にかけて、最深部が 8000 m を超える日本海溝がほぼ南北に延びている。この日本海溝は、プレートが沈み込むことによってつくられた。東太平洋の海底火山山脈、すなわち東太平洋海膨でつくられた太平洋プレートが、はるばる長い距離を運ばれるうちに冷却し密度を増し

て、日本列島の地下へと沈み込んでいく。年間約 8 cm という、爪が伸びるくらいの速さで、太平洋プレートは、日本に近づいてくる。このプレートの沈み込みに伴って日本海溝に沿って巨大地震が発生する。太平洋プレートの沈み込みは、千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝と続き、いわゆる環太平洋地震帯の一部をなしている。

この日本海溝に沿った地域では、巨大地震に伴う津波によって、繰り返し被害を受けてきた。特に、揺れは小さいが大きな津波を伴う「津波地震」が、大きな被害をもたらしてきた。日本海溝に沿う帯状の海域、「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」の海域(後述)では、過去 400 年間に 3 回津波地震が発生したと考えられる。死者 2 万 2000 人の 1896 年の明治三陸地震、宮城県の岩沼から房総にかけて家屋が流失した 1677 年(延宝年間)の地震、岩手県の宮古から福島県の相馬まで家が流され、北海道東部でも溺死者が報告されている 1611 年(慶長年間)の地震¹である。1995 年の阪神・淡路大震災後に設置された、地震調査研究推進本部(略称:地震本部)の地震調査委員会は、2002 年、この海域のどこかで 30 年間に津波地震が発生する確率は 20% 程度、地震の津波マグニチュード(津波の高さから推定される震源規模)は 8.2 と公表した。

大きな津波だけでなく、地震動も強かった貞観地震は、貞観十一(西暦 869)年に発生した。仙台平野で東北電力女川原子力発電所建設所の研究者が調査を行った結果、海岸から 3 km まで津波が押し寄せたことが判明した²。大きな津波が押し寄

Giant earthquake of 2011, Jogan earthquake, and long-term forecasts

Kunihiko SHIMAZAKI

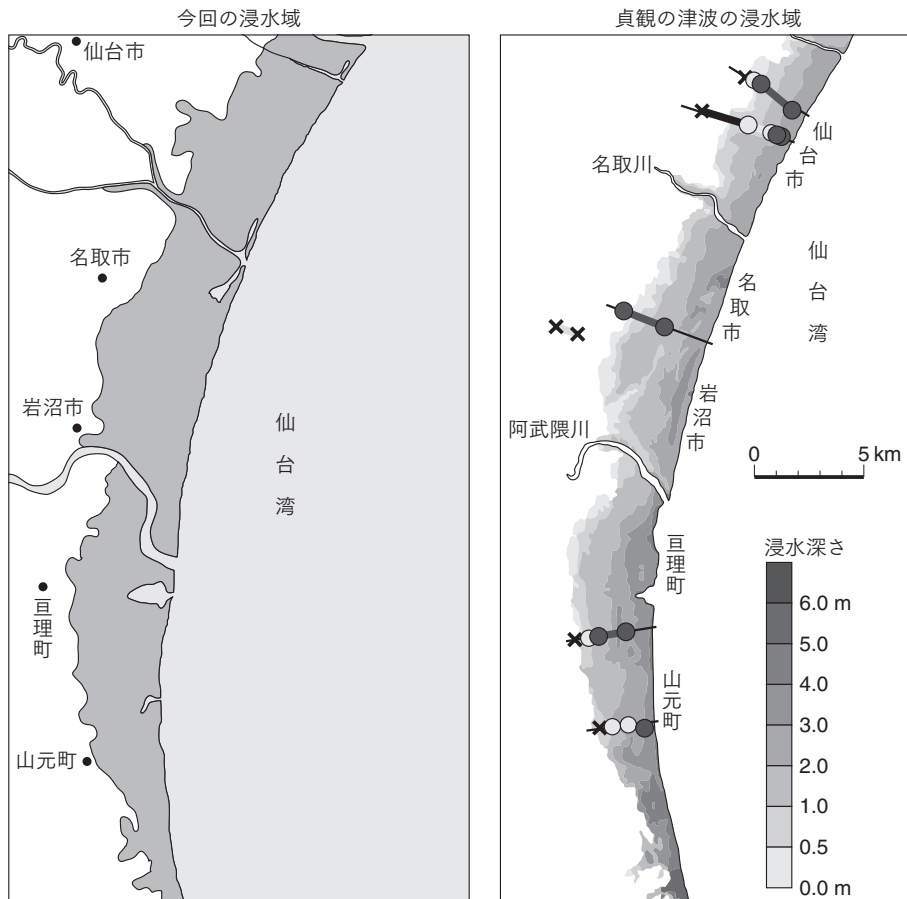


図1—宮城県仙台市から亶理郡山元町までの海岸の浸水範囲概況図¹⁶と貞観地震の断層モデルによる浸水域⁶。仙台市若林区、名取市、岩沼市、亶理郡亶理町、同山元町が含まれる。右図は行谷・他⁶のモデル10の結果を示す。貞観年代の海岸線は、仙台平野では現在の海岸線より1 km 内陸に設定されている。黒丸は貞観津波堆積物が、灰色の丸は貞観津波堆積物の可能性がある堆積物が、それぞれ掘削された位置、×印は見つからなかった位置を示す。

せると、海の砂が津波で運ばれ陸上に残る。これを津波堆積物という。津波堆積物の分布とそれが貞観地震によるとの調査結果が1990年に発表されると、さらに調査が行われ、同様な堆積物が発見されるようになった。仙台平野は、800³~1000年間隔で津波に襲われていたこと、貞観の津波は相馬も襲ったことが明らかとなった⁴。さらに2005年から宮城県沖地震(後述)の調査研究が5カ年計画で組織的に進められ、1500年頃の津波堆積物や、貞観津波による浸水域のひろがりなどが明らかになってきた⁵。地震本部の地震調査委員会で、このような巨大津波をどのように評価し、地震防災に役立てるか、その結論を得る前に、

超巨大地震が発生した。

図1は、右に貞観の津波の浸水域を、左に今回の地震の浸水域を示す。図には含まれていないが、石巻平野でも両者はほぼ一致する。数値計算によって津波が陸上に遡上する範囲を求め、貞観の浸水域が説明できるような震源モデルが推定されている⁶。その震源域を図2の矩形領域で示す。マグニチュード(M)は8.4で、プレート境界の地震と考えられた。一方、今回の東北地方太平洋沖地震の震源域は、点線のように推定されている。貞観地震との関係は、今後の解明に待たねばならないが、両者の震源域がほぼ同一であった可能性も考えられるのではないだろうか。貞観の津波の

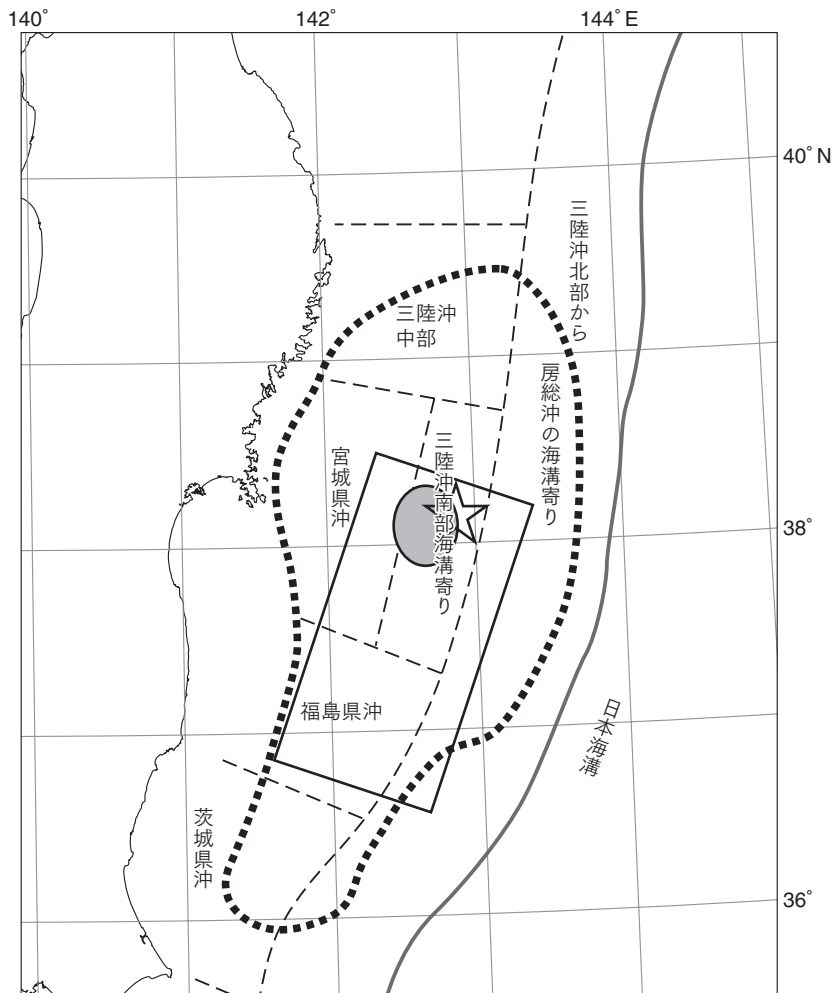


図2—長期予測の対象地域¹¹と2011年東北地方太平洋沖地震の震源域
震源域は国土地理院¹²のモデルでずれの量が4m以上の地域を点線で、24m以上を網かけで示した。矩形は行谷・他のモデル10の震源域。“三陸沖南部海溝寄り”の海域にある星印は破壊の開始点を示す。

浸水域は、仙台平野、石巻平野と、福島第一原子力発電所の北の請戸で調査されているが、津波がより広範囲にわたる、より大きな地震であった可能性は残る。

貞観地震は、既に述べたように揺れの小さい「津波地震」ではなく、揺れも大きかった。多賀城の城郭が壊れ、人々は叫び合い、倒れて起き上がることができず、家屋倒壊で圧死するなど、正史である史書『日本三代実録』に記録されている。なお、津波による溺死者は城下で1000人ほど、野原や道もすべて青海原となったとも書かれている。今回の地震も揺れは強く、宮城県栗原市で震

度7、強震計は2993ガルの加速度を記録した。

現在の感覚からすると、京都から遠くはなれた宮城県多賀城市の記述は不思議に思われるが、当時は西の太宰府とならぶ、北の守りの中心地で、京都との行き来も多かった。源氏物語の実在モデルとの説もある、河原左大臣が塩竈の景色に似せて作庭したことは有名である。横道にそれるが、「波越さじとは」と詠われた多賀城市にある末の松山の伝説は、ひょっとして貞観の津波によるのではないかと考えている。ただ残念なことに、多賀城以外の地域での被害は記録に残っていない。津波堆積物の調査によって、はじめて震源域のひ

ろがりやが推定されたのである。また 887 年までを記録した『日本三代実録』は最後の正史であり、以降江戸時代まで、東北地方の地震記録はほとんど残っていない。

長期予測と比較沈み込み学の パラダイム

これまでの想定

地震調査委員会の長期評価や中央防災会議の被害想定などの動きを、次に見てみよう。そして、このような超巨大地震が予測できなかった理由を考えてみる。

図 2 の“三陸沖北部から房総沖の海溝寄り”の海域での長期評価結果が 2002 年に公表されたことは、既に述べた。2003 年 3 月には千島海溝沿いの地震活動の長期評価が公表され、9 月に予測どおりの十勝沖地震 $M8.0$ が発生した。中央防災会議では同年日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会を設けて審議を開始し、2006 年に被害想定を発表した⁷。この時点では、貞観地震の地震像が不鮮明であったために、想定地震には含まれていない。三陸地域では、「津波地震」である明治三陸地震のタイプが最も被害が大きく、津波による死者は約 2700 人とされた。“三陸沖北部から房総沖の海溝寄り”の海域で予測されていた他の「津波地震」を想定すべきという筆者の主張は容れられなかった。

また当時、津波堆積物調査により、400~500 年おきに北海道の十勝から根室までの太平洋岸が巨大津波に襲われていたことが明らかとなっていた⁸。この“500 年間隔の地震”では、津波による死者は約 870 人とされている。いずれも冬の朝 5 時に地震が発生したという想定の結果である。“500 年間隔の地震”は、十勝沖の地震と根室沖の地震とが連動した地震と考えられ、 $M8.3$ 程度と推定されているが⁹、今回の $M9.0$ の地震の発生により、再考慮すべきではないかと思われる。

日本海溝に沿った東北日本の太平洋沖では、図 2 に示す各領域で、地震調査委員会による地震の

評価が行われてきた。最初にとりあげられたのが、宮城県沖で、評価結果は 2000 年に公表された。2001~2020 年の発生確率は約 80%、宮城県沖のみで地震が発生した場合は $M7.5$ 前後だが、東の“三陸沖南部海溝寄り”の海域と連動(同時発生)した場合は $M8.0$ 前後とされた¹⁰。二海域が同時に活動したと考えられたのが 1793 年の地震 $M8.0\sim 8.4$ で、津波により岩手県の大槌から宮城県の牡鹿半島まで家屋が流失し、福島県の相馬やいわきでも死者がでている¹。1897 年には 2 月に宮城県沖で $M7.4$ 、8 月に海溝寄りで $M7.7$ の地震が発生した。“三陸沖南部海溝寄り”の海域単独の評価結果でも、30 年以内の発生確率は 80~90% と高く、宮城県沖とならんで、三陸沖から房総沖までのうち、大地震発生の可能性が最も高い海域であった¹¹。

今回の地震

東北地方太平洋沖地震は、この二地域と、既述の“三陸沖北部から房総沖の海溝寄り”の海域の隣接する部分で、ずれの量が大きい。図 2 に点線で示すように、今回の地震の震源域は、さらに北の三陸沖中部、南の福島県沖や茨城県沖に及んでいる。点線は、ずれの量が 4 m 以上の範囲であり、実際の震源域は、これより広い。この震源域は、陸上の観測点(国土地理院の電子基準点、すなわち GPS 連続観測点)が地震前後でどれだけ移動したかを、測定した結果から得られた¹²。このため、沿岸の震源域はよく求められているが、海溝沿いのほうは、精度が低いと思われる。陸上の観測点で最も移動が大きかったのは、宮城県石巻市の牡鹿観測点で約 5.3 m 東南東に移動し、約 1.2 m 沈下した。

図 2 に網かけで示した区域は、24 m 以上ずれた。気象庁¹³によれば、全世界の地震記録(長周期)からは、網かけの南東 50 km の部分が 30 m ずれたと推定されている。また、日本の強震記録(短周期)からは、網かけの北東 50 km の部分が 25 m ずれたと推定されている。このように、手法や解析者によって、震源域のひろがりや、最もずれた部分の位置や、ずれの量の詳細は異なっているが、

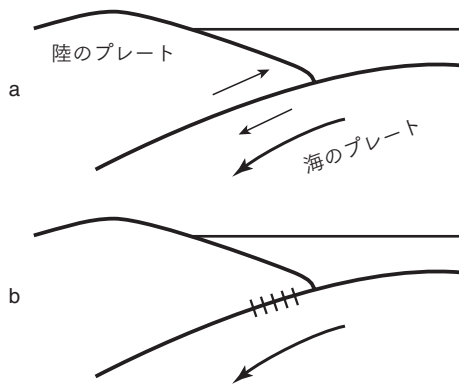


図3—沈み込むプレートの境界：スルスル境界(a)とガッチリ境界(b)

地震が長期間起こらない場合、(a)では地震を起こさず、ゆっくりずれているので心配ないが、(b)であるなら、プレートの境界が固着しており、いつか大きな地震が起こる。マリアナ型やチリ型のプレート境界は、プレートの沈み込み角度や地形などの点で、この図とはまったく異なる。しかし、地震の起こり方から見ると、マリアナ型はスルスル境界に、チリ型はガッチリ境界に対応する。

おおまかな震源像は得られたものと思われる。破壊は発生確率が高いとされた「三陸沖南部海溝寄り」の海域(図2の星印)から始まり、東西、そして南北にひろがった。最もずれた地点は、この海域内、または東に隣接する「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」の海域内と思われる。ずれの量、震源域の長さ、幅、どれをとっても、阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震の約10倍という、超巨大地震であった。2003年の十勝沖地震や1923年の関東地震など、通常の見溝型地震と比べても、ずれの量、震源域の長さ、幅、それぞれが約3倍という大きさであった。

比較沈み込み学のパラダイムを超えて

M9.0程度、あるいはそれ以上の超巨大地震は、これまで世界各地のプレートの沈み込み帯で起きている。各地の沈み込み帯を比べ、その特徴から地震の起こり方などを推定する「比較沈み込み学」は日本ではじまった¹⁴。史上最大の地震であるチリ地震M9.5が発生したチリ型の沈み込み帯と、巨大地震が発生しないマリアナ型を両極端とする考えである。千島海溝はチリ型的で、伊豆・小笠原海溝とマリアナ海溝はマリアナ型、日

本海溝では北部より南部のほうがマリアナ型に近いと考えられた(図3)。

超巨大地震はチリ型で発生するが、1980年には、沈み込む海洋プレートの年代が若く、プレートの移動速度が速い沈み込み帯で、M9クラスの地震が起こるとの説¹⁵が発表され、注目を集めた。当時知られていた超巨大地震や巨大地震のマグニチュードを、二つのパラメーターでほぼ説明できたからである。沈み込む海洋プレートは、年代が若いほど温度が高く、密度が低いので、浮力があり、プレート境界が密着すると考えられる。このため、超巨大地震が起きやすいのである。ただしプレートの移動速度については、移動速度の遅い海溝で2004年スマトラ沖地震M9.1が発生するに至って、疑問が生じていた。

日本海溝から沈み込む太平洋プレートの海底の年齢は、海底の中でも特に古いほうで1億3000万年程度とされている。よって、プレート境界の密着度は低いと考えられた。プレートが日本に近づく速度(太平洋プレートと日本を載せるプレートとの相対速度)は年間約8cmだが、そのすべてが地震で解消されているわけではない。ずれ残りは、地震を起こさずにゆっくりずれている、と考えられてきた。そして、日本海溝でM9.0の地震が起こるとは考えられてこなかった。いずれも「比較沈み込み学」の、いまから思えば思いこみであった。

「三陸沖南部海溝寄り」の海域で発生した1897年の地震のずれの量は、5~6m程度と考えられる。ほぼ100年おきに繰り返しているならば、年平均で5~6cmとなり、プレートの相対速度の年間8cmより小さい。残りの年間2~3cmは、地震を起こさずに、ゆっくりずれていると考えられてきた。今回の地震で、この部分は最大24m以上ずれたようである。100年おきに繰り返す地震では解消されなかった、ずれ残りの部分が、長期間かけて蓄積されていたと考えられる。

このようなずれ残りの部分が、地震を起こさずに、ゆっくりと解消されていると考えたのは、「比較沈み込み学」の枠組みで考えていたためである。地震を起こさずに解消されていると考え

られた、ずれ残りが、実は蓄積されており、遂に地震を起こした。ずれ残りは、広い地域に蓄積されており、これらが同時にずれて、超巨大地震となった。

“三陸沖南部海溝寄り”の海域の北には三陸沖中部の海域がある。ここでは、江戸時代以降の過去約400年間に、被害を与えるような大きな地震は、まったく知られていない。非常に特異な地域である。あるいは、南の福島県沖では、過去400年間のうち、1938年にM7.4程度の地震が複数回起こっただけである。これらは不思議な状況だとは思いつつも、既存の思考の枠組みから抜け出すことができなかった。これらの海域もその大半が今回の地震の震源域に含まれている。将来起こる巨大地震のずれが長期間に蓄えられていたのであろう。

今回の地震のずれが、どの海域に、どのようにして蓄えられていたか、そして、将来の地震のずれが、どの海域に、どの程度蓄えられているかの詳細な議論は、今後の研究に待ちたい。陸地の観測のみでは、おそらく十分な精度で議論するのが難しいので、海域の地殻変動観測の充実が望まれる。どこに、どれだけ、ずれ残りが蓄えられているのか、その精査こそが、次の地震発生の予測に

つながるに違いない。

文献

- 1—宇佐美龍夫: 最新版日本被害地震総覧, 東京大学出版会(2003)
- 2—阿部壽・他: 地震, **43**, 513(1990)
- 3—K. Minoura & S. Nakaya: J. Geology, **99**, 265(1991)
- 4—K. Minoura et al.: J. Natural Disaster Sci., **23**, 83(2001)
- 5—穴倉正展・他: 活断層・古地震研究報告, **7**, 31(2007); 澤井祐紀・他: *ibid.*, **7**, 47(2007)
- 6—行谷佑一・他: 活断層・古地震研究報告, **10**, 9(2010)
- 7—中央防災会議事務局: 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定について, 79 pp.(2006)
- 8—平川一臣・他: 月刊地球号外, **31**, 92(2000); F. Nanayama et al.: Nature, **424**, 660(2003)
- 9—佐竹健治・他: 活断層・古地震研究報告, **3**, 315(2003)
- 10—地震調査委員会: 宮城県沖地震の長期評価, 18 pp.(2000)
- 11—地震調査委員会: 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, 63 pp.(2002)
- 12—国土地理院: 電子基準点(GPS 連続観測点)データ解析による滑り分布モデル(暫定)<http://www.gsi.go.jp/cais/topic110314.2-index.html> (2010年3月27日)
- 13—気象庁: 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第28報), 21pp.(2011)
- 14—金森博雄: 科学, **42**, 203(1972), Tectonophysics, **12**, 187(1971); 上田誠也・金森博雄, *ibid.*, **48**, 91(1978), J. Geophys. Res., **84**, 1049(1979)
- 15—L. Ruff & H. Kanamori: Phys. Earth Planet. Inter., **23**, 240(1980)
- 16—国土地理院: 浸水範囲概況図 <http://www.gsi.go.jp/common/000059731.pdf>(2010年3月27日)