- 3.2 津波波源モデル・震源断層モデルの構築
- 3.2.1 歴史地震·古津波調査
- 3.2.1.1 歴史文書・地震記録の調査
- 目 次
- (1) 業務の内容
  - (a) 業務題目
  - (b) 担当者
  - (c) 業務の目的
  - (d) 8 か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)
    - 1) 平成25年度
    - 2) 平成26年度
    - 3) 平成27年度
    - 4) 平成28年度
    - 5) 平成29年度
    - 6) 平成30年度
    - 7) 平成31年度
    - 8) 平成32年度
  - (e) 平成28年度業務目的
- (2) 平成28年度の成果
  - (a) 業務の要約
  - (b) 業務の成果
    - 1) 20 世紀に日本海で発生した地震の解析
    - 2) 山陰・九州沖で過去に発生した地震の史資料の収集
  - (c) 結論ならびに今後の課題
  - (d) 引用文献
  - (e) 成果の論文発表・口頭発表等
  - (f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定
- (3) 平成29年度業務計画案

## (1) 業務の内容

# (a) 業務題目

2.1.1 歴史文書・地震記録の調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治
	特任研究員	Gusman
		Aditya Riadi
	助教	西山 昭仁
国立科学博物館	研究員	室谷 智子
地震予知総合研究振	副主任研究員	石辺 岳男
興会		

(c) 業務の目的

震源が知られている 20 世紀に発生した大地震(M7 クラス)の地震記録の再解析と、北 海道から九州に至る日本海沿岸域での歴史資料の解析を進め、津波波源域の推定に必要な 基礎資料を得る。

(d) 8 か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成25年度:

地震カタログや地震波形記録から、1964 年新潟地震の本震・余震の震源再決定、1963 年越前岬沖、1964 年男鹿半島沖、1971 年サハリン西方沖、1983 年青森県西方沖の地震の 本震・余震の震源再決定や断層パラメータ、すべり分布の推定を行った。1741 年(寛保元 年)渡島大島津波について、地震歴史資料のデジタルデータ化を行い、校訂作業のための 原本の収集を開始した。「古地震・津波等の史資料データベース(ひずみ集中帯の重点的調 査観測・研究プロジェクト)」で公開されている歴史資料に基づき、1762 年(宝暦 12 年) 佐渡地震と 1802 年(享和 2 年)佐渡小木地震について、震度分布と津波被災地の推定を 行った。

2) 平成26年度:

平成25年度に引き続き20世紀に発生した1963年越前岬沖、1964年男鹿半島沖、1983 年青森県西方沖の地震に対して、地震波形記録の再解析から断層パラメータ、すべり分布 の推定を行った。1964年男鹿半島沖、1983年青森県西方沖の地震に対して、津波波形記 録の再現を試み、断層パラメータの検証を行った。1741年(寛保元年)渡島大島津波につ いて、新たに史料を収集し、平成25年度に収集した史料については、校訂作業を開始し た。

3) 平成27年度:

平成26年度に引き続き、20世紀にサハリン沖・東北沖・北陸沖で発生した地震について、地震記録・津波記録を用いて断層モデルの推定などの地震学的解析を実施した。また、 主に山陰・九州地方を中心として、過去に発生した地震の地震・津波に関する史資料の収 集や解析を実施した。さらに、平成25年度に収集した史料に関して、引き続き校訂作業を 実施し、史料分析を行った。

4) 平成28年度:

平成27年度までに地震学的解析を行った、サハリン沖・東北沖・北陸沖の地震の断層パ ラメータの検証と、1963年越前岬沖地震と海底活断層との関係についての検証を行った。 また、主に山陰・九州沖を中心として、過去に発生した地震・津波に関する波形・歴史資 料の調査・収集を実施した。

5) 平成29年度:

主に北海道地域を対象として、過去に日本海で発生した地震・津波に関する史資料の収 集ならびに地震・津波波形記録を用いた解析を実施する。

6) 平成30年度:

主に東北地方北部を対象として、地震・津波波形記録の収集と解析、史料の収集・デー タベース化を行う。

7) 平成31年度:

主に引き続き東北地方北部を対象として、地震・津波波形記録の収集と解析、史料の収 集・データベース化を行う。

8) 平成32年度:

20世紀以降に発生した地震については、断層パラメータを整理し、それらの関係(相似 則)を求める。それ以前の古地震については、史料データベースを構築し、公開する。

(e) 平成28年度業務目的

平成 27 年度に地震学的解析を行なった地震の断層パラメータの検証を行う。また、主 に山陰・九州地方を中心として、過去に日本海で発生した地震・津波に関する史資料の収 集ならびに解析を実施する。

#### (2) 平成28年度の成果

(a) 業務の要約

1) 平成 27 年度までに地震・津波記録を用いた解析を行った 1983 年青森県西方沖、1971 年サハリン西方沖、1964 年男鹿半島沖の地震について、解析から得られた断層パラメータ と、スケーリング則を適用して得られた断層パラメータに基づき津波数値計算を行い、観 測波形と比較することで、断層モデルを検証した。1963 年越前岬沖地震について、遠地地 震波解析と海底活断層調査に基づく断層パラメータを用いて近地地震波インバージョン解 析を行い、海底活断層との関係を検討した。

2) 山陰沖から九州沖で過去に発生した地震に対して、津波の影響があると考えられる 1940 年隠岐島近海、1927 年京都府沖、1925 年兵庫県北方沖の地震について、地震波形記 録の調査・収集を実施した。また、江戸時代以前に発生した地震について、史料に基づき 被害状況を検討した。

(b) 業務の成果

1) 20 世紀に日本海で発生した地震の解析

日本海には地震の発生が確認されていない活断層が多く存在するため、地震動や津波の 評価を実施するためには地震モーメント(規模)やすべり量を設定する必要がある。平成 27 年度には 1983 年青森県西方沖(Mjma 7.1)、1971 年サハリン西方沖(Mjma 6.9)、 1964 年男鹿半島沖(Mjma 6.9)の3地震について、観測された津波波形を再現するため の断層モデルを推定した(表1、2、3の Model 1)。今年度は、日本海で発生する地震の断 層パラメータ推定に対する既存のスケーリング則の妥当性を検討するため、平成27 年度 に得られた津波数値計算の結果と、内陸地震のスケーリング則<sup>1)</sup>によって推定した断層パ ラメータを用いて津波数値計算を行った結果との比較を行った。

津波計算は、断層パラメータから Okada (1985)<sup>2)</sup>、Tanioka and Satake (1996)<sup>3)</sup>に よって計算した海底地殻変動を初期条件とし、非分散を考慮した非線形長波式の大規模並 列計算コード JAGURS<sup>4)</sup>を用いた。海底地形は、日本水路協会の JTOPO30 と M7000 シ リーズから作成した 5 秒 (約 150 m) メッシュのグリッドデータを用いた。モデルの妥当 性を定量的に検証するために、観測点 i ごとの観測波形 (Obs) と計算波形 (Cal)の振幅 比 K(i) = Obs(i)/Cal(i)の幾何平均  $K^{5}$ を第一波と第二波について計算した。

1963年越前岬沖地震(Mjma6.9)の地震について、平成27年度までに遠地実体波解析 から得られた断層モデルは北東-南西走向の断層であり、周辺の既知の海底活断層とは整 合しなかった。そこで今年度は、遠地実体波解析による断層モデルと海底活断層から設定 した断層モデルに対して近地地震波形インバージョン解析を行い、各断層パラメータの検 証を実施した。

以下、各地震についての結果をまとめる。なお、剛性率は「日本海における大規模地震 に関する調査検討会」<sup>6)</sup> と同じ 34.3 GPa を仮定した。

a) 1983 年青森県西方沖の地震(Mjma 7.1)

平成 27 年度までに得られた遠地実体波インバージョンモデル(不均質モデル)や最適 津波断層モデル(Model 1)の断層面積 Sに  $M_0$ -Sのスケーリング則 <sup>1)</sup>を適用すると、地 震モーメントは  $M_0 = 1.25 \times 10^{20}$  Nm となり、すべり量は D = 2.43 m となる。このすべり 量は最適津波断層モデル(Model 1)のすべり量の約 3 倍大きく、計算される津波波形も 観測波形に比べて大きくなる。そこで、不均質モデル、Model 1 に加えて、Model 1 の地 震モーメント  $M_0 = 3.76 \times 10^{19}$  Nm から  $M_0$ -Sのスケーリング則 <sup>1)</sup>により改めて断層面積 S = 822 km<sup>2</sup>(計算上は 33 km × 25 km = 825 km<sup>2</sup> とした)を求め、その断層面積 S と Model 1 のすべり量 D = 0.73 mを設定したモデルを Model 5 として、津波数値計算を行 った(図 1、表 1)。なお、Model 2-4 は平成 27 年度に検討したモデルである。Model 5 の 断層面積と地震モーメントは Model 1 に比べて小さくなり、津波の観測波形(Obs)と計 算波形 (Cal) の第一波と第二波の振幅比 *K*(i) = Obs(i)/Cal(i) の幾何平均 *K*<sup>5)</sup> の値も 1.34 と、Model 1 (*K*=0.99) に比べてやや大きくなったが、他のモデルと同様に津波観測波形 を再現することができた (図 2)。断層面積や地震モーメントよりも、すべり量の方が津波 数値計算への影響が大きいことがわかった。また、スケーリング則を適用して得られるす べり量は、実際の地震に対して地震波形や津波波形を用いた解析結果よりも大きい値とな った。

モデル	断層サイズ (km×km)	$M_0$ (Nm)	str. (°)	dip (°)	rake (°)	D (m)	K	ĸ
不均質モデル	$50 \times 30$	$3.10 \times 10^{19}$	23	43	85	(ave 0.5)	1.23	1.66
Model 1	$50 \times 30$	$3.76 \times 10^{19}$	23	43	85	0.73	0.99	1.85
Model 5	$33 \times 25$	$2.07 \times 10^{19}$	23	43	85	0.73	1.34	1.66

表1 津波数値計算を行った各断層モデルのパラメータ

※Model2-4 は平成 27 年度検討モデル



図1 (左)津波数値計算を行った断層モデルと震源域周辺の断層モデル(MLIT:「日本 海における大規模地震に関する調査検討会」<sup>6)</sup>と(右)遠地実体波インバージョン によって得られた不均質すべり分布。



図2 津波観測波形と各断層モデルから計算した津波波形の比較。

b) 1971 年サハリン西方沖の地震 (Mjma 6.9)

平成 27 年度までに得られた遠地実体波インバージョンモデル(不均質モデル)や最適 津波断層モデル(Model 1)の断層面積SにM・Sのスケーリング則<sup>1)</sup>を適用すると、地 震モーメントは Mo = 1.25×10<sup>20</sup> Nm となり、すべり量は D = 2.43 m となる。このすべり 量は最適津波断層モデル(Model 1)のすべり量よりも約3.5倍大きく、計算される津波波 形も観測波形に比べて大きくなる。そこで、不均質モデル、Model1に加えて、Model1の 地震モーメント  $M_0 = 3.50 \times 10^{19}$  Nm から  $M_0$ -Sのスケーリング則 <sup>1)</sup> により改めて断層面 積 S = 793 km<sup>2</sup> (計算上は 32 km × 25 km = 800 km<sup>2</sup> とした)を求め、その断層面積 S と Model 1 のすべり量 D = 0.68 m を設定したモデルを Model 4 として、津波数値計算を行 った(図3、表2)。なお、Model 2-3 は平成27 年度に検討したモデルである。Model 4の 断層面積と地震モーメントは Model 1 に比べて小さくなり、津波の観測波形(Obs)と計 算波形 (Cal) の第一波と第二波の振幅比 K(i) = Obs(i)/Cal(i) の幾何平均 K<sup>5)</sup> の値も 1.53 と Model 1 (K=1.02) に比べて若干大きくなったが、遠地実体波解析による不均質モデ ル(K=2.41)よりは津波観測波形を再現することができた(図4)。断層面積や地震モー メントよりは、すべり量の方が津波数値計算への影響が大きいことがわかった。スケーリ ング則を適用すると、実際の地震に対して地震波形や津波波形を用いた解析結果よりも大 きいすべり量が得られた。

モデル	断層サイズ (km×km)	$M_0$ (Nm)	str. (°)	dip (°)	rake (°)	D (m)	K	κ
不均質モデル	$50 \times 30$	$1.30 \times 10^{19}$	329	51	106	(ave 0.2)	2.41	2.42
Model 1	$50 \times 30$	$3.50 \times 10^{19}$	329	51	106	0.68	1.02	2.79
Model 4	$32 \times 25$	$1.87 \times 10^{19}$	329	51	106	0.68	1.53	2.46

表 2 津波数値計算を行った各断層モデルのパラメータ

※Model 2-3 は平成 27 年度検討モデル



図 3 (左)津波数値計算を行った断層モデルと震源域周辺の断層モデル(MLIT:「日本 海における大規模地震に関する調査検討会」<sup>6)</sup>)と(右)遠地実体波インバージョン によって得られた不均質すべり分布。



図4 津波観測波形と各断層モデルから計算した津波波形の比較。

c) 1964 年男鹿半島沖の地震(Mjma 6.9)

平成 27 年度までに得られた遠地実体波インバージョンモデル(不均質モデル)や最適 津波断層モデル(Model 1)の断層面積Sに $M_{\odot}S$ のスケーリング則<sup>1)</sup>を適用すると、地 震モーメントは $M_0 = 2.22 \times 10^{20}$ Nmとなり、すべり量はD = 3.24mとなる。このすべり 量は最適津波断層モデル(Model 1)のすべり量よりも約7倍大きく、計算される津波波 形も観測波形に比べてかなり大きくなる。そこで、不均質モデル、Model1に加えて、Model 1の地震モーメント $M_0$  = 3.02 × 10<sup>19</sup> Nmから $M_0$ -Sのスケーリング則<sup>1)</sup>により改めて断 層面積 S = 737 km<sup>2</sup> (計算上は 30 km × 25 km = 750 km<sup>2</sup> とした)を求め、その断層面積  $S \ge Model 1 の すべり 量 D = 0.44 m を 設定 したモデルを Model 5 として、津波数値計算$ を行った(図 5、表 3)。なお、Model 2-4 は平成 27 年度に検討したモデルである。Model 5の断層面積と地震モーメントは Model 1 に比べて小さくなり、津波の観測波形 (Obs) と計算波形 (Cal) の第一波と第二波の振幅比 K(i) = Obs(i)/Cal(i) の幾何平均 K<sup>5)</sup> の値も 1.83 と、Model 1 (*K* = 1.00) に比べやや大きくなったが、遠地実体波解析による不均質 モデル(K=2.34)よりは津波観測波形を再現できた(図6)。この地震でも、断層面積や 地震モーメントよりは、すべり量の方が津波数値計算への影響が大きいことがわかった。 また、1983年、1971年の地震同様、スケーリング則を適用して得られたすべり量は、実 際の地震に対して地震波形や津波波形を用いた解析結果よりも大きくなった。

モデル	断層サイズ (km×km)	$M_0$ (Nm)	str. (°)	dip (°)	rake (°)	D (m)	K	ĸ
不均質モデル	$50 \times 40$	$1.50 \times 10^{19}$	24	53	71	(ave 0.2)	2.34	2.28
Model 1	$50 \times 40$	$3.02 \times 10^{19}$	24	<b>53</b>	71	0.44	1.00	1.71
Model 5	$30 \times 25$	$1.13 \times 10^{19}$	$\overline{24}$	53	71	0.44	1.83	1.74

表3 津波数値計算を行った各断層モデルのパラメータ



図 5 (左)津波数値計算を行った断層モデルと震源域周辺の断層モデル(MLIT:「日本 海における大規模地震に関する調査検討会」<sup>6)</sup>)と(右)遠地実体波インバージョン によって得られた不均質すべり分布。



図 6 津波観測波形と各断層モデルから計算した津波波形の比較。

d) 1963 年越前岬沖地震(Mjma 6.9)

若狭湾周辺には海底活断層が多く存在することが知られており、「日本海における大規 模地震に関する調査検討会」<sup>6)</sup> や本プロジェクトのサブサブテーマ 2.5.1「断層モデルの構 築」でも多くの断層モデルが設定されている。しかし、平成 27 年度までに遠地実体波解析 から得られた 1963 年越前岬沖地震に対する断層モデル(図 7)は余震分布の広がりを基に 設定された北東・南西走向の断層であり、周辺域における既知の海底活断層とは整合しなか った(図 8)。ただし、遠地実体波解析の分解能では、共役な断層走向を仮定した解析にお いても観測波形の再現性は比較的良かった。

そこで今年度は、海底活断層トレース 6)を基に設定した断層モデル①と遠地実体波解析 による断層モデル②について近地地震波形インバージョン解析を行った。断層モデル①は、 気象庁による震源(深さ13.9 km)と本震後1年間の余震分布に基づき、長さ40 km、幅 20 km、走向327°、傾斜角90°とした。断層モデル②は、遠地地震波解析から得られた長 さ60 km、幅40 km、走向55°、傾斜角85°のモデルを基に、最終的には長さ50 km、幅 20 km に設定した(図 8)。観測波形記録は、気象庁1倍強震計の特性が分かっている観測 点のうち、比較的震源に近く、震源を取り囲む方位の9点25成分を使用した(図 9、表 4)。PC上に取り込んだ煤書き記録の波形をマウスで追跡することでデジタル化を行い、2 秒~100秒のバンドパスフィルターをかけ、0.5秒間隔のデータを作成した。記録紙に地 震計特性が書かれていない場合には、地震発生日に近い日付の地震観測原簿に書かれてい る検定値を使用した。全国1次地下構造モデル<sup>7)8)</sup>とMaeda *et al.*(2013)<sup>9)</sup>によるプロ グラムコード(OpenSWPC)を用い、相反定理と3次元差分法によってグリーン関数を計 算した。差分法の計算格子間隔は0.1 km、計算時間ステップは0.005秒とした。断層面を ①は5 km×5 kmの小断層8×4 個、②は5 km×5 kmの小断層10×4 個に分割し、各 小断層の震源時間関数はライズタイム2秒の三角形を1秒ごとに9個並べることで表現 し、非負の拘束条件をかけたマルチタイムウィンドウ法で解いた。両モデルとも、破壊開 始点は気象庁震源を仮定した。

得られた断層パラメータを表 5、震源時間関数、震源メカニズム、すべり分布を図 10、 両モデルの波形の比較を図 11 に示す。敦賀や岐阜、京都、舞鶴の観測点においてモデルに よる波形の違いが見られた。観測波形で規格化した残差(Var.:ここでは小さいほうが観 測波形と計算波形の一致が良いことを示す)を比較すると、断層モデル①(Var.=0.576) の方が、断層モデル②(Var.=0.594)に比べて若干小さいものの、大差はなかった(表 5)。 若狭湾沿いの敦賀市や美浜町において地震被害が見られたことも考慮すると、主に北西・南 東走向のモデル①で地震が発生した可能性が考えられる。しかしながら、今回仮定した海 底活断層(野坂断層)は、サブサブテーマ 2.5.1「断層モデルの構築」や最大規模の津波想 定のため 40 km 以上の断層帯を選定している「日本海における大規模地震に関する調査検 討会」のにおいてはモデル化されていない。この海底活断層の北端には北東・南西方向の短 い断層も存在するが、今回はこの断層との連動は検討していない。



図 7 平成 27 年度までに遠地実体波解析によって得られた 1963 年越前岬沖地震の結果。 (a)使用した観測点、(b)断層投影図と余震分布・震源メカニズム、(c)すべり分布、 (d)震源時間関数、(e)波形の比較。



図 8 解析に用いた断層モデルと震源周辺の海底活断層。黄色星と赤丸はそれぞれ気象庁 による 1963 年越前岬沖地震の本震と 1 年間の余震分布を示す。紫丸は International Seismological Summary (ISS)のカタログを用いて求められた本震 後3日間の余震分布を示す。オレンジ線は海底活断層、青線はサブサブテーマ 2.5.1 で構築された断層モデル。右図は今回検討した①海底活断層モデル(赤)と②遠地 実体波解析結果を基に設定した断層モデル(紫)を加えたもの。



図 9 使用した気象庁 1 倍強震計の観測点(赤三角形)と波形記録。ここに示した波形は フィルターをかける前のもの。灰三角形は、その他の気象庁観測点を示す。



図 10 得られた震源時間関数、震源メカニズム、すべり分布。上段は①海底活断層から設 定した北西・南東走向モデル、下段は②遠地実体波解析結果を基に設定した北東・南 西走向モデルの結果。



図 11 波形の比較。黒線は観測波形、赤線は①海底活断層から設定した北西·南東走向モ デル、紫線は②遠地実体波解析結果を基に設定した北東·南西走向モデルの結果。

観測点	コード	成分	倍率	周期(秒)	減衰比	減衰定数	強震計
輪島	WAJ	DU	1	3.8	8	0.552	50 型
		NS	1	5.8	7	0.527	
		EW	1	5.8	8	0.552	
富山	ТОҮ	DUX	1	5.7	8	0.552	52 型
		EW	1	6.2	8	0.552	
		SN	1	6.1	9	0.573	
高山	TKY	DU	1	5.1	9	0.573	52B 型
		WE	1	6	8	0.552	
		NS	1	6	8	0.552	
岐阜	GIF	DU	1	5.2	6.3	0.506	52 型
		EW	1	5.5	9.1	0.575	
		SN	1	4.9	8.5	0.563	
敦賀	TSR	DU	1	3.8	8.3	0.569	51 型
		WE	1	4.9	8.4	0.561	
		NS	1	5.5	8.3	0.559	
京都	KYO	DU	1	5	7	0.527	52 型
		NS	1	6	7	0.527	
		EW	1	6	7	0.527	
舞鶴	MZH	DU	1	4.8	8	0.552	52B 型
		NS	1	6	8	0.552	
		EW	1	6.1	8	0.552	
豊岡	ТҮК	DU	1	4.4	8	0.552	52 型
		NS	1	4.5	8	0.552	
		EW	1	4.9	8	0.552	
米子	YON	DU	1	4.2	7	0.527	51 型
		EW <b>※</b>	1	5.1	9	0.573	
		NS	1	5.2	8	0.552	

表4 使用した観測点と地震計特性

※故障などの欠測により使用しなかった成分

モデル	断層サイズ	$M_0$	Mw	str.	dip	rake	Dave	Dmax	Variance
	$(km \times km)$	(Nm)		(°)	(°)	(°)	(m)	(m)	
1	$40 \times 20$	$1.0 \times 10^{20}$	6.6	327	90	9	0.36	0.68	0.576
2	$50 \times 20$	$1.3 \times 10^{20}$	6.7	55	85	178	0.38	0.77	0.594

表 5 近地地震波インバージョン解析による結果

2) 山陰・九州沖で過去に発生した地震の史資料の収集

20 世紀に山陰沖から九州沖で発生した地震で、津波による影響の可能性が考えられる 1940年隠岐島近海(M6.6)、1927年京都府沖(M6.3)、並びに1925年兵庫県北方沖(M6.2) の3地震について、地震波形記録の調査と収集を行った。平成27年度は、1940年8月14 日0時37分隠岐島近海の地震について、中央気象台(現気象庁)の6観測点(広島、松 山、下関、宇和島、豊岡、浜田)での地震波形記録の調査と収集を行ったが、今年度は新 たに福井、敦賀、岐阜、名古屋、津、亀山、京都、鳥取、境、米子、松江、岡山、多度津、 福岡、飯塚、長崎、厳原の中央気象台 17 観測点の調査を行った。その結果、亀山の Wiechert 地震計の記録のみが存在した。加えて、京都大学阿武山観測所の記録の有無も調査したが、 該当する日の記録は存在しなかった。調査した観測点と記録の有無を表 6 と図 12 に示し た。1927 年 3 月 7 日 18 時 44 分に京都府沖で発生した地震と 1925 年 5 月 26 日 1 時 22 分に兵庫県北方沖で発生した地震についても、中央気象台の 21 観測点について地震記録 の調査を行った。これらの地震は、それぞれ 1927 年北丹後地震(3月7日18時27分発 生; M7.3)、1925年北但馬地震(5月23日11時9分に発生; M6.8)の余震である。本震 の記録は残っている観測点もあったが、余震記録についてはほとんど残っていなかった(表 7、図13)。これらの3つの地震に関しては、地震波形を用いた解析を行える程度の良質な 記録は収集できなかった。収集した記録は、tiff形式の画像ファイルとして保存した。1927 年京都府沖の地震は、遠く離れた名古屋で最大震度4が報告されている。東京での調査原 簿を調べたところ、名古屋測候所から東京の中央気象台へ報告された震度は確かに4とな っていた。しかしながら、本震(M7.3)による震度も4であり、間違えてこの震度が余震 として報告された可能性もあるため、名古屋測候所の調査原簿を確認する必要がある。

『日本被害地震総覧 599-2012』<sup>10)</sup> によると、江戸時代以前に山陰・九州沖周辺で発生 し、日本海沿岸地域に被害を及ぼした地震として以下の3つの被害地震が挙げられる。こ れらの被害地震について、既刊地震史料集に所収されている史料の中から、信憑性の高い 同時代史料のみに基づいて、それぞれの被害状況を検討した。

a) 元禄十三年二月二十六日(1700年4月15日)の壱岐・対馬の地震

対馬藩の江戸藩邸で記された『毎日記』に国元から報告された被害記述がある。それに よると「対州二月廿四日ヨリ地震仕同廿五日・廿六日震強、私屋敷并家中侍・足軽屋敷、 寺社町屋敷石垣別紙書付之通震崩」とあり、対馬で地震があって、対馬藩主の宗氏屋敷や 家臣の屋敷や寺社・町屋で石垣が崩れた状況がわかる。

b) 宝永七年閏八月十一日(1710年10月3日)の伯耆・美作の地震

『日本被害地震総覧 599-2012』<sup>10)</sup> には「伯耆国で倉吉の武家や商家の土蔵が破損して おり、八橋町では 60 戸程度倒潰し、大山では石垣は殆ど崩れた」と概要が記されている。 また、津山藩の国元で記された『御国日記』には、「去る十一日地震に付在中潰家荒地山崩 死人死牛馬等有之旨郡代ヨリ申出之」とある。この記述によると、美作国(現岡山県北東 部)内で、地震によって倒潰家屋や山崩れなどが生じており、死者や死牛馬もあった様子 が窺える。このことから、伯耆国(現鳥取県西部)だけでなく、美作国でも同程度の被害 があった状況がわかる。

c) 安政六年九月九日(1859年10月4日)の石見の地震

『日本被害地震総覧 599-2012』10)には、「周布村で数戸倒潰し、匹見町では家屋が4軒

大破損し、田地、往還、橋などが所々で破損した」と概要が記されている。しかし、同時 代に記述された史料については確認できていない。

以上の江戸時代以前の3つの被害地震については、地震による被害の記述は見られるものの、津波による被害や津波が沿岸に押し寄せた様子を示唆する記述は見当たらなかった。 なお、都司・他(2016)<sup>11)</sup>によると、江戸時代以前に山陰地方の沿岸へ到達し、石見国(現 島根県西部)に被害を及ぼした津波として、宝暦十二年九月十五日(1762年10月31日) の佐渡の地震による津波が想定されている。京都の豪商であった百井塘雨の随筆である『笈 竢隋筆』には、この津波によって江の川の河口で渡し船や材木などが上流へ押し上げられ た様子が記されている。

観測点	波形記録	観測点	波形記録	観測点	波形記録
広島*	W(NS, EW)	宇和島*	K(NS, EW)	豊岡*	W(NS, EW)
松山*	×	浜田*	×	下関*	×
福井	×	敦賀	×	岐阜	×
名古屋	×	津	×	亀山	W
					(NS,EW,UD)
京都	×	鳥取	×	境	×
米子	×	松江	×	岡山	×
多度津	×	福岡	×	飯塚	×
長崎	×	厳原	×	阿武山	×

表 6 1940 年隠岐島近海の地震の波形記録を調査した観測点

W:Wiechert 地震計、K:簡単微動計、\*平成 27 年度に調査した観測点

表7 1927年京都府沖、1925年兵庫県北方沖の地震の波形記録を調査した観測点

観測点	1927 年	1925 年	観測点	1927 年	1925 年	観測点	1927 年	1925 年
	波形記録	波形記録		波形記録	波形記録		波形記録	波形記録
福井	×	×	敦賀	×	×	岐阜	$I(\triangle)$	×
名古屋	×	×	津	×	×	亀山	×	×
京都	×	×	和歌山	×	×	豊岡	×	×
鳥取	×	×	境	×	×	米子	×	×
松江	×	×	浜田	×	×	岡山	×	×
多度津	×	×	下関	×	×	福岡	×	×
飯塚	×	×	長崎	I(NS,EW,UD)	×	厳原	×	×
				O(△)				

W:Wiechert 地震計、I: 今村式地震計、O: 大森式地震計、△: 記象紙はあるが使えない



図 12 1940 年隠岐島近海の地震の地震波形記録の調査を行った観測点。



図 13 1927 年京都府沖の地震(上)と 1925 年兵庫県北方沖の地震(下)の地震波形記録の調査を行った観測点。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

1983年青森県西方沖、1971年サハリン西方沖、1964年男鹿半島沖の地震について遠地 実体波解析から得られた断層パラメータと、断層面積と地震モーメントとのスケーリング 則を適用して得られた断層パラメータについて、それぞれ津波波形を計算して、観測波形 と比較した。その結果、地震モーメントや断層面積よりも、すべり量の方が津波波形に影 響が大きいことがわかった。遠地実体波解析から得られたすべり量は、断層面積からスケ ーリング則によって得られるすべり量に比べてかなり小さく、スケーリング則のみから推 定したすべり量を使って津波を計算すると観測波形に比べてかなり大きくなる。ただし、 今回の検証は東日本の地震に限られ、西日本では別途検討が必要である。また、遠地実体 波解析による断層面積 S(km<sup>2</sup>)とスケーリング則から推定した地震モーメント Moやすべ り量が、観測波形から推定されるものよりも大きいということは、日本海側では別途スケ ーリング則を検討する余地があると言える。今後も解析結果を蓄積し、断層面積とすべり 量に関するスケーリング則を検討する必要がある。

1963年越前岬沖地震について、既知の海底活断層から設定した北西・南東走向の断層モ デルと遠地地震波解析結果を基に設定した北東・南西走向の断層モデルを用いて、近地地震 波インバージョン解析を行った結果、両者の結果とも観測記録を比較的再現することがで き、どちらのモデルが最適かの結論を出すことはできなかった。しかしながら、海底活断 層から設定したモデルの延長にあたる敦賀市や美浜町において地震被害が見られることも あり、海底活断層による地震である可能性も考えられる。今後、最近の地震を用いた解析 による全国1次地下構造モデルの妥当性の検証や、観測点数を増やすなど解析の精度を上 げる必要がある。今回使用した観測点以外にも気象庁観測点の1倍強震計の記録は残って おり、また京都大学阿武山観測所にも佐々式強震計(倍率 1.1倍、周期 25 秒)の水平動記 録が残っている。

山陰沖から九州沖で過去に発生した地震に対して、津波の影響があると考えられる 1940 年隠岐島近海、1927年京都府沖、1925年兵庫県北方沖の3地震を対象に、地震波形記録 の調査・収集を実施した。これらの波形記録はほとんど残っておらず、解析することは難 しいと言える。収集した地震波形記録は tiff 形式の画像ファイルとして保存した。また、 江戸時代以前の元禄十三年壱岐・対馬、宝永七年伯耆・美作、安政六年石見の地震につい て、信憑性の高い同時代史料のみに基づいて被害状況を検討した。地震被害に関する詳細 な記述は見られたが、津波被害に関する記述は確認できなかった。

#### (d) 引用文献

- 1) 入倉孝次郎, 三宅弘恵: シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110(6), 849-875, 2001.
- Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 75, 1135-1154, 1985.
- 3) Tanioka, T., and Satake, K.: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophys. Res. Lett., 23, 861-864, 1996.
- 4) Baba, T., Takahashi, N., Kaneda, Y., Ando, K., Matsuoka, D., and Kato, T.: Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami, Pure Appl. Geophys., doi:10.1007/s00024-015-1049-2,

2015.

- 5) Aida, I.: Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, J. Phys. Earth, 26, 57-73, 1978.
- 6) 日本海における大規模地震に関する調査検討会:日本海における大規模地震に関する 調査検討会報告書(平成26年9月公表),国土交通省・文部科学省・内閣府,470ペ ージ,2014.
- 7) Koketsu, K., Miyake, H., and Suzuki, H.: Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, p. Paper No.1773, 2012.
- 8) 地震調查研究推進本部:「長周期地震動予測地図」 2012 年試作版, http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic\_hazard\_map/lpshm/12\_choshuki/, 2012.
- 9) Maeda, T., Furumura, T., Noguchi, S., Takemura, S., Sakai, S., Shinohara, M., Iwai, K., and Lee, S. J.: Seismic and tsunami wave propagation of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake as inferred from the tsunami-coupled finite difference simulation, Bull. Seism. Soc. Am., 103, 2B, 1456-1472, doi:10.1785/0120120118, 2013.
- 10) 宇佐美龍夫,石井寿,今村隆正,武村雅之,松浦律子:日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会,2013.
- 11) 都司嘉宣,小田桐(白石)睦弥,松岡祐也,佐藤雅美,今村文彦:百井塘雨著「笈竢隋筆」 に記された海嘯について,第33回歴史地震研究会(大槌大会)講演要旨集,2-2,2016.
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
室谷智子・佐竹	日本海で発生した M7 クラスの	日本地球惑星科学	平成 28 年
健治・原田智也	地震の津波断層モデルの検証	連合 2016 年大会	5月25日
	(ポスター)		

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成29年度業務計画案

主に北海道地域を対象として、過去に日本海で発生した地震・津波に関する史資料の収 集ならびに地震・津波波形記録を用いた解析を実施する。