

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26年度業務目的

(2) 平成26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地震学的解析
 - 2) 歴史地震資料の収集と校訂作業
- (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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成27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	室谷 智子

(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 年度に引き続き新潟・北陸地域を対象として、20 世紀に発生した地震について、地震記録に基づく余震の再決定や断層モデルの推定などの地震学的解析を実施する。平成 25 年度に解析した地震の津波波形記録の再現を検討し、断層パラメータの検証を行う。また、江戸時代以前に日本海で発生した地震・津波について、歴史資料を収集・デジタル化する。昨年度収集した史料に関しては、校訂作業に取り掛かる。

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する。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する。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する。

4) 平成28年度：

主に引き続き山陰・九州地方を対象として、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。

5) 平成29年度：

主に北海道日本海沿岸地域を対象として、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。

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26年度業務目的

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ついて、地震波形記録に基づいて断層モデルの推定などの地震学的解析を実施する。それらの結果に基づいて、各地震の津波波形記録の再現を検討し、断層パラメータの検証を行う。また、江戸時代以前に日本海で発生した地震・津波について、歴史資料を収集する。平成25年度に収集した1741年（寛保元年）渡島大島津波の史料に関して、校訂作業に取り掛かる。

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

1) 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。

2) 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。

(b) 業務の成果

1) 20世紀に日本海で発生した地震の地震学的解析

平成25年度に、1963年3月26日越前岬沖、1964年5月7日男鹿半島沖、1971年9月5日サハリン西方沖、1983年6月21日青森県西方沖の地震（図1）を対象として、地震波形記録を用いて、断層パラメータとすべり分布の推定を行った¹⁾。しかし、これらM7クラスの地震に対して、断層の長さが約100 kmと長い、または平均すべり量がかなり小さい、という結果となった。そのため、1963年3月26日越前岬沖、1964年5月7日男鹿半島沖、1983年6月21日青森県西方沖の地震に対して、遠地実体波インバージョン²⁾の再解析を行った。また、1964年5月7日男鹿半島沖、1983年6月21日青森県西方沖の地震について、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。その際用いた断層モデルを表1に示す。平成26年9月に日本海における大規模地震に関する調査検討会（以下、調査検討会）より公表された日本海の60個の断層モデル³⁾のうち、各地震の震源域付近の断層モデルのパラメータを用いて津波波形の計算を行った。津波計算は、JTOPO30とM7000シリーズの海底地形データから日本海全域を9秒（270 m）メッシュ、沿岸付近を3秒（90 m）メッシュとしたグリッドデータを用い、Okada (1985)⁴⁾、Tanioka and Satake (1996)⁵⁾によって計算した海底地殻変動を初期条件として、大規模並列計算コードJAGURS⁶⁾の非線形長波式によった。

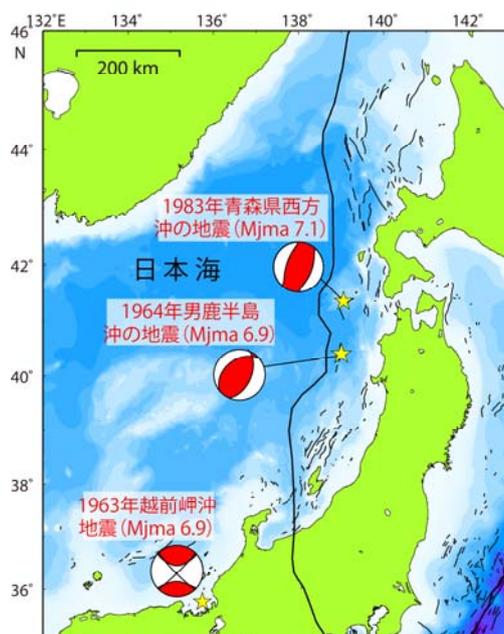


図1 再解析を行った地震の震源、メカニズム。

表1 津波波形を計算した断層モデル

地震名	断層モデル
1964年男鹿半島沖	再解析結果、調査検討会モデル（F24S、F25）、Fukao and Furumoto (1975) ⁷⁾ 、矩形モデル
1983年青森県西方沖	再解析結果、調査検討会モデル（F17S、F19N、F24N）、阿部（1987） ⁸⁾ 、矩形モデル

a) 1963年越前岬沖地震 (Mjma 6.9)

平成 25 年度の地震波解析によって得られた断層の長さは 90 km と M7 クラスの地震としては長く、福井県と京都府の陸上にかかる結果であった。そこで、解析に用いる観測点を精査して再解析を行ったところ、(走向、傾斜、すべり角)=(55°、85°、173°)、 $M_0 = 1.2 \times 10^{20}$ Nm (Mw 7.3)、最大すべり量 3.0 m、平均すべり量 1.2 m となり、震源付近 (約 40 km × 20 km の領域) に大きなすべりを持つ分布が得られた (図 2)。しかし、この断層は陸上からの活断層の延長部分と直交するような向きであり、今後本プロジェクトによってこの領域で得られる詳細な陸域・海域構造との比較を行う必要がある。

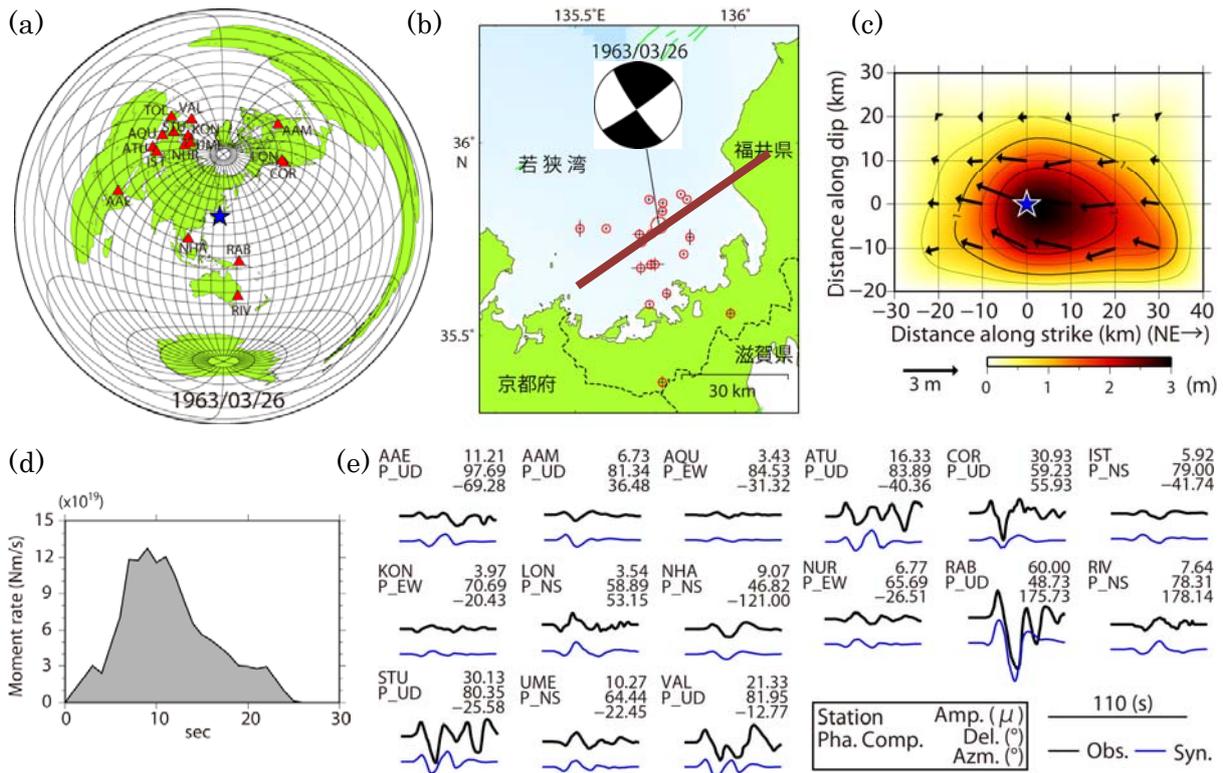


図 2 1963年越前岬沖地震の再解析結果。(a)解析に用いた観測点分布。(b)メカニズムと断層位置。(c)すべり分布。(d)震源時間関数。(e)波形の比較。

b) 1964年男鹿半島沖の地震 (Mjma 6.9)

平成 25 年度の地震波解析によって得られた断層の長さは 90 km と M7 クラスの地震としては長く、すべりの大きい領域が 3 つという複雑なすべり分布であった。そこで、解析に用いる観測点を精査して再解析を行ったところ、(走向、傾斜、すべり角) = (24°、53°、71°)、 $M_0 = 1.5 \times 10^{19}$ Nm (Mw 6.7)、最大すべり量 1.4 m、平均すべり量 0.2 m となり、震源付近 (約 20 km × 20 km の領域) に大きなすべりを持つ分布が得られた (図 3)。しかし、震源時間関数のピークが 3 つあり、このうちの 2 つが震源付近に対応する。今後、遠地波形のみでなく近地波形も合わせて、さらなる検証が必要と思われる。

地震波再解析結果や、その他断層モデル (表 1) から津波波形の再現を試みた。用いた各断層パラメータを表 2 に示す。その結果、震源域に近い岩崎、船越、船川に注目すると、再解析結果と F24S の断層パラメータが、波形を再現できている (図 4)。

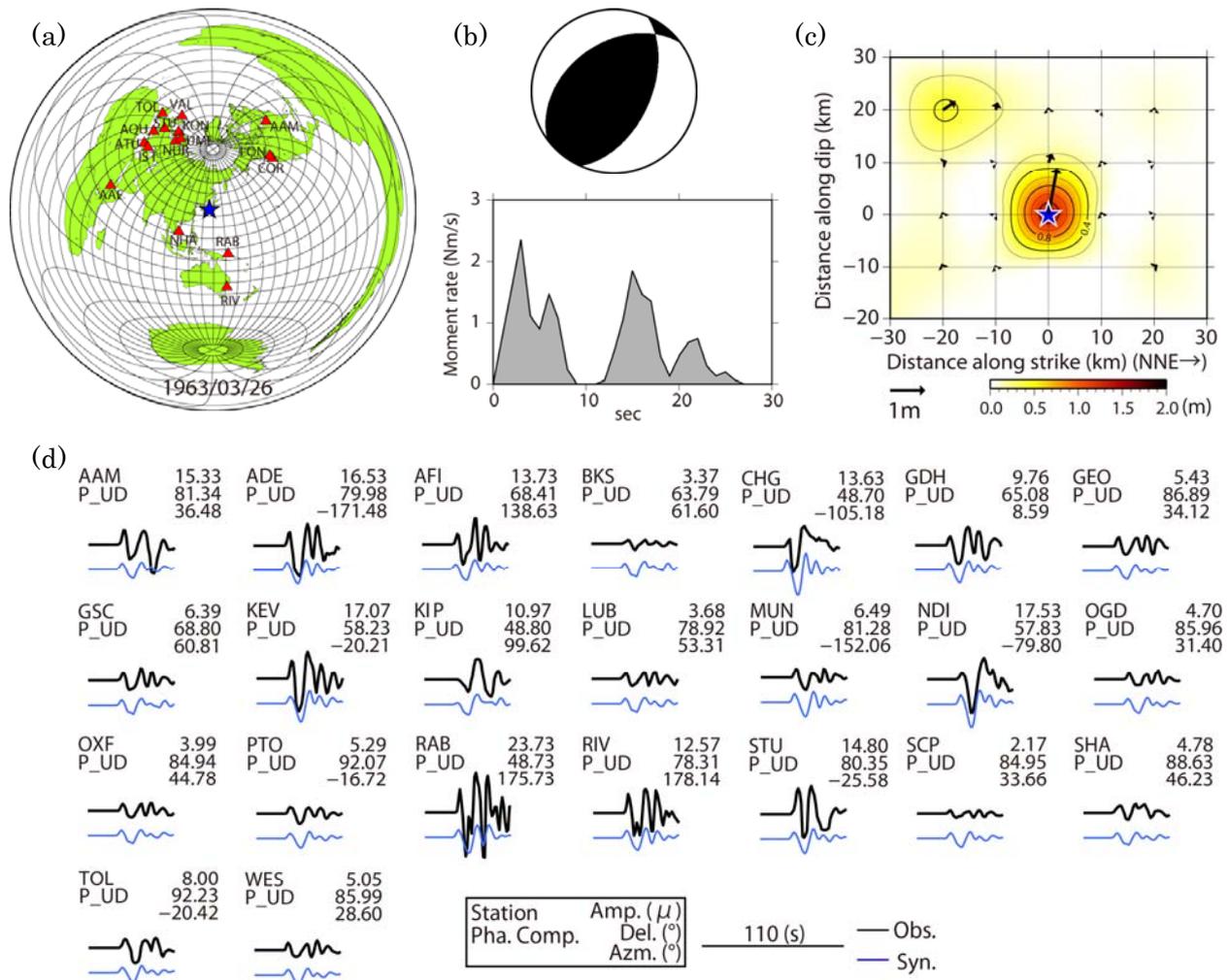


図 3 1964 年男鹿半島沖の地震の再解析結果。(a)解析に用いた観測点分布。(b)メカニズムと震源時間関数。(c)すべり分布。(d)波形の比較。

表 2 津波波形計算に用いた各断層モデルパラメータ

モデル	断層面	走向(°)	傾斜(°)	すべり角(°)	一様すべり量(m)
再解析結果	50 km×40 km	24	53	71	不均質すべり
F24S	54 km×28 km	21	30	74	0.3*
F25	50 km×20 km	205	45	116	0.3*
Fukao and Furumoto	50 km×20 km	31	50	90	1.2
2 枚矩形モデル	20 km×30 km(N) 60 km×30 km(S)	24	53	72	0.4 (N) 0.2 (S)

*調査検討会公表モデルとは平均すべり量は異なる。

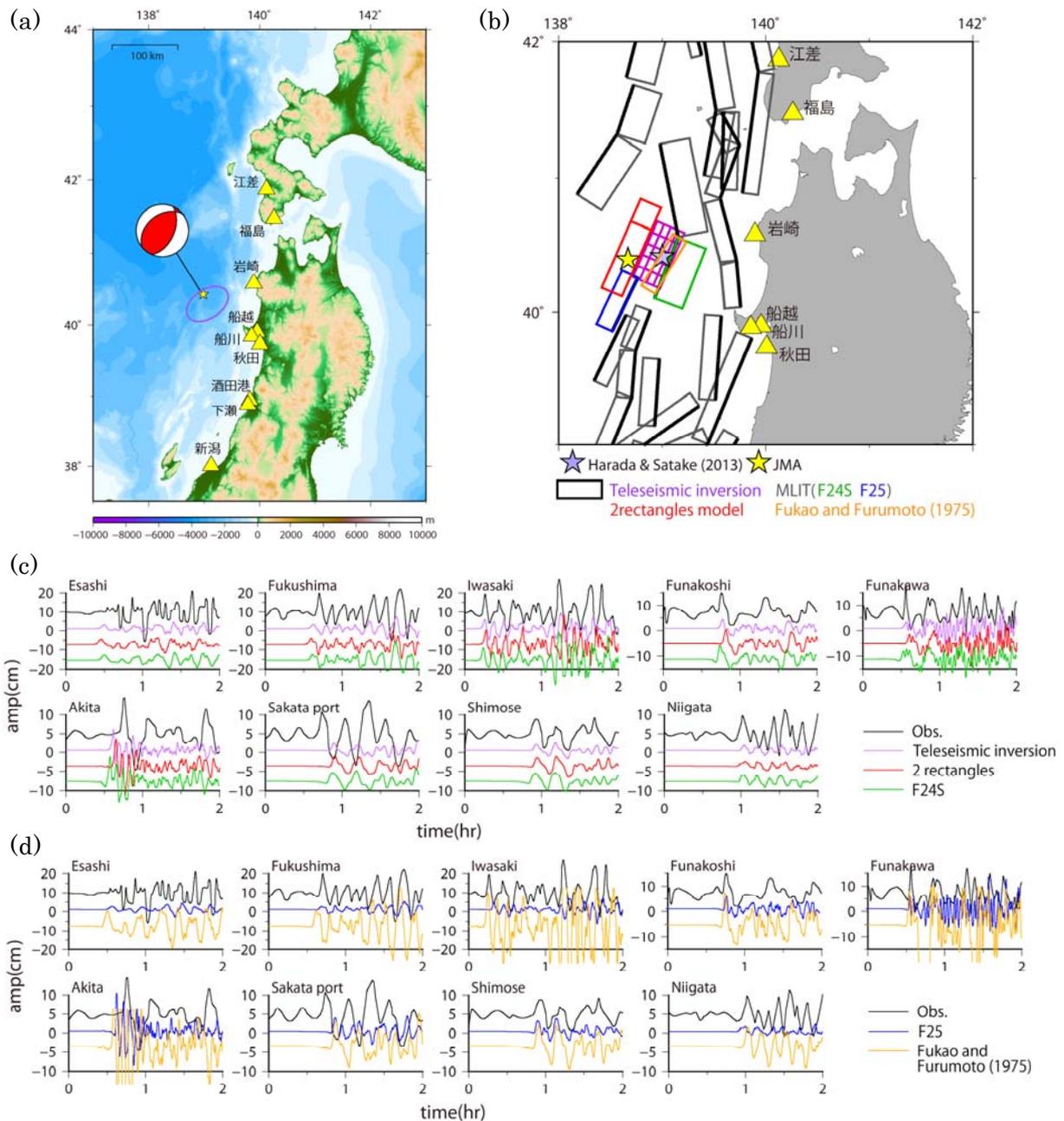


図 4 1964 年男鹿半島沖の津波数値計算。解析に用いた(a)観測点分布と(b)断層モデル。(c)(d)波形の比較。時間軸の 0 は地震発生時を示す。

c) 1983 年青森県西方沖の地震 (Mjma 7.1)

平成 25 年度の地震波解析によって得られた結果は、観測波形と計算波形の一致があまり良くなかった。そこで、解析に用いる観測点を精査し、震源の深さを浅くして (20 km から 12 km に変更) 計算したところ、(走向、傾斜、すべり角) = (55°, 85°, 173°)、 $M_0 = 3.1 \times 10^{19}$ Nm (Mw 6.9)、最大すべり量 2.2 m、平均すべり量 0.5 m となり、平成 25 年度のすべり量 (最大 1.8 m、平均 0.2 m) よりも大きくなり、波形の一致は改善された (図 5)。すべり分布は震源付近 (約 20 km × 20 km の領域) にすべりの大きい領域を持つような結果で、以前の結果とそれほど変わらなかった。

再解析結果や、その他断層モデル (表 1) から津波波形の再現を試みた。用いた各断層

パラメータを表 3 に示す。その結果、震源域に近い江差、吉岡、三厩、深浦、能代、船川に注目すると、断層モデルによって走時に差が出る。吉岡、三厩を除いた津波記録の時計が正しいとすると、再解析結果や Abe(1987)の震源域が妥当のように思われる。これらの観測点に対する再解析結果、2 枚矩形断層、Abe (1987)の断層パラメータによる計算波形は、吉岡の時刻差と三厩の大振幅を除けば、観測波形を概ね再現できた (図 6)。

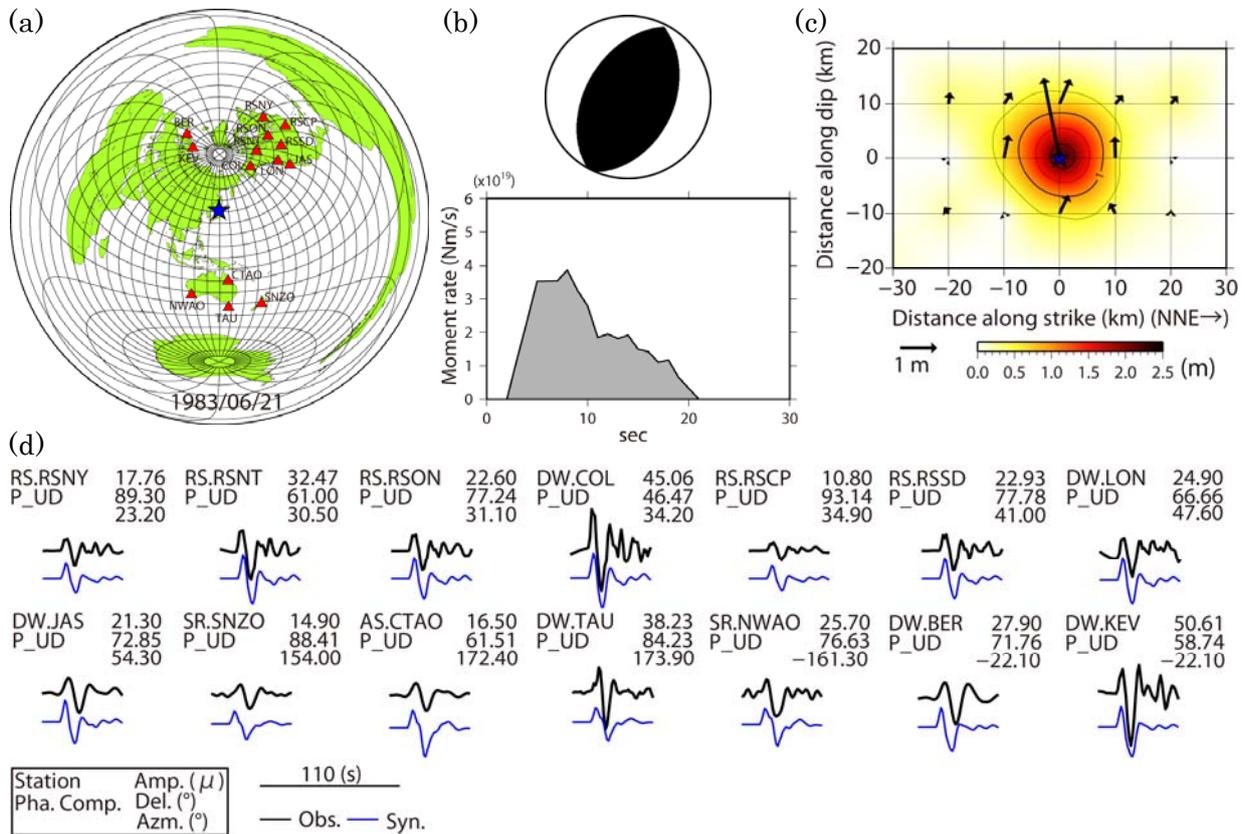


図 5 1983 年青森県西方沖の地震の再解析結果。(a)解析に用いた観測点分布。(b)メカニズムと震源時間関数。(c)すべり分布。(d)波形の比較。

表 3 津波波形計算に用いた各断層モデルパラメータ

モデル	断層面	走向($^{\circ}$)	傾斜($^{\circ}$)	すべり角($^{\circ}$)	一様すべり量(m)
再解析結果	50 km×30 km	23	43	85	不均質すべり
F17S	54 km×22 km	10	45	106	1.0*
F19N	43 km×27 km	18	30	97	1.0*
F24N	78 km×28 km	349	30	80	1.0*
Abe	30 km×23 km	60	30	90	0.8
2 枚矩形モデル	30 km×10 km(E) 30 km×20 km(W)	23	43	87	0.2 (E) 1.0 (W)

*調査検討会公表モデルとは平均すべり量は異なる。

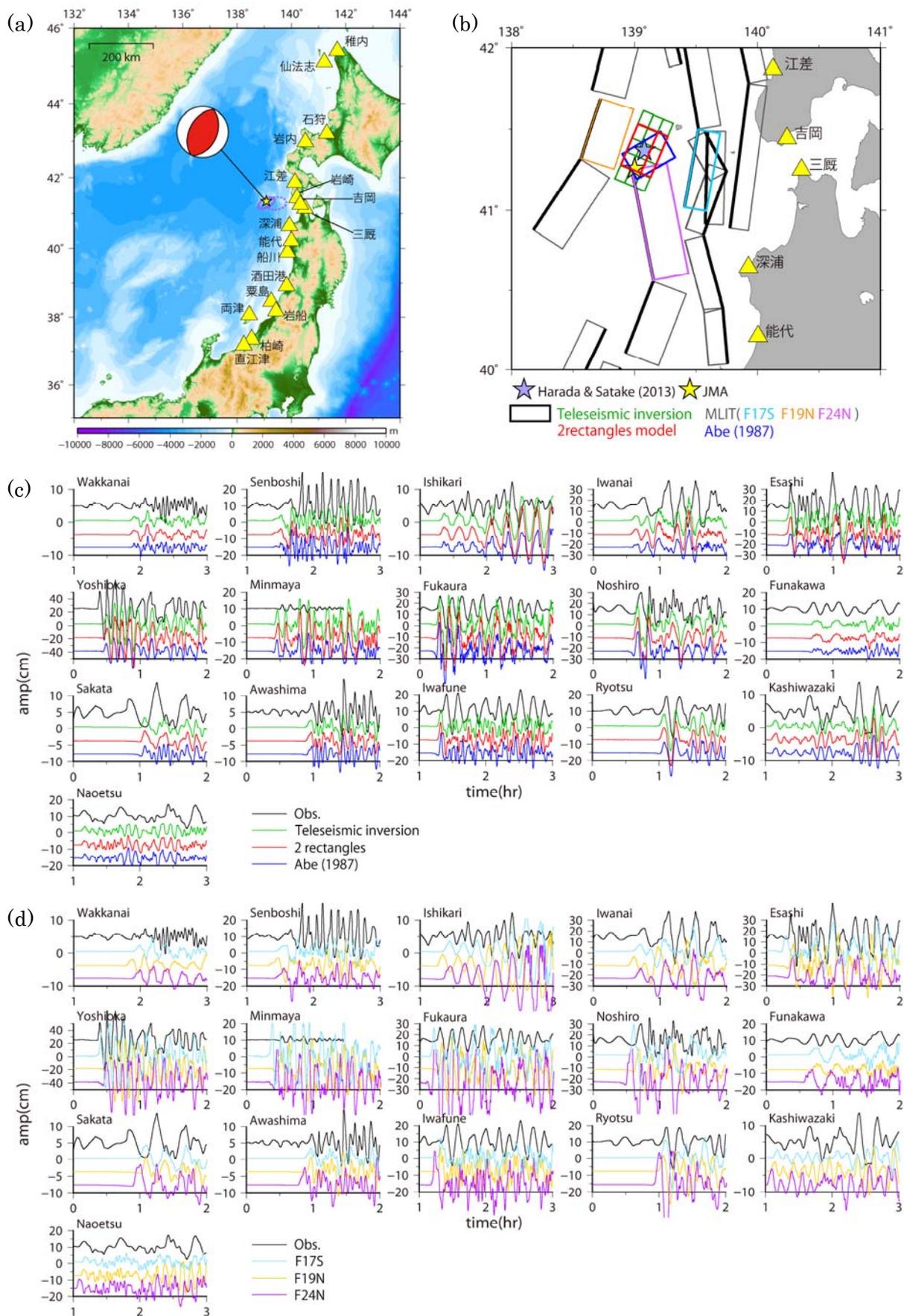


図6 1983年青森県西方沖の津波数値計算。解析に用いた(a)観測点分布と(b)断層モデル。(c)(d)波形の比較。時間軸の0は地震発生時を示す。

2) 歴史地震資料の収集と校訂作業

H26年度は、江戸時代以前に日本海で発生した地震・津波に関する史料を調査し、福井県敦賀市に伝存する『柴田一男家文書』の「年々跡書帳」という年代記に類する史料を収集した。この史料は既刊地震史料集に掲載されていない。この史料には、寛保元年七月十九日（1741年8月29日）の記述として、「当地大塩こみ、赤川よりこみ杯、筑屋敷ノ裏をさかのほり、海上波さしてあれすニ塩さす也」とある。このことから、海上が風浪で荒れていないにもかかわらず大潮が入り込んだ状況がわかり、この大潮は渡島大島の噴火に伴う津波と考えられる。また、この史料には「此時本松前・江指にて死人三千余、舟七十余破損之由」や「本松前家廿七軒流レ、本松前と江指との間之浦々、村ニより一軒一人も不残も有之」、「松前にてハ人心ちも無之段申来候」といった松前や江差に関する津波被害の記述もある。このことから「年々跡書帳」にみられる寛保渡島大島津波に関する記述は、七月十九日からしばらく時を経て、書付や書状などの内容を編集して作成されたものと考えられる。

また、H25年度に調査・収集した1741年寛保渡島大島津波に関する原本史料に基づいて、H25年度にテキスト化・XML化した既刊地震史料集の本文の校訂作業に着手した。

(c) 結論ならびに今後の課題

日本海で発生した1963年越前岬沖、1964年男鹿半島沖、1983年青森県西方沖の地震を対象として、遠地地震波形の再解析を行った。その結果、平成25年度に得られた結果よりも断層サイズは小さくなり、平均すべり量が大きくなった。さらに、1964年男鹿半島沖、1983年青森県西方沖の地震に対しては、地震波再解析によって得られた結果や、既存研究、調査検討会断層モデルの断層パラメータから津波波形を計算し、観測波形との比較を行った。震源域に近い観測点では、多少走時差があるものの、波形を概ね再現できた。今後、1963年越前岬沖地震については陸域や海底活断層との位置関係の精査、1964年男鹿半島沖、1983年青森県東方沖の地震については津波到達時刻が合わず津波波形を再現できていない検潮所もあるため、検潮所の詳細な位置の確認や非線形分散波式による津波シミュレーションを行うなど、引き続き津波解析を行う必要がある。平成25年度に解析を行った1971年サハリン西方沖の地震についても、同様に再解析と津波シミュレーションを行う必要がある。

地震史料については、既存地震史料集に掲載されていない新たな史料を収集した。今後も史資料の調査を実施し、日本海で発生した地震・津波に関する新たな史資料を収集する必要がある。また、1741年（寛保元年）渡島大島津波の歴史資料に関する史料については、引き続き校訂作業を実施する予定である。なお、地震史料のデジタルデータ化は、現在、本プロジェクト以外でも進行中であるため、相互に連携を取りつつ効果的に実施していく必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 原田智也，佐竹健治：日本海で20世紀後半に発生したM～7地震の断層面の再検討と震源過程の推定，日本地震学会2013年秋季大会，P3-22，2013.
- 2) Kikuchi, M., and Kanamori, H.: Inversion of complex body waves - III, Bull. Seismol.

Soc. Am., 81, 2335-2350, 1991.

- 3) 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, http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/, 平成 26 年 9 月公表.
- 4) Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 75, 1135-1154, 1985.
- 5) Tanioka, T., and Satake, K.: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophys. Res. Lett., 23, 861-864, 1996.
- 6) 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.
- 7) Fukao, Y., and Furumoto, M.: Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, Tectonophysics, 25, 247-266, 1975.
- 8) 阿部邦昭：小津波の波源モデルと津波の性質 - 日本海中部地震の最大余震（1983 年 6 月 21 日）に伴う津波 - , 地震 2, 40, 349-363, 1987.

(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・佐竹健治・原田智也・A. Loskutov・G. Shevchenko	地震・津波波形から推定される 1971 年サハリン西方沖の地震の断層モデル（ポスター）	日本地震学会 2014 年秋季大会	平成 26 年 11 月 25 日
Murotani, S., T. Harada, and K. Satake	Source process of large (M~7) earthquakes in the Japan Sea estimated from seismic waveforms and tsunami simulations（ポスター）	AGU fall meeting	December 17, 2014

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 27 年度業務計画案

H26 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する。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する。さらに、平成 25 年度に収集した史料について、引き続き校訂作業を実施する。