

第 199 回地震予知連絡会重点検討課題「日本海で発生する地震と津波」概要 Summary of “Earthquakes and tsunamis occurred along Japan Sea”

北海道大学大学院理学研究院 谷岡勇市郎
Graduate School of Sciences, Hokkaido University

1. はじめに

2011年3月11日にM9.0の東北地方太平洋沖地震が発生したことを受けて、地震予知連絡会では、重点検討課題として、様々なプレート境界での巨大地震の発生について検討してきた。今回は、残された日本海側の巨大地震や津波について検討することとした。日本海東縁部では過去にM8クラスの巨大地震が幾度も発生し、その津波による被害も甚大であった。その日本海東縁部では、プレート境界が南北方向に分布する何条かの断層・褶曲帯（ひずみ集中帯）より成り、幅をもった領域全体で圧縮力によるひずみを解消するものと考えられている。そのため、陸域から海域にかけての地下構造は複雑で、震源断層の分布も複雑になると考えられている。現在までに得られた、日本海東縁部での最新の陸・海構造探査の成果、地殻変動観測による成果、海底地形・海底地質調査結果、最新の津波堆積物調査結果、さらには歴史地震の成果のまとめから、日本海東縁部で発生する大地震の震源断層に対する議論を深めた。

2. 研究紹介と議論の概要

2-1. 構造探査・地殻変動観測から震源像にせまる

東京大学地震研究所の佐藤氏は最新の陸域構造調査や海陸統合地殻構造調査の結果に地質学的解釈を行い、越後平野から佐渡海峡の地下には日本海拡大時に形成されたリフト帯が現在の褶曲・衝上断層帯の運動に影響を及ぼしていると解釈した。リフト形成時に高速化した下部地殻に沿うように断層運動が発生し、その上部は幅を持った多くの活断層群によって短縮変形が消費されているとした。

海洋研究開発機構の小平氏は「ひずみ集中帯重点的調査観測・研究」による海底地下構造調査結果を総合的に解釈し、地殻の構造と大地震の震源域との関係を示した。日本海東部の地殻構造は3つのタイプ（島孤地殻・海洋地殻・典型的な海洋地殻より厚い海洋地殻）に分けられるとし、1983年日本海中部地震は島孤地殻と海洋地殻の境界付近で発生したことを明らかにした。それに比べ、南側で発生した1833年庄内地震、1964年新潟地震、2007年新潟県中越沖地震などは、島孤地殻内の断層運動であることを明らかにした。

京都大学防災研究所の西村氏はまずGNSS連続観測データに基づく日本海東縁部のひずみ速度を推定し、全体的に秋田県以南に比べて青森県以北のひずみ集中はそれほど明瞭でないことを指摘した。さらに、測地データを用いたプレート運動・ブロック運動モデルでは、日本海東縁部はプレート境界となり、約2 cm/yr程度の相対運動が生じているとした。次に新潟県でのGNSS稠密観測による詳細な地殻変動分布を調査した結果、越後平野の地殻変動速度は地震時を除いて90年間ほぼ一定で、プレートの相互作用により大きく変化している太平洋側の変動速度とは連動していないとした。これはひずみ帯の成因は応力変化速度ではなく、応力そのものに比例するメカニズム（塑性変形）であることを示唆するとした。最後に、水平短縮の集中域と沈降が特徴である越後平野の地殻変動をモデル化し、重力とマントル及び下部地殻の粘弾性を考慮したモデルの中で地殻を断ち切る断層の深部定常すべりがあれば、その地殻変動が上手く説明できるとした。

2-2. 地形・地質学的調査から震源像にせまる

産業技術総合研究所の岡村氏は産業技術総合研究所が地質図作成のためにこれまで収集してきた日本海側での海底反射探査の結果を総合的に解釈した。まず、北海道から富山湾にかけての東縁部では、断層は南北走向の逆断層で累積変位量は大きく連続性もあり、明瞭に確認できるとした。次に富山湾から若狭湾にかけての中部では、断層は北東あるいは北西走向の横ずれ断層か南北走向の逆断層で、累積変位量は小さく連続性はあるがやや不明瞭であるとした。最後に若狭湾以西の西部になると、断層は北東あるいは北西走向の横ずれ断層になり、累積変位量はわずかで連続性に乏しく不明瞭であるとした。また、西部では沖合に地すべり地形が多くみられ、地すべりによる津波の発生も考慮する必要があると指摘した。

北海道大学の平川氏は北海道日本海沿岸から深浦・男鹿半島南東岸・飛島・佐渡島と日本海東縁部の広範囲にわたって津波堆積物調査を実施した結果を解釈した。1993年北海道南西沖地震・1983年日本海中部地震・1833年庄内沖地震に対応する地震が約千年前にも発生していた可能性があることを指摘した。つまり、日本海東縁部の地震はまとめて発生する可能性が高いこと指摘したことは重要であろう。

2-3. 歴史地震学的調査から震源像にせまる

地震予知総合研究振興会の松浦氏は過去に日本海側で発生した歴史地震による津波被害を詳細に調査・検討した。まず、1833年庄内地震は今まで推定されていた震源域よりも沖合である可能性が高いことを指摘した。近世以後、日本海側で数 m の津波を発生させた波源はすべて新潟以北であることを確認した。西日本では中世以前に怪しい記録は3回程度あるが不明な点が多く断定するには至っていない。

3. まとめ

日本海側東縁部はまだまだ太平洋側に比べると収束速度も低いため、まだまだ理解されていない部分が多いが、最近の研究成果で明らかになってきた部分も多いことが本重点検討課題の議論の中で明らかになってきた。海底構造調査からは1983年日本海中部地震が発生した場所では島孤地殻と海洋地殻の境界で発生していた事が分かり、ここではプレート境界型に近い地震発生様式になっている可能性がある事が分かってきた。また津波堆積物調査結果からは約千年前に同様の大地震が発生していた可能性が指摘された。それより南の1964年新潟地震が発生した場所になると島孤地殻内となり、このあたりでは、幅を持った活断層群で短縮変形が消費されている可能性が高いことが指摘され、地殻変動モデルからは断層群の深部定常すべりや下部地殻やマンツルの粘弾性の効果も短縮変形に係っていることが指摘された。日本海側西部については、横ずれ型の活断層が存在し、津波励起に係る可能性のある地すべり地形も存在することが指摘された。将来の大地震の発生に向けて、日本海東縁部でもGSNN連続観測データを用いたすべり欠損分布等が評価できるまで調査観測研究を進める必要がある。そのためには海底構造調査の範囲を広げて震源域となる構を正確に理解するとともに、津波堆積物調査等の地質学的情報から過去の大地震の情報を収集する必要がある。

以下の資料は全て第199回地震予知連絡会重点検討課題「日本海で発生する地震と津波」の記者レク資料であり、地震予知連絡会のHP (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/199/199.html>) に掲載されているものである。

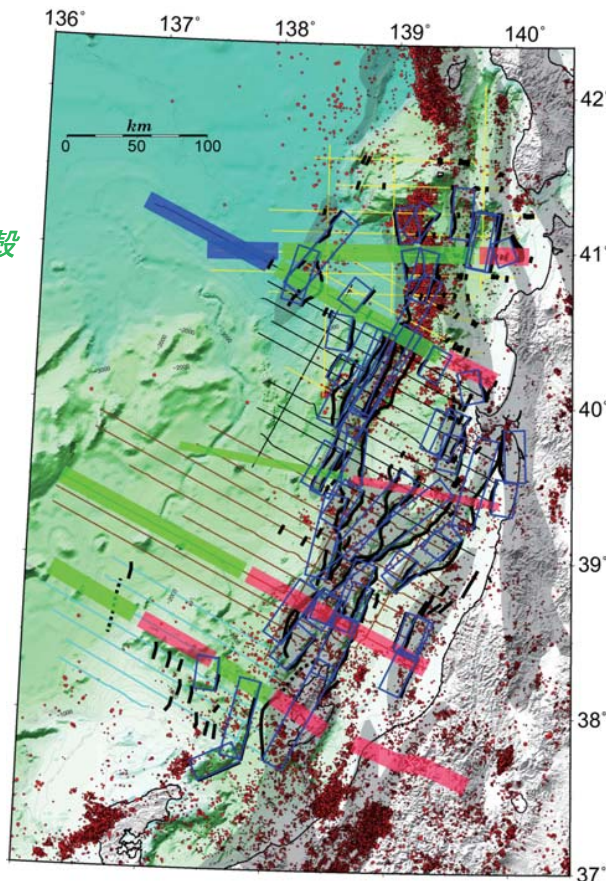
まとめ

✓日本海東部の地殻構造は主に3つタイプ(島弧地殻, 厚い海洋地殻, 海洋地殻)に分けられる。

- 島弧地殻
- 典型定期的な海洋地殻より厚い海洋地殻
- 海洋地殻

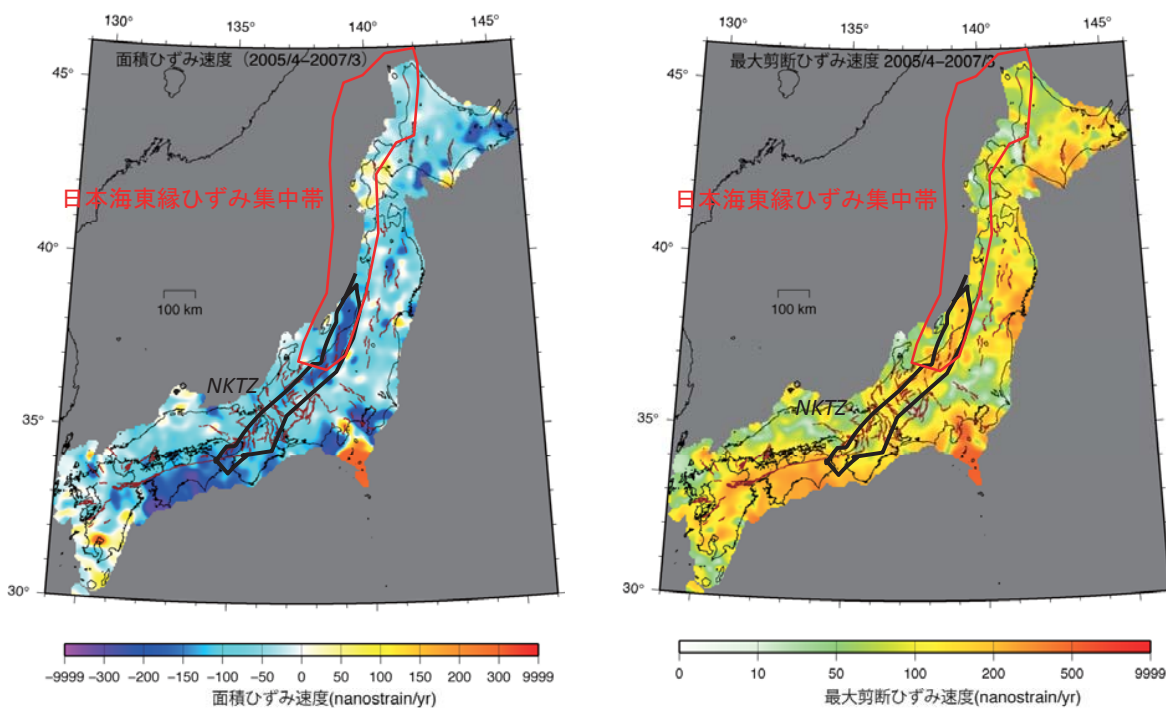
✓庄内沖地震・新潟地震・新潟県中越沖地震などは、島弧地殻内で生じた地震。

✓日本海中部地震は島弧地殻と海洋地殻の境界付近で発生した地震。



海洋研究開発機構 小平秀一 資料

GNSS連続観測に基づくひずみ速度分布



- GEONETデータでは、秋田県以南に比べて青森県以北のひずみ集中はそれほど明瞭ではない。
 - 観測点配置, 余効変動の影響もある。

日本海東縁での「プレート」間相対運動

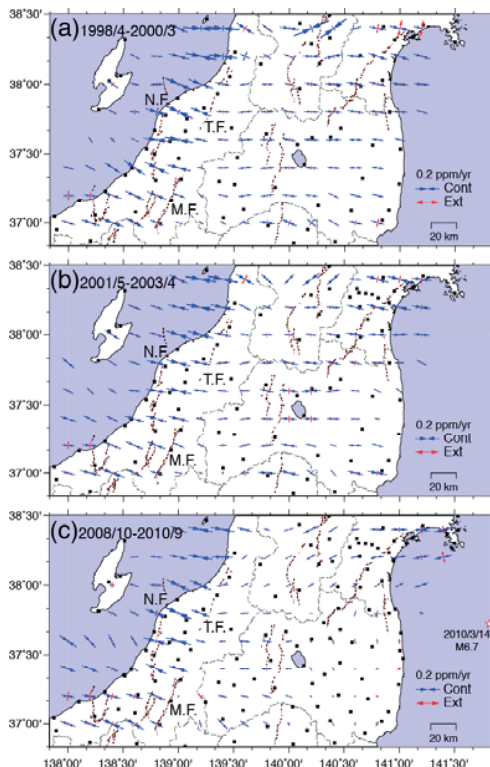
論文名, プレートの組み合わせ	相対運動速度(mm/yr)			
	北海道北部 (45.0N, 141.7E)	北海道南西沖 (41.5N, 139.5E)	山形県庄内沖 (39.0N, 139.6E)	新潟県越後平野 (37.8N, 138.9E)
Seno <i>et al.</i> (1996) EU-OK	6.4	9.2	11.1	12.1
Heki <i>et al.</i> (1999) AM-NA	15.8	17.1	17.9	18.3
Sella <i>et al.</i> (2002) AM-OK	18.2	22.8	25.6	27.1
Kreemer <i>et al.</i> (2004) AM-OK	13.5	16.8	18.8	19.9
Apel <i>et al.</i> (2006)* AM-OK	17.2	20.7	23.0	24.2
Demets <i>et al.</i> (2010)* AM-OK	4.7	5.4	6.2	6.5
Argus <i>et al.</i> (2010) EU-NA	11.7	13.0	14.0	14.4



黒字:宇宙測地データに基づく。青字:地磁気や地震データに基づく。水色:両者の混合。
*図よりオイラー極を読み取り **OKのオイラー極は, Argus *et al.*(2011).

- モデルによって大きな幅があるが, 5~27mm/年のほぼ東西方向の相対運動となる。南に行くほど大きくなる。
- 日本海東縁では複数の断層で相対運動を担っていて, 複数の断層運動の和を表していることに注意。

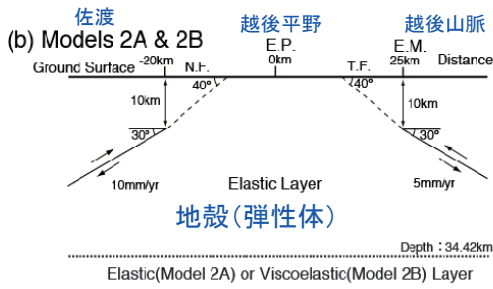
GEONETによるひずみ速度分布



- GEONETの速度ベクトルを用いて, 静穏な時期のひずみ速度分布を計算。
 - ✓ 計算手法はShen *et al.*(1996)
 - ✓ 距離減衰定数は20km.
- 新潟-神戸・日本海東縁ひずみ集中帯に対応するひずみ速度の大きな領域が各期間に見られる。
 - ✓ 西北西-東南東方向の短縮を示し, 最大約0.2ppm/yr
 - ✓ 3つの期間でほとんど速度が変わっていない。
 - ✓ ひずみ集中域の東側(越後山地)ではひずみ速度が小さい。
- 福島県の太平洋側でも同じ方向の短縮ひずみが観測されているが, ひずみ速度は期間によって大きく異なる。

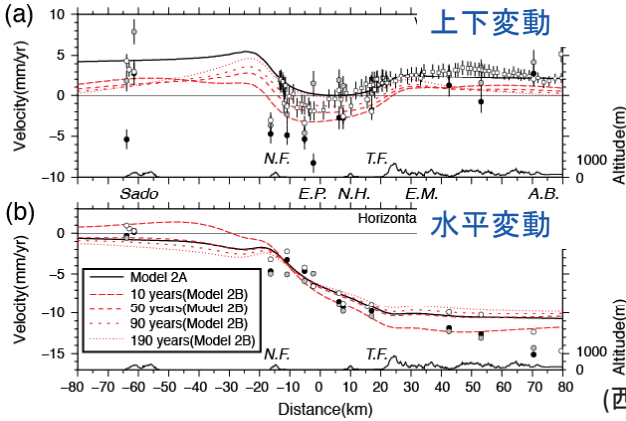
運動学的モデル(越後平野)

モデルの幾何形状



- 地殻全体を貫く比較的高角な逆断層の深部滑り(Iio and Kobayashi, 2002 など)を仮定。
- 断層の細かな位置については、試行錯誤的にデータを説明するように仮定。
- 弾性体モデルは、粘弾性体モデルの地震後50-90年のパターンと概ね一致しているが、上下変動の絶対値は大きく異なる。
- 粘弾性体モデルでは、余効変動として沈降が生じ、越後平野付近の沈降を定性的に説明。
- 地震時の上盤側の隆起が長期的に支えられないために、超波長の沈降が生じて、下盤側で沈降が生じると考えられる。

計算結果



(西村・他, 2012)

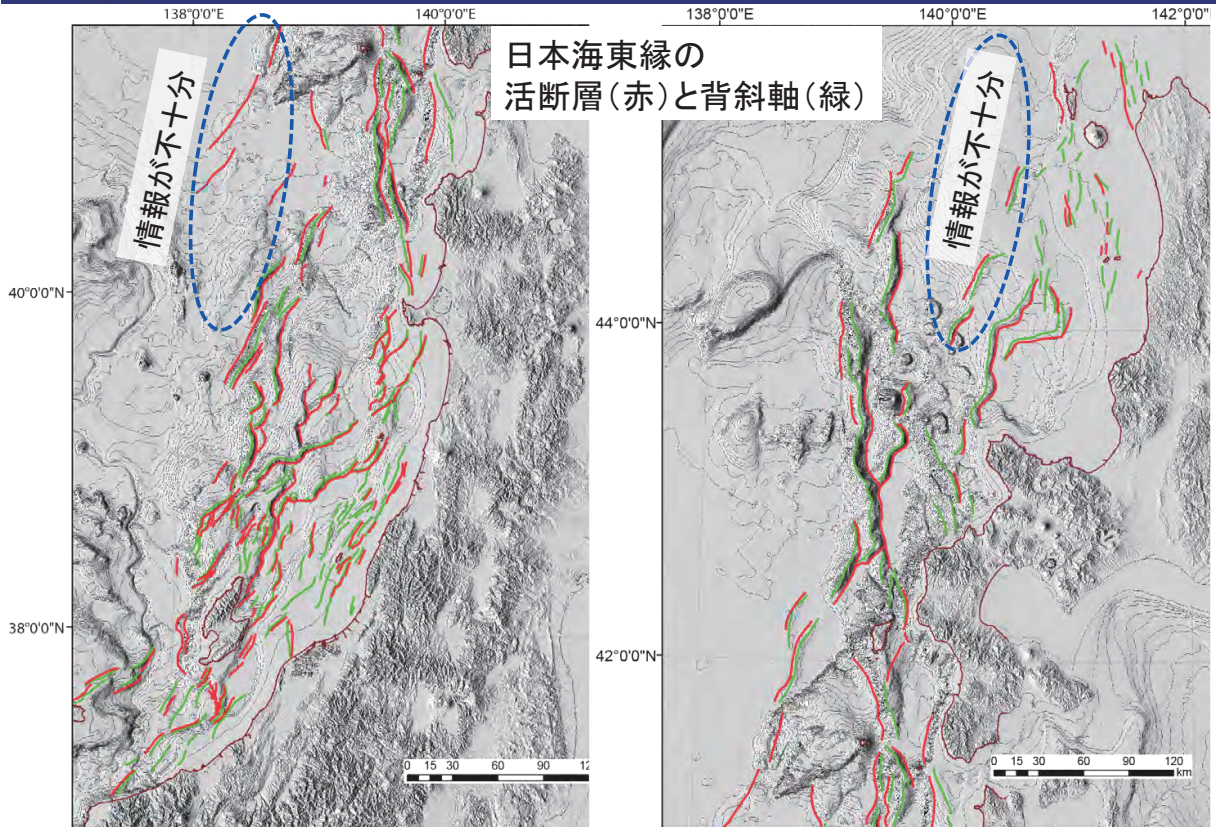
京都大学防災研究所 西村卓也 資料

第199回地震予知連絡会プレス資料

2013年5月30日



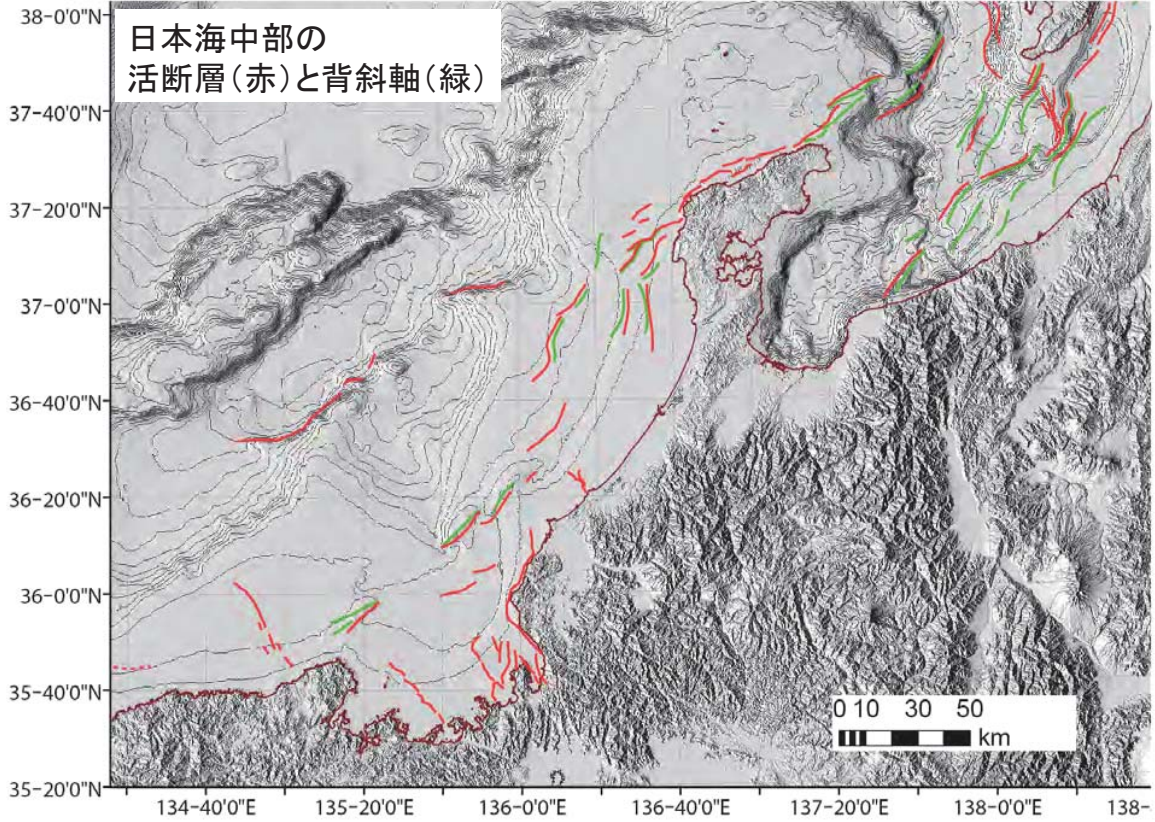
活断層・地震研究センター



独立行政法人 産業技術総合研究所

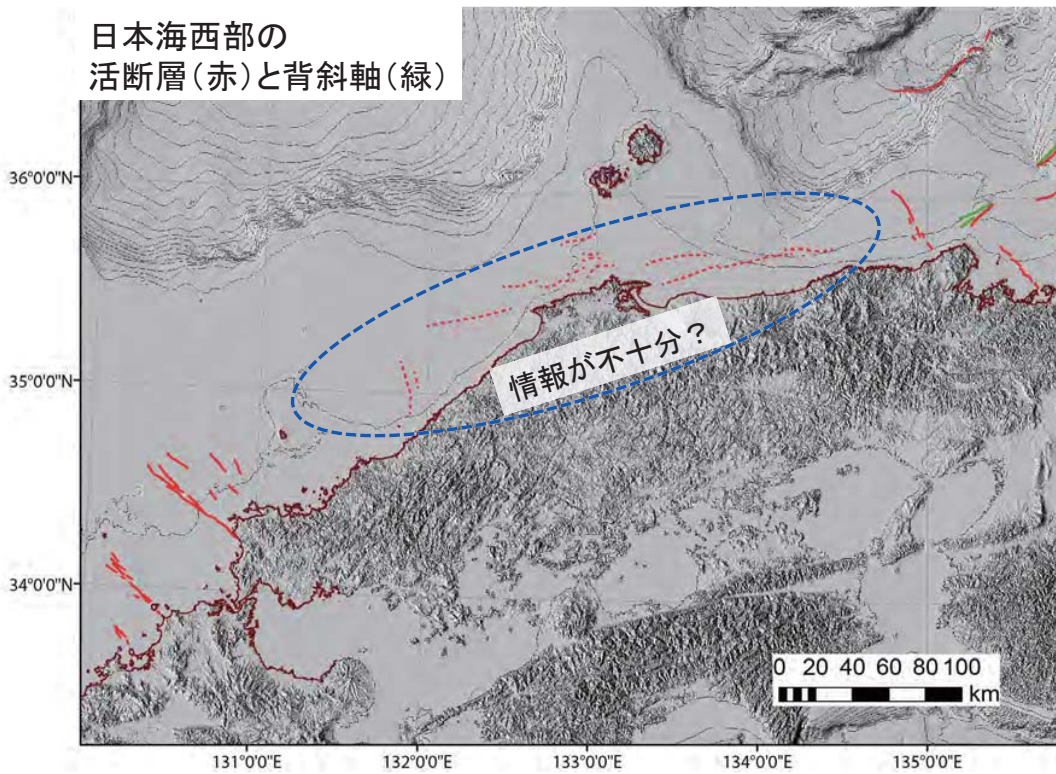
1

産業技術総合研究所 岡村行信 資料



独立行政法人 産業技術総合研究所

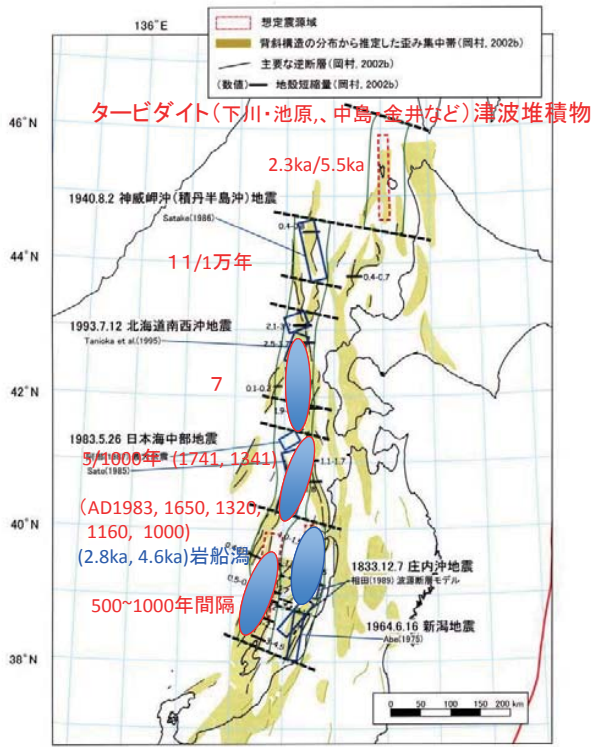
2



独立行政法人 産業技術総合研究所

3

産業技術総合研究所 岡村行信 資料



タービダイト(下川・池原、中島・金井など)津波堆積物

奥尻・日本海中部・庄内沖・佐渡沖 9C.10C.津波波源・震源域想定

波源・震源域	時期	キー地点
北海道南西沖+	11~12C. ?	松前半島
日本海中部	1000年前頃	西津軽
1833庄内沖+:	9C.?	飛島, 男鹿
(佐渡海嶺? 男鹿~飛島断層帯?)		(隆起の検討)
佐渡北方沖?	10~11C?	飛島~佐渡
		未発生

津波堆積物調査による検討課題:
同規模の津波(奥尻. 他の領域でも想定可能?)
AD/BCころ
3ka ころ
それ以前 ~6000年前頃まで

震源域: 青方形枠(推本), 赤・青楕円(津波堆積物による想定可能)

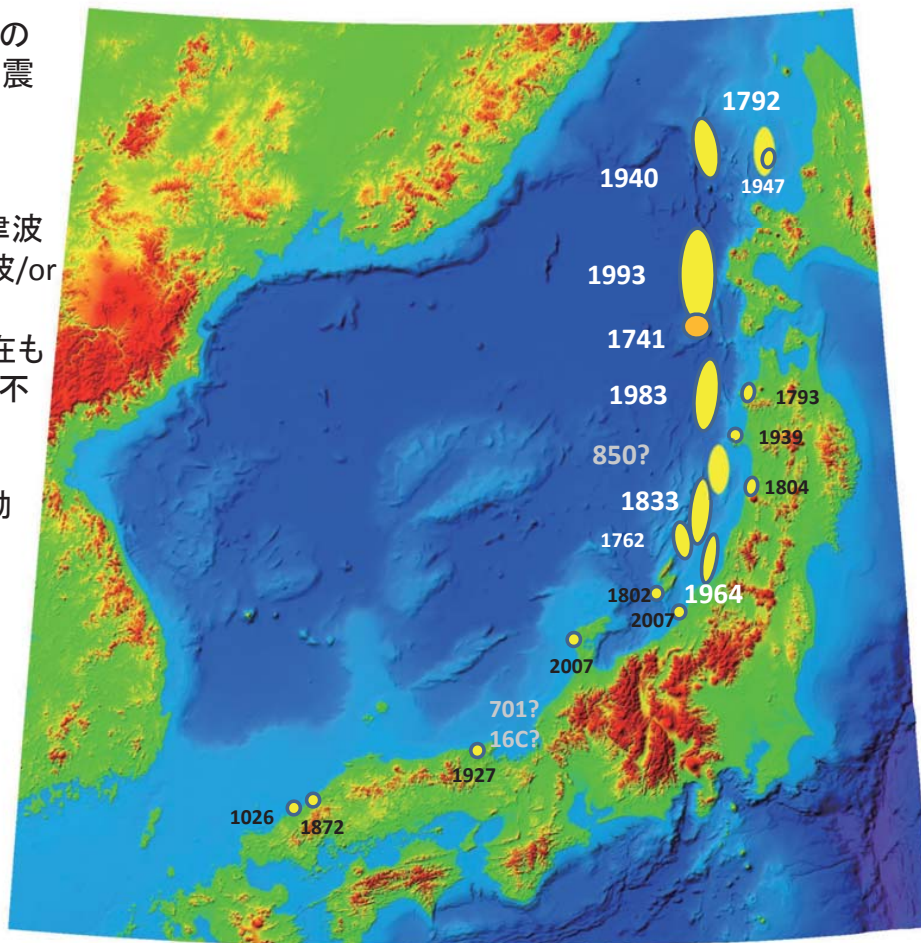
日本海東縁の津波

1. 奥尻島, 津軽沖, 庄内沖飛島周辺、佐渡島:
いずれも1000年程度の再来間隔, 周期性
2. 1900年 (1833)年(中盤)以降に集中.
9~11世紀にも集中か.
佐渡北方沖海嶺は10~11C.以降空白か?
AD/BC頃は? それ以前は? (cf. 奥尻と佐渡の津波履歴)
3. 地震領域: “固有地震”の考え方でよいのか,
より大きな波源域・震源域はあったか?
震源・波源域の位置, 発生領域区分について要検討
北海道北西(利尻)沖, 能登半島より西は
津波堆積物調査・資料が著しく不足.

津軽, 男鹿, 飛島, 粟島: 隆起ベンチ, 隆起ビーチの調査, 研究も重要

日本海側での
過去津波の震
源域一覽

白: 大きい津波
黒: 弱い津波/or
局地的
灰色?: 存在も
含めて詳細不
明
注: 1741は
火山活動



大きい被害の津波

No.	年	月	日	元号	m	M	地域	概略
3	1741	8	29	寛保	3.5		渡島大島の噴火活動	北海道で死1467、流出家屋729、船1521艘破壊
	早朝 若狭では昼頃津波							津軽で死20余、流失家屋約100、佐渡、能登、若狭 七月上旬より活動、十三日に噴火
5	1792	6	13	寛政	2	M7.1	寛政後志 小樽-積丹半島- 寿都-島牧	忍路で港頭の岸壁が崩れ陸にあった夷船漂流
	夕方4時頃							出漁中の夷人5人溺死 美国でも溺死若干
8	1833	12	7	天保	2.5	M7.6	天保出羽沖	庄内で潰家475、死42
	夕方4時頃							津波が本庄から新潟に至る海岸と佐渡 能登で大破流出家約345、死約100、隠岐でも被害 相川で2-300m、鱒ヶ沢で5-600m引く
12	1940	8	2		2	M7.5	神威岬沖	羽幌・天塩2m、利尻3m、金沢・宮津1m、天塩河口で溺死10 地震動被害はほぼなし
14	1964	6	16		2	M7.5	新潟地震	死26、家屋全壊1960戸、半壊6640戸、浸水15298戸
	午後1時過ぎ							その他船舶・道路の被害も多かった。粟島が約1m隆起した。 新潟市内の各所で噴砂水(液状化)、地盤の流動化 津波が日本海沿岸一帯を襲い、波高は新潟県沿岸で4m以上
15	1983	5	26		2.5	M7.7	日本海中部地震 (能代沖)	死104(うち津波によるもの100)、傷163(同104)
	正午							秋田県北部と青森県西部で津波と液状化被害 建物全壊934、半壊2115、流失52、一部破損3258 船沈没255、流失451、破損1187。能代で10m以上の遡上高 深浦に7分、男鹿に8分で津波到来し、警報間に合わず
16	1993	7	12		3	M7.8	北海道南西沖 (奥尻震災)	能登・丹後・隠岐にも被害 地震に加えて津波。5分で奥尻島 に津波到達 青苗では72/214名津波で死亡
	夜10時過ぎ							津波は最高30mに達した 死202、不明28、傷323 渡島半島西岸も津波被害 家屋全半壊1024、焼失192、一部破損5490、船舶被害1748艘