検討の方向性について

南海トラフと日本海溝・千島海溝の事例比較

日本海溝・千島海溝沿いにおける 異常な現象の評価基準検討委員会 (第1回) 令和3年8月23日(月)

本検討委員会における検討の方向性(案)

南海トラフ沿いと日本海溝・千島海溝沿いの事例等を比較し、本検討会における議論の方向性を整理

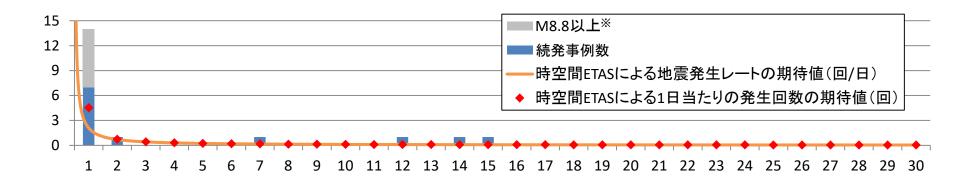
発生パターン 南海トラフ 日本海溝・千島海溝 ● 半割れケースについては現時点 半割れケースについては現時点で 半割れ(M8クラス地震) 巨大地震警戒 知られていない(判明した前例なし) で発生した**前例あり** 南海トラフ東側で大規模地震(M8クラス)が発生 ● 全世界でのM8以上の地震事 最新データでもほぼ変化なし 例のうち、半割れケースに相当 【事務局案】 する事例は、103事例中10事 日本海溝・千島海溝沿いでは、 例 現時点では導入しない 西側は連動するのか? 部割れケースについては「1963年 ● 一部割れケースについては現時 -部割れ(M7クラス地震) 点で発生した前例なし の択捉島沖の地震 |、「2011年の東 南海トラフで地震(M7クラス)が発生 (東北地方太平洋沖地震での前例あり) 北地方太平洋沖地震」で前例あり ● 全世界でのM7クラスの地震事 最新データでもほぼ変化なし 例のうち、一部割れケースに相 【事務局案】 当する事例は、1334事例中 巨大地震注意 日本海溝・千島海溝沿いでも 11事例 南海トラフの大規模地震の前震か? 導入を検討 ひずみ計観測網が整備済で、 ひずみ計観測網は未整備であり、 ゆっくりすべり 数十年分の観測データあり 観測データなし ● 海底地震観測網も整備済 海底地震観測網は整備済 (地震発生) (H28年度より一部運用開始) (H23年度から順次運用開始) 強くくっついて いる境界 ゆっくりすべり 【事務局案3】 日本海溝・千島海溝沿いでは、 現時点では導入しない

世界の地震事例における半割れケース

- 最新のデータ(1904年-2017年)を用いて、分析を実施。
- M8.0以上の地震に続き、7日以内にM7.8以上の地震が続発した事例は104事例中9事例。
- 南海トラフ沿いでの検討時の比率(103事例中10事例)とほぼ同一(変動なし)。

M8.0以上(104事例)の地震に続いて、

M7.8以上の地震が続発(30日以内)したケースの発生パターン(横軸:続発するまでの時間 日単位)



最初の地震からの経過日数

先行地震発生直後からの積算事例数

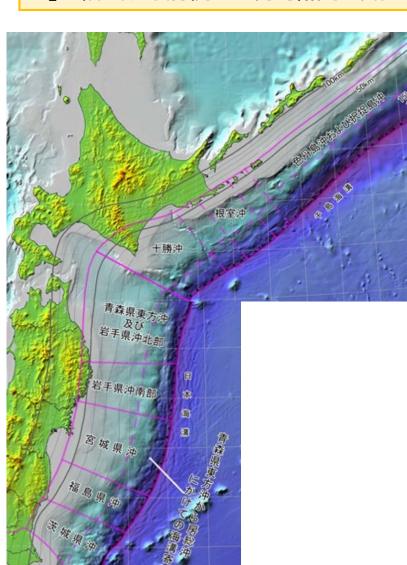
3日間: 8事例/104事例 (+M8.8以上 6事例) 7日間: 9事例/104事例 (+M8.8以上 6事例)

30日間: 12事例/104事例 (+M8.8以上 6事例)

※ISC-GEM8.0を用いて分析

日本海溝・千島海溝沿いの半割れのケースについて

日本海溝・千島海溝沿いにおいては、過去にもM8以上の地震が発生しているが、「半割れケース」に相当する前例は、現時点では知られていない。



これまでに知られている18世紀以降の大規模地震 (M8以上)

【日本海溝沿い】4事例

	茨城県沖	福島県沖	宮城県沖	岩手県沖南部	青森県東方沖 及び 岩手県沖北部	М
1793/2/17						8.2
1896/6/15						8.5
1933/3/3						8.1
2011/3/11 14:46						9.0

【千島海溝沿い】 7事例

	十勝沖	根室沖	色丹島沖	択捉島沖	М
1843/4/25	?		?		8.0
1918/9/8					8.0
1952/3/4					8.2
1958/11/7					8.1
1963/10/13					8.1
1994/10/4		į	?		8.2
2003/9/26					8.0

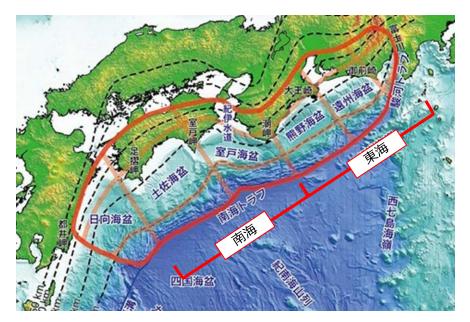
※中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」参考資料を基に作成

半割れケース案

事務局案

- ○世界中のM8以上の地震事例のうち、地震発生後にM8クラスの地震が続発した事例は、104事例中9事例(約1割)。
- ○南海トラフ沿いでは、1854年の安政東海地震や1944年の昭和東南海地震などの過去の地震が「半割れケース」に相当することが知られていることから、巨大地震への警戒情報を発表し、事前避難等の防災対策に備えることが重要。
- ○一方、日本海溝・千島海溝沿いでは、M8以上の地震は18世紀以降、11事例知られているが、半割れケースに相当する事例は知られていない。
- ○日本海溝・千島海溝沿いでは、前例がなく、評価基準の検討ができないため、半割れケースは導入しない。

【南海トラフ沿い】



「防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する評価基準検討部会」 資料を基に作成

南海トラフ沿いにおける18世紀以降の大規模地震 (M8以上)

	日向灘	南海	東海 (東南海)	М
1707/10/28		ほぼ同時	に発生	8.9
1854/12/23 1854/12/24		※ 32時間後に発生	•	8.6 8.7
1944/12/7		2年後に発生		8.2
1946/12/21		*		8.4

※最新の調査では、30時間後との結果も報告されている

南海トラフ沿いと日本海溝・千島海溝沿いの比較

18世紀以降のM8.0以上の地震のうち、「半割れケース」に相当する事例数

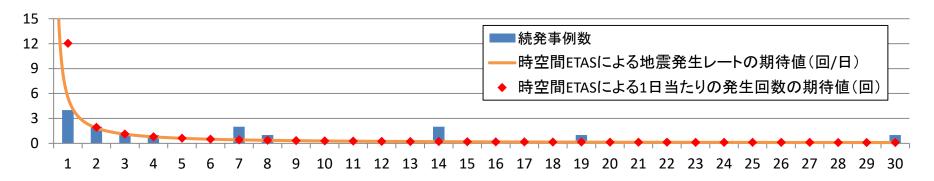
	M8.0以上 発生数	「半割れケース」に 相当する事例数	備考
南海トラフ	5	2 (2×2=4)	全割れケース1回 半割れケース2回
日本海溝	4	0 (0)	
千島海溝	7	0 (0)	

世界の地震事例における一部割れケース

- 最新のデータ(1904年-2017年)を用いて、分析を実施。
- M7.0以上M8.0未満の地震に続き、7日以内にM7.8以上の地震が続発した事例は1373事例中 10事例。
- ○南海トラフ沿いでの検討時の比率(1334事例中11事例)とほぼ同一。

M7.0-7.9 (1373事例) の地震に続いて、

M7.8以上の地震が続発(30日以内)したケースの発生パターン(横軸:続発するまでの時間 日単位)



最初の地震からの経過日数

先行地震発生直後からの積算事例数

3日間: 7事例/1373事例

7日間: 10事例/1373事例

30日間: 15事例/1373事例

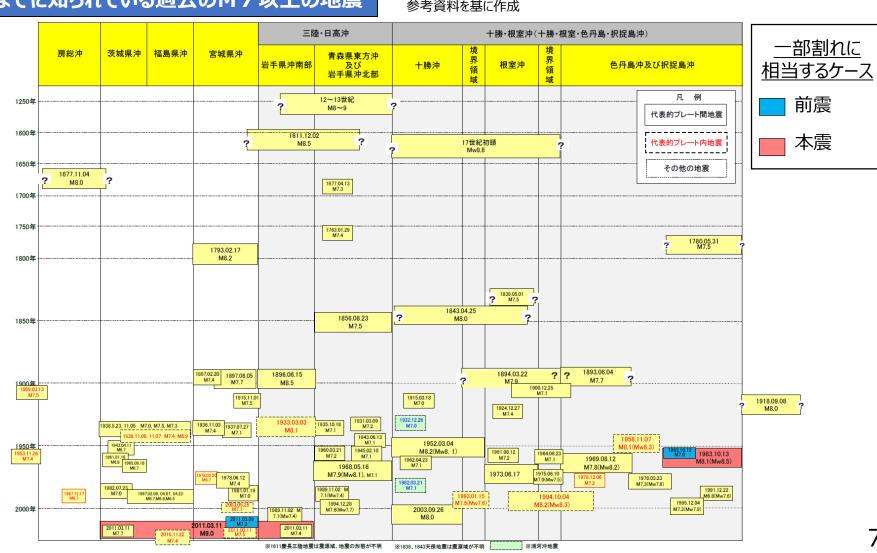
※ISC-GEM8.0を用いて分析 6

日本海溝・千島海溝での一部割れのケースについて

日本海溝・千島海溝沿いでは、1963年の択捉島沖での地震及び2011年の東北地方太平洋沖地震の本震2日前の地震が「一部割れケース」に相当する(2事例)。

これまでに知られている過去のM7以上の地震

※中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」 参考資料を基に作成



一部割れケース案

事務局案

- ○世界中のM7クラスの地震事例のうち、地震発生後にM8クラスの地震が続発した事例は、1334事例中11事例。
- ○南海トラフ沿いでは「一部割れケース」に相当する事例は知られていないが、2011年の東北地方太平洋沖地震において前例があることから、巨大地震への注意情報を発表し、日々の地震への備えを再確認等を実施することとしている。
- ○日本海溝・千島海溝沿いにおいては、東北地方太平洋沖地震に加え、1963年の択捉島南東沖での事例がある。
- ○このため、日本海溝・千島海溝沿いにおいても、南海トラフ沿い同様、一部割れケースを導入する。

事例 1

2011年東北地方太平洋沖地震

事例 2

1963年択捉島南東沖における地震

耳	最初の地震		後発地震		
発生 領域	宮城県沖		発生 領域	岩手県沖南部 ~茨城県沖	
発生 日時	2011/3/9 6:24	約51H後	発生 日時	2011/3/11 14:46	
М	7.3		М	9.0	

Ē	最初の地震			後発地震
発生 領域	択捉島沖		発生 領域	択捉島沖
発生 日時	1963/10/12 21:27	約18H後	発生 日時	1963/10/13 15:18
М	7.0		М	8.5

【参考】本検討の対象領域における一部割れケース事例の割合

領域	M7.0以上発生数	うち30日以内にM8.0以上 が続発した事例
色丹島沖及び択捉島沖	35	1 (約18時間後)
十勝·根室沖	11	0
三陸・日高沖	18	0

64事例中1事例

※続発事例数はISC-GEM5.1による各領域内の うち500km以内で続発した事例。余震、プレー ト内地震除く。

ゆっくりすべりケース案

事務局案

- ○南海トラフ沿いでは想定震源域近くの陸域にひずみ観測網等が整備されているほか、海域においても海底掘削孔内ひずみ 観測網等が整備されつつあり、ひずみ観測網を主としたゆっくりすべりケースの評価するための観測網が整備されている。
- ○一方で、日本海溝・千島海溝沿いでは、想定震源域が陸域から遠いため、海域へのひずみ観測網の整備が求められるが、 技術面・コスト面から困難。その他の観測網は整備されているが、精度面やリアルタイム性において今後も研究開発が必要。
- ○海底へのひずみ観測網に代わり、近年では、光ファイバーケーブルを用いた地殻変動観測技術の開発が進められている。
- ○日本海溝・千島海溝沿いでは、上記の観測技術開発やデータ蓄積等による解析が必要であるため、現時点ではゆっく りすべりケースを導入しない。

ゆっくりすべりケースの観測技術

現象発生時の評価への寄与

観測システム	観測値	整備 場所	南海トラフ	日本海溝 千島海溝	理由
ひずみ観測網	岩盤の伸縮	陸	0	×	陸域に整備しても震源 域が遠く観測不可
GNSS連続観測網 (電子基準点)	地表変動	陸	0	×	震源域が遠く観測不可
海底地震津波観測網 (DONET/S-net)	地震の揺れ 水圧の変化	海	0	Δ	データ蓄積による検証・ 精度向上が必要
長期孔内観測システム (DONETに接続)	間隙水圧	海	Δ	×	海域の広範囲での観 測の技術開発が必要
GNSS音響測距結合方式 による地殻変動観測 (GNSS-A)	海底面変動	海	Δ	Δ	迅速性や頻度の向上が必要

◎:評価で利用

- ○:一部、補完的に利用
- △:参考として利用
- ×:データなし

震源域が 陸域から遠い 陸域沿岸部が 震源域の直上 相模ト

- ○主に震源域から近い陸域のひずみ観測結果を 用いてゆっくりすべりケースの評価を実施。
- ○その他の観測技術についても高度化に向けた研 究が行われ、適宜改良されている。
- ○南海トラフ沿いで主に使用されている**ひずみ観測網は、陸域に整備しても**震 源域が遠く観測が困難。
- ○海域の広範囲でのひずみ観測は、技術開発が必要。その他の観測技術で ゆっくりすべりケースを評価するにはデータ蓄積等による解析が必要。

詳細資料

【参考】世界の地震事例における半割れケース(余震除去あり)

- 最新のデータ(1904年-2017年)を用いて、分析を実施。
- M8.0以上の地震に続き、7日以内にM7.8以上の地震が続発した事例は104事例中9事例。
- 南海トラフ沿いでの検討時の比率(103事例中10事例)とほぼ同一。

M8.0以上(104事例)の地震に続いて、M7.8以上の地震が続発(30日以内)したケースの発生パターン(横軸:続発するまでの時間

※ISC-GEM8.0のデータセットの中にはMw8.8以上の地震事例が6つある。これら事例を複数領域での地震が続発したものと仮定した場合、灰色部分のように続発事例が増える。



13

15

※ISC-GEM8.0を用いて解析

(参考)続発事例の一覧

前ページの30日以内の続発事例について、その震源データを以下に整理した。

最初の地震			後発の地震			差			余震除去			
年月日時分秒	М	緯度(度)	経度(度)	年月日時分秒	М	緯度(度)	経度(度)	震央距離[km]	時間[日]	0.5	0.3	0.0
1960/5/22 18:56	8.6	-38.061	-73.039	1960/5/22 19:11	9.6	-38.143	-73.407	33.541	0.01			
2011/3/11 5:46	9.1	38.285	142.546	2011/3/11 6:15	7.9	36.220	141.084	263.327	0.02	0	0	0
2012/4/11 8:38	8.6	2.273	93.051	2012/4/11 10:43	8.3	0.754	92.420	181.822	0.09		0	0
2000/11/16 4:54	8.0	-4.011	152.254	2000/11/16 7:42	7.8	-5.915	153.139	163.484	0.12			
1968/5/16 0:49	8.2	40.860	143.435	1968/5/16 10:39	7.9	41.508	142.888	85.381	0.41			0
2007/9/12 11:10	8.5	-4.407	101.502	2007/9/12 23:49	7.9	-2.572	100.761	218.737	0.53	0	0	0
1923/9/1 2:58	8.0	35.274	139.344	1923/9/2 2:46	7.9	34.985	139.928	62.131	0.99			0
1960/5/21 10:02	8.1	-37.824	-73.353	1960/5/22 18:56	8.6	-38.061	-73.039	38.134	1.37			
1963/10/13 5:17	8.5	44.872	149.483	1963/10/20 0:53	7.8	44.726	150.547	85.771	6.82	0	0	0
1971/7/14 6:11	8.0	-5.524	153.850	1971/7/26 1:23	8.1	-4.817	153.172	108.339	11.80			
1905/7/9 9:40	8.0	49.709	98.483	1905/7/23 2:46	8.3	49.292	96.843	127.614	13.71			
1932/6/3 10:36	8.1	19.795	-103.931	1932/6/18 10:12	7.8	19.087	-103.551	87.882	14.98		0	0

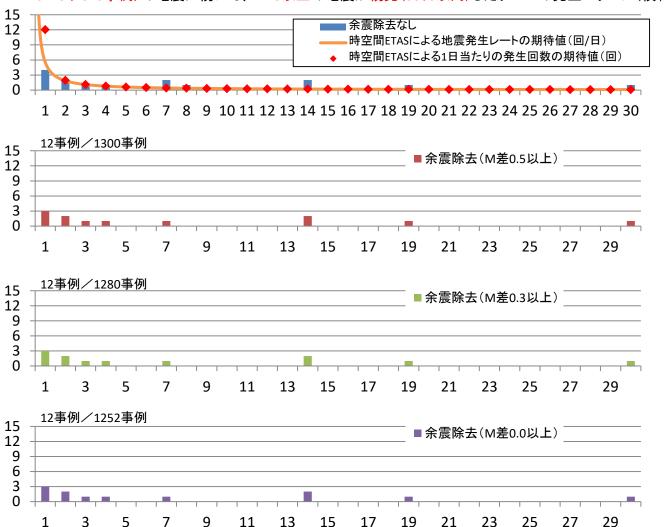
※余震除去について

宇津の式による距離・時間・規模に関する条件をすべて満たす地震を余震とし除去した地震カタログを用いて30日以内、500km以内で続発したペアを抽出した場合に除去されるペアに〇をつけた。規模の条件は、「最初の地震のM」-「後発の地震のM」=ΔMとした場合、ΔM>0.0、ΔM>0.3、ΔM>0.5について確認をした。

【参考】世界の地震事例における一部割れケース(余震除去あり)

- 最新のデータ(1904年-2017年)を用いて、分析を実施。
- M7.0以上M8.0未満の地震に続き、7日以内にM7.8以上の地震が続発した事例は1373事例中10事例。南海トラフ沿いでの検討時の比率(1334事例中11事例)とほぼ同一。

M7.0-7.9(1373事例)の地震に続いて、M7.8以上の地震が続発(30日以内)したケースの発生パターン(横軸: 続発するまでの時間 日単位)



先行地震発生直後からの積算事例数

3日間: 7事例/1373事例 7日間: 10事例/1373事例 30日間: 15事例/1373事例

※ISC-GEM8.0を用いて解析

(参考)続発事例の一覧

前ページの30日以内の続発事例について、その震源データを以下に整理した。

最初の地震		後発の地震				差	4	余震除去			
年月日時分秒	М	緯度(度)	経度(度)	年月日時分秒	М	緯度(度)	経度(度)	震央距離[km]	時間[日] 0.	5 0.3	0.0
2009/10/7 22:03	7.6	-13.037	166.431	2009/10/7 22:18	7.8	-12.449	166.456	65.044	0.01		
1976/1/14 15:56	7.8	-29.486	-177.456	1976/1/14 16:47	7.9	-28.914	-177.354	64.150	0.04		
1960/5/22 10:30	7.1	-37.775	-73.017	1960/5/22 18:56	8.6	-38.061	-73.039	31.808	0.35 C	0	0
1963/10/12 11:27	7.0	44.647	149.225	1963/10/13 5:17	8.5	44.872	149.483	32.301	0.74		
1923/2/2 5:07	7.3	53.739	160.813	1923/2/3 16:01	8.4	54.486	160.106	95.239	1.45		
2000/11/16 7:42	7.8	-5.195	153.139	2000/11/17 21:01	7.8	-5.535	151.940	137.957	1.56		
2011/3/9 2:45	7.3	38.433	142.987	2011/3/11 5:46	9.1	38.285	142.546	41.902	2.13		
1922/11/7 23:00	7.0	-28.369	-71.942	1922/11/11 4:32	8.3	-28.988	-70.704	139.046	3.23		
1931/10/3 22:47	7.0	-10.931	161.441	1931/10/10 0:19	7.8	-9.734	161.151	136.019	6.06	0	0
1931/10/3 19:13	7.8	-11.118	161.195	1931/10/10 0:19	7.8	-9.734	161.151	153.006	6.21		
1971/7/19 0:14	7.1	-5.754	153.868	1971/7/26 1:23	8.1	-4.817	153.172	129.044	7.05	0	0
1987/11/17 8:46	7.2	58.731	-143.046	1987/11/30 19:23	7.9	58.828	-142.613	27.313	13.44		
1976/1/1 1:29	7.3	-28.918	-177.344	1976/1/14 15:56	7.8	-29.486	-177.456	63.871	13.60		
1979/11/23 23:40	7.2	4.731	-76.160	1979/12/12 7:59	8.1	1.555	-79.276	492.676	18.35		
1921/12/18 15:29	7.3	-3.918	-71.520	1922/1/17 3:50	7.9	-2.853	-71.438	117.987	29.51		

※余震除去について

宇津の式による距離・時間・規模に関する条件をすべて満たす地震を余震とし除去した地震カタログを用いて30日以内、500km以内で続発したペアを抽出した場合に除去されるペアに〇をつけた。規模の条件は、「最初の地震のM」-「後発の地震のM」=ΔMとした場合、ΔM>0.0、ΔM>0.3、ΔM>0.5について確認をした。

【参考】陸域の地震観測網

陸域には、気象庁や防災科学技術研究所、大学機関や自治体等により、地震による揺れを計測する震度観測点(約4,400点)及び加速度計と速度計が設置された地震観測点(約1800点)が整備されており、地震活動の監視や研究、さまざまな情報発表に活用されている。

主な観測点

く気象庁>

震度観測点:約700点

地震観測点:約300点

<防災科学研究所>

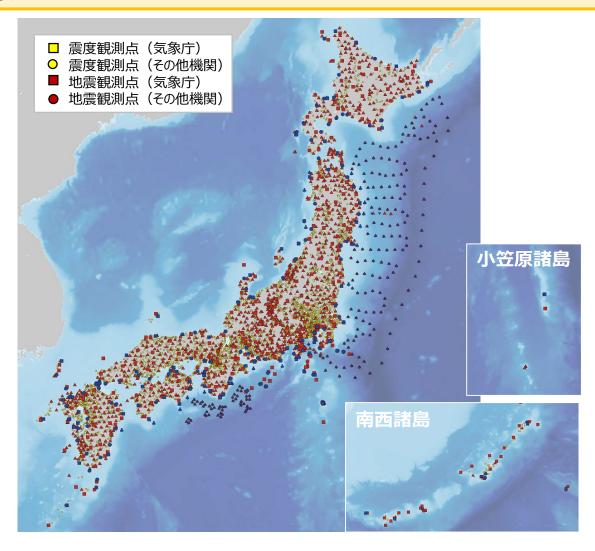
高感度地震観測網「Hi-net」:約800点

全国強震観測網「K-NET」:約1050点

基盤強震観測網「KiK-net」:約700点

広帯域地震観測網「F-net」:約70点

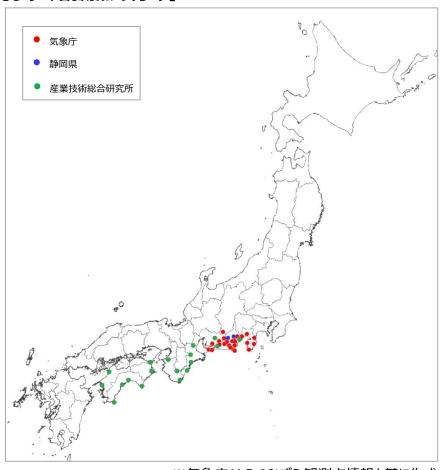
海底地震津波観測網「S-net I:150点 等



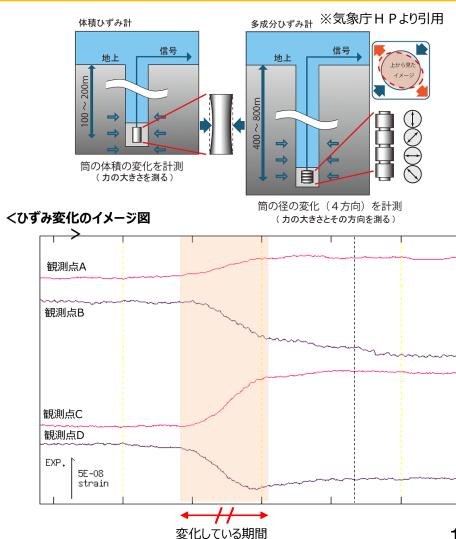
【参考】ひずみ観測網

- ○ひずみ計とは、地下の岩盤の伸び・縮みを非常に高感度で観測できる地殻変動の観測装置。ボアホールと呼ばれる直径15センチメートル程度の縦穴を数百メートル掘削し、その底に円筒形の検出部が埋設。
- ○プレート境界のゆっくりすべり等に伴うごくわずかな岩盤の伸び縮みを捉えるため、気象庁、静岡県及び産業技術総合研究所が、南海トラフ沿いにひずみ計による地殻変動の観測網を展開。

【ひずみ観測点の分布】



※気象庁HPのひずみ観測点情報を基に作成



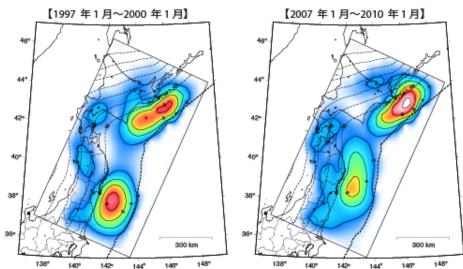
【参考】GNSS連続観測網(電子基準点)

- 電子基準点で捉えた地表の地殻変動から、プレート境界の摩擦力によって固着している領域(固着域)を推定することが可能
- 国土地理院では、東北地方太平洋沖地震の発生以前に東北日本・西南日本における固着域の推定を実施
- 固着状態のモニタリングにより、海溝沿いのひずみの蓄積速度の状況を把握可能

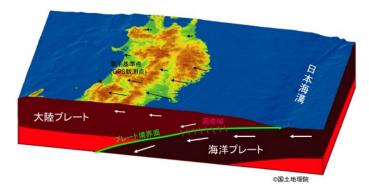
【電子基準点の分布(日本海溝・千島海溝沿い)】

【電子基準点の構成】 傾斜計

【電子基準点のデータから推定された東北日本の固着域】

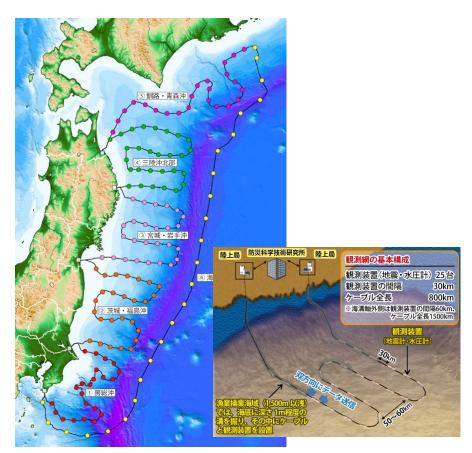


プレートの沈み込みと固着域の概念図



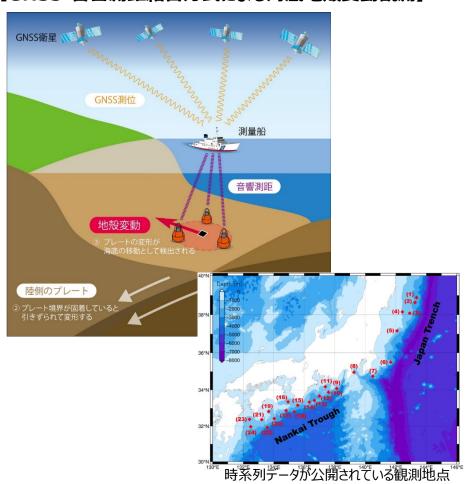
【参考】海域の観測網

【海底地震津波観測網「S-net」】



- ○**地震計と水圧計が一体となった観測装置**を海底ケーブルで接続し、これを 日本海溝から千島海溝海域に至る東日本太平洋沖に設置し、リアルタイ ムに24時間連続で観測データを取得。
- ○観測装置は150カ所に設置し、ケーブル全長は約5,500km。
- ○海溝型地震や直後の津波を直接的に検知し、迅速かつ確実な情報伝達 により被害の軽減や避難行動などの防災対策に貢献することが期待。
- ○海域の地震像の解明のためにも海底における観測データは必要不可欠。

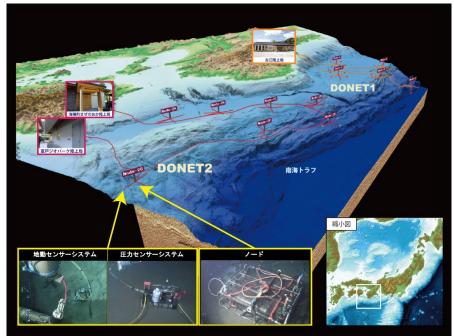
【GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測】



- 海底での地殻変動観測のために、海上保安庁が構築した「GNSS測 位」と「音響測距」を結合した手法による海底地殻変動観測システム
- 測量船の位置測定を行う「GNSS測位」と、測量船-海底局間の距離 測定を行う「音響測距」とを同時に行い、複数の地点でこれらの観測 を行うことで、海底局のグローバルな位置を高精度で決定。

【参考】海域の観測(DONETと長期孔内観測システム)

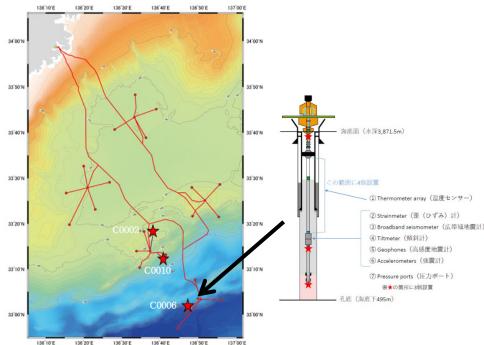
【地震・津波観測監視システム:DONET】



- ○昭和の**南海トラフ地震の破壊開始域**である熊野灘と紀伊水道沖に展開されている海底ケーブル観測網で、リアルタイムに24時間連続で観測データを取得。
- ○**あらゆる種類の振動をキャッチできる**よう、地動センシングシステム(6成分 強震計、3成分広帯域地震計)と圧力センシングシステム(水圧計、ハイ ドロフォン、微差圧計、温度計)から構成。
- ○DONETは、基幹ケーブルと観測機器をつなぐノードを持ち、センサーが劣化、 故障すれば交換することができ、観測点の増設や再設置が可能であるなど、 拡張性や置換性に優れているところが特徴。
- ○熊野灘と紀伊水道沖に展開されている観測網をそれぞれDONET1、DONET2と呼び、DONET1は2011年7月から本格運用を開始、DONET2は2016年3月から本格運用を開始。海洋研究開発機構が開発・設置し、本格運用開始後に防災科学技術研究所に移管、運用。

※防災科学技術研究所HPより引用

【長期孔内観測システム:LTBMS】



- ○長期孔内観測システムは、複数のセンサー((1)温度センサー(2) 歪(ひずみ)計(3)広帯域地震計(4)傾斜計(5)高感度地震計(6)強震計(7)圧力ポート)を掘削孔内に設置固定したもの。
- ○孔内の安定した地層内にセメントで固定しており、プレート境界断層やその周辺の地殻の微小な変動を**長期にわたり高感度かつ高精度**に観測・監視することが可能。
- ○地殻体積歪に比例した孔内間隙水圧を精密に計測することが可能。
- ○3つの長期孔内観測システムが、熊野灘に展開されている**DONET1に接続** されており、リアルタイムに24時間連続で孔内観測データが取得されている。 ※海洋研究開発機構HPより引用