

11 - 4 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2017)

Probability of moderate repeating earthquakes within one and three years from 1 February 2017

気象庁気象研究所

Meteorological Research Institute, JMA

1. はじめに

日本各地で波形がよく似た地震（相似地震）が観測されているが、その多くはプレート境界で発生しており、プレート間の定常的なすべりと密接な関係があると考えられている。気象研究所ではこれまでに中規模の繰り返し地震（相似地震）について発生状況を取りまとめた¹⁾。その後も調査を継続している。前回提出した資料²⁾以降の2016年2月から2017年1月末までを調査したので報告する。また、ここで整理した地震系列について、岡田・他(2007)³⁾のベイズ統計対数正規分布モデルを使い、予測日を2017年2月1日とし、今後1年および3年以内の発生確率を計算した。なお、本報告は、地震活動評価の高度化を目的として実施しているものであり、気象庁が別途実施している宮古島近海等の繰り返し地震の報告における目的・手法とは異なるものである。

2. 相似地震の抽出方法

1988年10月以降については、デジタル加速度記録のある概ね震度2以上を観測した地震を対象に相似地震を調査した。気象庁の87型強震計や95型震度計のデジタル加速度記録のうち、理論P波到着時の5秒前から40秒間の波形を使い、まず、候補となる2地震についてコヒーレンスと相関係数を計算した。コヒーレンスの計算⁴⁾は、下記の周波数帯域の平均を3成分それぞれで求めた。

周波数帯域の下限： $\log f_{\text{lower}} = \log a - bM$ ($a=22.4$, $b=0.86$, M はマグニチュード)

周波数帯域の上限： $f_{\text{upper}} = 4f_{\text{lower}}$

相関係数は、デジタル加速度記録から気象庁1倍強震計特性（固有周期6秒、減衰定数0.55）の変位波形に変換し、0.5～2Hzのバンドパスフィルタを通した波形を用いて計算した。相似地震の判別は、コヒーレンスが3成分とも0.9以上、かつ相関係数が3成分とも0.5以上で、うち1成分で0.8以上になる観測点が1点以上となる場合は相似地震であるとした。気象研究所技術報告(2014)¹⁾では、相似地震の抽出方法として、最近のデジタル記録を用いたものと、長期の地震カタログに基づくものの2つの手法が採用されており、それぞれの手法で相似地震を抽出している。今回の基準はそれぞれの手法で抽出された相似地震が抽出できるようにするため新たに作成した基準である。どのような基準が最適であるかは現在も検討中である。なお、収集条件によっては波形データが未収録の場合もあり、相似地震が漏れている可能性がある。

加速度のデジタル記録が無い1988年10月以前については、気象研究所技術報告(2014)¹⁾で報告されている気象庁の59型地震計や51型機械式強震計などアナログ記録を目視で比較して選ばれた地震系列を使用した。

3. ベイズ統計対数正規分布モデル

地震の発生間隔は対数正規分布に従うものとし、発生確率を求める系列について、観測データ（発生間隔の対数）から尤度を計算する。一方、過去に日本や世界で発生した繰り返し地震の多

数系列の発生間隔データから対数正規分布の平均発生間隔 (μ) と分散 (σ^2) の経験的な分布 (事前分布) を導いておく。発生確率はベイズの定理で尤度と事前分布を調和させた母数分布 (事後分布) を計算し、それを重みとした条件付き確率 (予測日からの発生確率) の荷重平均値として求めた。なお、事前分布は、 μ については一様 (無情報事前分布) とし、 σ^2 (>0) については逆ガンマ分布を採用し、形状 (ϕ) と尺度 (ζ) のパラメータ値は、岡田・他 (2007)³⁾ の値 ($\phi=2.5$, $\zeta=0.23$) を使用した。なお、平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震等による余効変動の影響は考慮していない。

4. 結果

上記方法により抽出した相似地震のうち、今期間 (2016 年 2 月～2017 年 1 月) に発生したものを含めて、地震が 3 個以上となる系列は 52 系列である (第 1 図, 第 1 表)。各系列の地震発生状況を第 2 図に示す。前回報告²⁾の 46 系列のうち、今期間に 4 系列で新たに発生した (第 1 図の□印, 第 1 表と第 2 図の No.2, 17, 18, 30)。また、今期間に発生もしくは遡り調査で 3 個以上になった系列が 6 系列ある (第 1 図の□印, 第 1 表と第 2 図の No.6, 32, 38, 41, 42, 43)。なお、第 2 図を見ると岩手県沖と福島県沖については、平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (赤色縦線) 以降、発生間隔が短くなっていることがわかる。これは、同地震の余効変動による影響と考えられている⁵⁾⁶⁾。余効変動は減衰しつつあるため、今後徐々に元の発生間隔へ戻っていくと思われる。発生確率については、前回提出した資料²⁾で、2016 年 2 月 1 日時点で予測した今後 1 年以内の発生確率は、No.2 は 44.2%, No.17 は 6.0%, No.18 は 24.2%, No.30 は 20.7% であった。1 年発生確率の予測成績は、平均対数尤度は -0.327, 拡張ブライアスコア⁷⁾は -0.337 である。平均対数尤度は、負の値をとり、0 に近づくほど成績は良く、予測確率 0.5 とした値は -0.693 である。また、拡張ブライアスコアは、1 以下の値をとり、1 に近づくほど成績は良く、現象の平均的な出現確率よりも予測確率の誤差が大きいときは、負の値となる。なお、同期間を指数分布モデルで予測した場合の成績は、平均対数尤度は -0.388, 拡張ブライアスコアは -0.471 である。系列数の少ない状況での結果ではあるが、指数分布モデルよりも多少良い程度の成績となった。3 年発生確率予測も合わせて行っており、今後、評価が可能になる。また、今期間に発生した地震を含めて、2017 年 2 月 1 日時点で 1 年確率 50% 以上の系列は、釧路沖 (No.1, 平均 M4.4, 平均発生間隔 4.3 年), 岩手県沖 (No.19, M4.1, 1.7 年), 福島県沖 (No.25, M4.9, 1.3 年と No.27, M4.8, 2.1 年), 宮古島近海 (No.50, M4.4, 2.2 年) の計 5 系列である。釧路沖と宮古島近海以外については、東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を受けて確率が高くなっていると思われる。

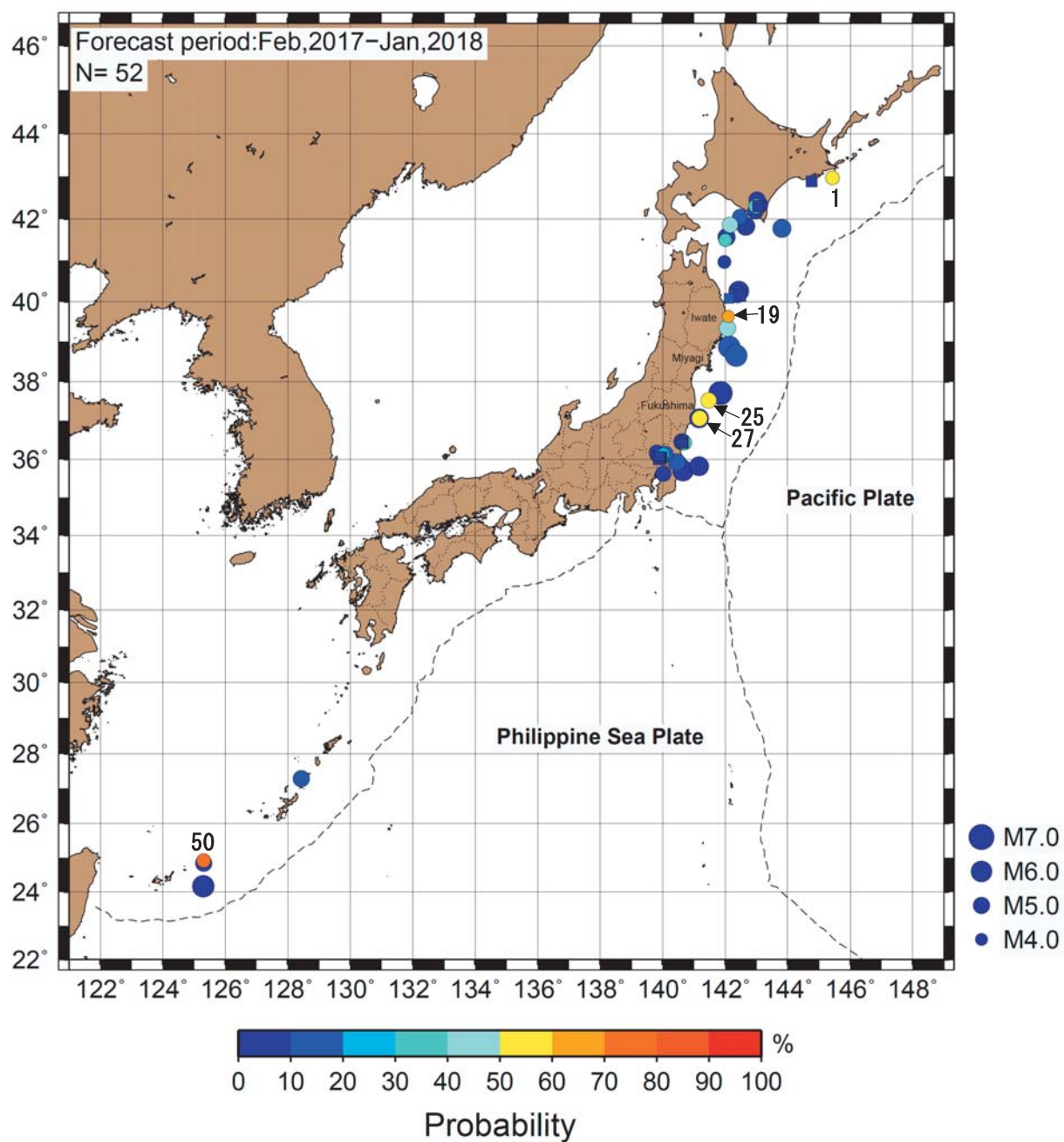
・謝辞

本資料の作成には、国立研究開発法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国土地理院、国立研究開発法人海洋研究開発機構、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所及び気象庁のデータを用いて作成しています。また、2016 年熊本地震緊急観測グループのオンライン臨時観測点 (河原, 熊野座), 米国大学間地震学研究連合 (IRIS) の観測点 (台北, 玉峰, 寧安橋, 玉里, 台東) のデータを用いて作成しています。

(田中昌之)

参考文献

- 1) 地震火山研究部, 地震火山部, 気象大学校, 札幌管区气象台, 仙台管区气象台, 大阪管区气象台, 福岡管区气象台, 沖縄气象台, 日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究, 気象研究所技術報告, 72, pp.144, 2014.
- 2) 気象庁気象研究所, 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2016), 連絡会報, 96, 456-461, 2016.
- 3) 岡田正実・他, 地震長期発生確率予測に使用する更新過程対数正規分布モデルのパラメータ事前分布, 地震 2, 60, 85-100, 2007.
- 4) 溜瀧功史・中村雅基・山田安之, 全国を対象とした客観的な相似地震の抽出, 気象研究所技術報告, 72, 5-16, 2014.
- 5) 東北大学大学院理学研究科, 小繰り返し地震から推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震震源域周辺の準静的すべり, 連絡会報, 86, 3-44, 2011.
- 6) 気象庁, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の余震域周辺における相似地震活動, 連絡会報, 87, 3-4, 2012.
- 7) 林豊, 確率予測の採点方式「拡張ブライアスコア」とその適用例, 連絡会報, 96, 486-489, 2016.



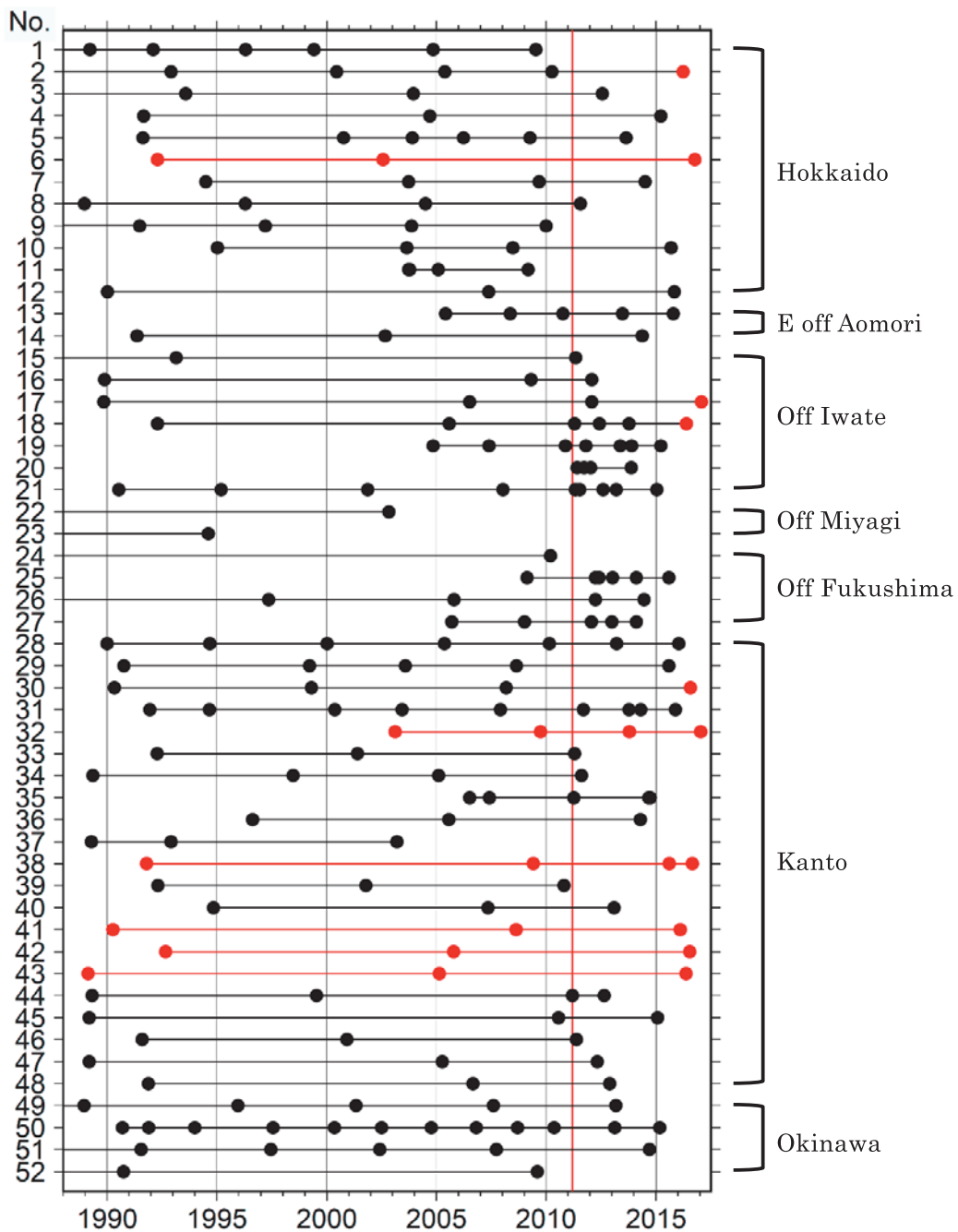
第1図 2017年2月から1年以内の発生確率

Fig.1 Probability of moderate repeating earthquakes for the period from February, 2017 to January, 2018 by the lognormal distribution model with Bayesian approach. The circles and squares denote the locations of the sequences, the color indicates the probability, and the size indicates the mean magnitude. Square marks mean that earthquakes occurred from February, 2016 to January, 2017.

第 1 表 中規模相似地震系列リスト

Table 1 List of the moderate repeating earthquake sequence and probabilities of the event occurrence within one year and three years from 1 February 2017 calculated with the lognormal distribution model with Bayesian approach. Seismic intensity is the JMA seismic intensity scale.

No.	Latitude	Longitude	Depth (km)	First event	Last event	Repeat count	Mean magnitude	Maximum seismic intensity	Interval (year)			Probability (%)	
									Ave.	Short.	Long.	1year	3year
1	42.973	145.435	47	1979/05/11 06:02	2009/07/13 04:28	8	4.4	2 ~ 3	4.3	2.9	5.4	52.4	86.8
2	42.888	144.766	57	1954/09/17 20:52	2016/03/30 14:09	11	4.9	2 ~ 4	6.1	4.9	7.5	0.0	3.0
3	42.452	143.019	70	1969/11/07 17:06	2012/07/22 13:41	5	5.0	3 ~ 4	10.6	8.6	13.0	1.9	13.3
4	42.333	143.107	56	1991/09/02 12:03	2015/03/25 09:34	3	5.0	3 ~ 3	11.8	10.5	13.0	0.2	2.1
5	42.304	142.992	57	1991/08/16 23:16	2013/08/22 15:53	6	4.7	3 ~ 3	4.4	2.3	9.1	35.4	75.1
6	42.300	143.060	56	1992/04/20 05:36	2016/10/12 04:02	3	5.0	3 ~ 3	12.3	10.3	14.2	0.0	0.6
7	42.177	142.965	54	1994/07/02 07:43	2014/07/06 05:22	4	4.9	4 ~ 4	6.7	4.8	9.2	5.5	34.0
8	42.045	142.480	68	1973/08/18 11:08	2011/07/26 07:58	6	4.9	3 ~ 3	7.6	6.7	8.6	18.8	62.5
9	41.857	142.154	69	1957/01/06 14:15	2009/12/30 04:23	11	4.8	2 ~ 3	5.1	2.9	7.5	45.7	83.2
10	41.827	142.653	56	1995/01/11 16:48	2015/09/12 22:38	4	5.4	3 ~ 4	6.9	4.8	8.6	0.9	13.1
11	41.771	143.813	41	2003/09/26 05:10	2009/03/07 23:33	4	5.5	3 ~ 3	1.8	0.0	4.1	11.0	27.1
12	41.564	142.050	64	1990/01/07 22:28	2015/11/01 12:48	3	5.3	3 ~ 4	12.9	8.5	17.4	0.3	2.3
13	41.491	142.005	64	2005/06/03 01:32	2015/10/18 09:47	5	4.2	2 ~ 3	2.6	2.3	2.9	32.7	94.6
14	40.971	141.979	59	1991/05/13 12:24	2014/05/19 21:02	3	4.3	3 ~ 3	11.5	11.3	11.7	0.5	3.9
15	40.251	142.436	30	1960/08/13 16:11	2011/05/08 05:52	4	5.9	3 ~ 4	16.6	15.0	18.2	0.5	2.7
16	40.167	142.392	36	1989/11/21 13:47	2012/01/28 21:44	3	5.0	3 ~ 3	11.1	2.8	19.4	12.2	33.1
17	40.162	142.441	37	1989/11/06 17:56	2017/01/26 17:06	4	5.5	3 ~ 4	9.1	5.0	16.7	0.3	5.2
18	40.073	142.120	48	1992/04/17 09:43	2016/05/24 18:48	6	4.4	3 ~ 4	4.8	1.1	13.3	19.2	56.0
19	39.634	142.105	48	2004/11/05 13:45	2015/03/23 22:56	7	4.1	3 ~ 3	1.7	0.5	3.5	60.8	90.9
20	39.340	142.065	48	2011/05/31 21:28	2013/11/16 14:54	4	5.1	3 ~ 4	0.8	0.3	1.9	42.5	73.3
21	39.338	142.073	50	1990/07/16 21:35	2015/01/14 02:46	9	4.9	3 ~ 4	3.1	0.2	6.7	30.9	62.1
22	38.876	142.133	47	1940/11/20 00:01	2002/11/03 12:37	5	6.3	3 ~ 5-	15.5	13.0	19.0	14.9	41.6
23	38.656	142.355	35	1937/01/07 15:11	1994/08/14 18:06	5	6.3	3 ~ 4	14.0	11.7	16.0	19.5	46.9
24	37.704	141.853	45	1942/02/21 16:07	2010/03/14 17:08	4	6.6	4 ~ 5-	22.5	21.0	24.6	0.2	1.1
25	37.517	141.465	48	2009/02/17 09:12	2015/08/05 20:56	6	4.9	3 ~ 4	1.3	0.2	3.1	55.2	84.9
26	37.066	141.162	53	1929/06/24 11:04	2014/06/16 05:14	12	5.7	3 ~ 5-	7.4	2.2	11.2	5.3	28.2
27	37.064	141.179	51	2005/09/11 05:06	2014/02/08 11:34	5	4.8	3 ~ 5-	2.1	0.9	3.3	53.5	85.8
28	36.459	140.580	56	1990/01/01 18:03	2016/01/15 04:28	7	4.4	3 ~ 4	4.3	2.8	5.4	2.3	45.2
29	36.453	140.615	56	1990/10/06 23:33	2015/08/06 18:22	5	5.1	4 ~ 4	6.3	4.4	8.5	1.4	20.6
30	36.449	140.614	58	1990/05/03 16:45	2016/07/27 23:47	4	5.3	4 ~ 5-	8.8	8.4	9.0	0.0	0.9
31	36.436	140.693	52	1991/12/12 11:27	2015/11/22 08:20	9	4.7	3 ~ 4	3.0	0.5	5.7	33.5	75.4
32	36.427	140.648	54	2003/02/14 10:54	2017/01/18 17:19	4	4.2	3 ~ 4	4.7	3.3	6.6	0.3	17.1
33	36.174	139.815	57	1992/04/14 12:03	2011/04/19 23:10	3	4.9	4 ~ 4	9.5	9.1	9.9	9.2	34.9
34	36.138	140.091	68	1989/05/09 02:51	2011/08/15 15:26	4	4.8	3 ~ 4	7.4	6.5	9.1	19.7	58.7
35	36.135	140.023	49	2006/07/06 15:17	2014/09/28 15:09	5	4.1	3 ~ 4	2.1	0.1	3.8	28.7	56.5
36	36.128	139.846	52	1996/08/16 01:03	2014/04/18 07:53	3	4.8	3 ~ 4	8.9	8.7	9.0	1.6	12.3
37	36.088	139.879	55	1989/04/12 04:41	2003/03/13 12:12	3	4.7	3 ~ 4	6.9	3.6	10.3	17.4	41.7
38	36.083	139.894	50	1991/10/19 08:31	2016/08/27 22:46	4	4.2	3 ~ 4	8.3	1.0	17.6	9.9	34.8
39	36.082	139.864	50	1992/04/23 01:21	2010/10/24 13:50	3	4.4	3 ~ 3	9.3	9.0	9.5	12.3	41.6
40	36.057	139.898	49	1994/11/04 19:06	2013/02/01 01:04	3	4.5	3 ~ 3	9.1	5.7	12.5	7.3	29.0
41	36.056	139.917	48	1990/04/09 00:52	2016/02/07 19:26	3	4.6	3 ~ 4	12.9	7.5	18.4	0.3	2.9
42	36.045	139.948	49	1992/08/27 13:09	2016/07/17 13:24	3	5.0	3 ~ 4	12.0	10.8	13.1	0.0	0.6
43	36.031	139.894	48	1989/02/19 21:27	2016/05/16 21:23	3	5.5	4 ~ 5-	13.6	11.3	16.0	0.1	0.6
44	35.921	140.453	56	1989/04/26 02:18	2012/08/20 20:42	4	5.2	3 ~ 4	7.8	1.4	11.7	16.1	40.8
45	35.889	140.509	39	1989/03/11 16:12	2015/01/26 07:20	3	5.0	3 ~ 5-	12.9	4.5	21.4	3.5	14.8
46	35.818	141.158	38	1991/08/06 23:49	2011/05/20 09:46	3	5.7	3 ~ 4	9.9	9.3	10.5	7.6	30.7
47	35.713	140.644	52	1989/03/06 23:39	2012/04/29 19:28	3	6.0	5 ~ 5+	11.6	7.1	16.1	5.1	20.4
48	35.626	140.021	76	1991/11/19 17:24	2012/11/24 17:59	3	4.8	4 ~ 4	10.5	6.2	14.8	5.7	22.9
49	27.287	128.435	47	1968/12/08 18:08	2013/03/06 05:32	8	5.1	2 ~ 4	6.3	5.4	7.5	13.6	63.5
50	24.920	125.307	41	1990/09/10 19:08	2015/03/06 08:59	12	4.4	1 ~ 3	2.2	1.2	3.6	74.1	98.8
51	24.840	125.309	42	1966/07/11 07:04	2014/09/18 08:18	9	5.1	2 ~ 4	6.0	5.0	7.0	1.4	32.7
52	24.169	125.297	41	1966/07/11 01:12	2009/08/05 09:17	3	6.2	3 ~ 4	21.5	18.9	24.0	0.7	3.3



第 2 図 中規模相似地震活動経過図

Fig.2 Time diagrams of repeating earthquakes for the period from October, 1988 to January, 2017. The red vertical line indicates the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. The red marks and horizontal lines denote the newly added events or sequence in this report.