

10 - 5 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2023)

Probability of moderate repeating earthquakes within one and three years from 1 January 2023

気象庁気象研究所

Meteorological Research Institute, JMA

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。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。気象研究所は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¹⁾、その後も相関係数とコヒーレンスを用いて調査を継続している²⁾。前回報告した期間²⁾以降（2022年1月から2022年12月末まで）の発生状況を報告する。そして、ここで整理した地震系列について、岡田・他（2007）⁴⁾のベイズ統計対数正規分布モデルを使い、2023年1月1日を予測日として、今後1年及び3年以内の発生確率予測を行っている。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。平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震によりイベント間隔が不均等な系列（No.18, 20, 22, 26, 28）については、平均強度関数を冪関数とし、時間変換後のイベント間隔が逆ガウス分布に従う非定常更新過程モデル⁵⁾を使い、2023年1月1日を予測日として、今後1年及び3年以内の発生確率予測を行った。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。

今期間（2022年1月～2022年12月）に発生したものを含めて、地震が3個以上の地震系列は56系列ある（第1表）。各系列の地震発生状況を第1図に示す。この56系列のうち、今期間は16系列で新たに発生した（第1表と第1図のNo. 2, 6, 7, 10, 12, 13, 20, 21, 26, 28, 29, 30, 37, 41, 44, 54, 第2図の□印）。なお、今期間に発生して3個以上となった系列はない。第1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^{6) 7)}。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。

2023年1月1日時点のベイズ統計対数正規分布モデルによる発生確率予測で、今後1年以内の発生確率が50%以上の地震系列は、釧路沖（No.1, 平均M4.4, 平均発生間隔4.5年）、岩手県沖（No.21, M4.1, 1.4年）、福島県沖（No.26, M4.9, 1.2年）と茨城県北部（No.33, M4.8, 3.2年）の4系列ある（第1表, 第2図）。また、非定常更新過程モデルによる発生確率予測で、今後1年以内の発生確率が50%以上の地震系列は、岩手県沖（No.22, M4.9, 1.8年）と福島県沖（No.26）の2系列ある（第3図）。前回提出の資料³⁾で、2022年1月1日時点のベイズ統計対数正規分布モデルによる発生確率予測を56系列について行っており、1年予測の予測期間は終了している。平均対数尤度とBrierスコアの指標⁸⁾による1年予測の成績は、平均対数尤度は-0.525, Brierスコアは0.167であった。系列数の少ない状況での結果ではあるが、指数分布モデルで予測した成績（平均対数尤度-0.518, Brierスコア0.173）と比べると、Brierスコアでは良く、平均対数尤度では劣る。予測期間内に発生した系列で予測確率50%以上は2系列（No.29, 54）、平均対数尤度とBrierスコア共に非常に悪い成績は12系列（No.6, 7, 10, 12, 13, 20, 21, 26, 28, 30, 37, 41）あった。

謝辞

本資料は、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、公益財団法人地震予知総合研究振興会、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る。また、2016年熊本地震合同観測グループのオンライン臨時観測点（河原、熊野座）、2022年能登半島における合同地震観測グループによるオンライン臨時観測点（よしが浦温泉、飯田小学校）、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る。非定常更新過程モデルの発生確率計算に早稲田大学の野村俊一先生提供のソースコードを使用させて頂きました。本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20K11722 の助成を受けて行いました。

（田中昌之）

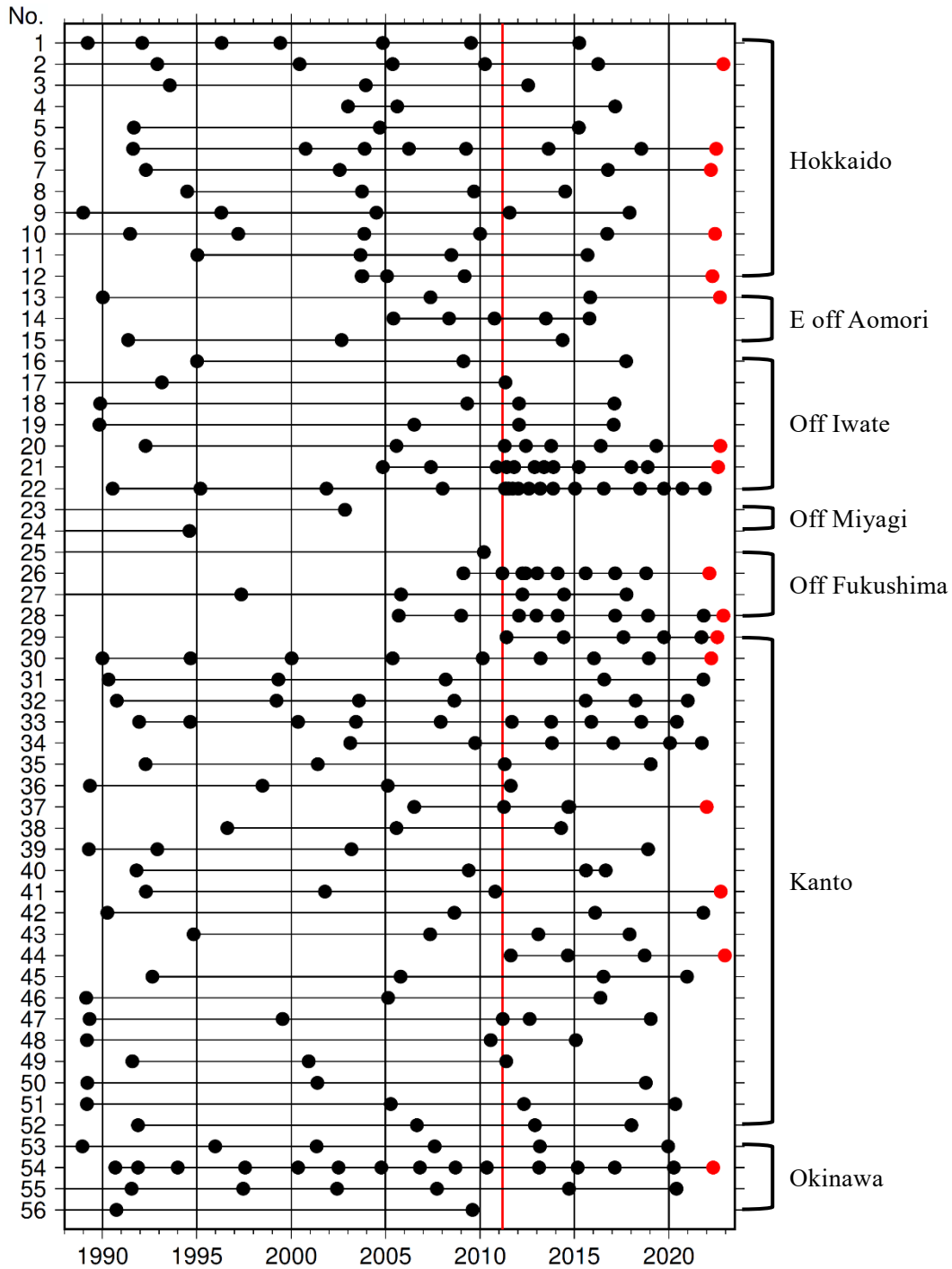
参考文献

- 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(2017)，*連絡会報*，**98**，437-442，2017.
- 3) 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(2022)，*連絡会報*，**108**，608-612，2022.
- 4) 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.
- 5) 野村俊一・田中昌之，余震誘発効果を考慮した繰り返し地震の予測，*統計数理*，**69(2)**，239-543，2021.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 田中昌之・他，繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証，*地震* **2**，**70**，195-213，2018.

第 1 表 中規模相似地震系列リスト

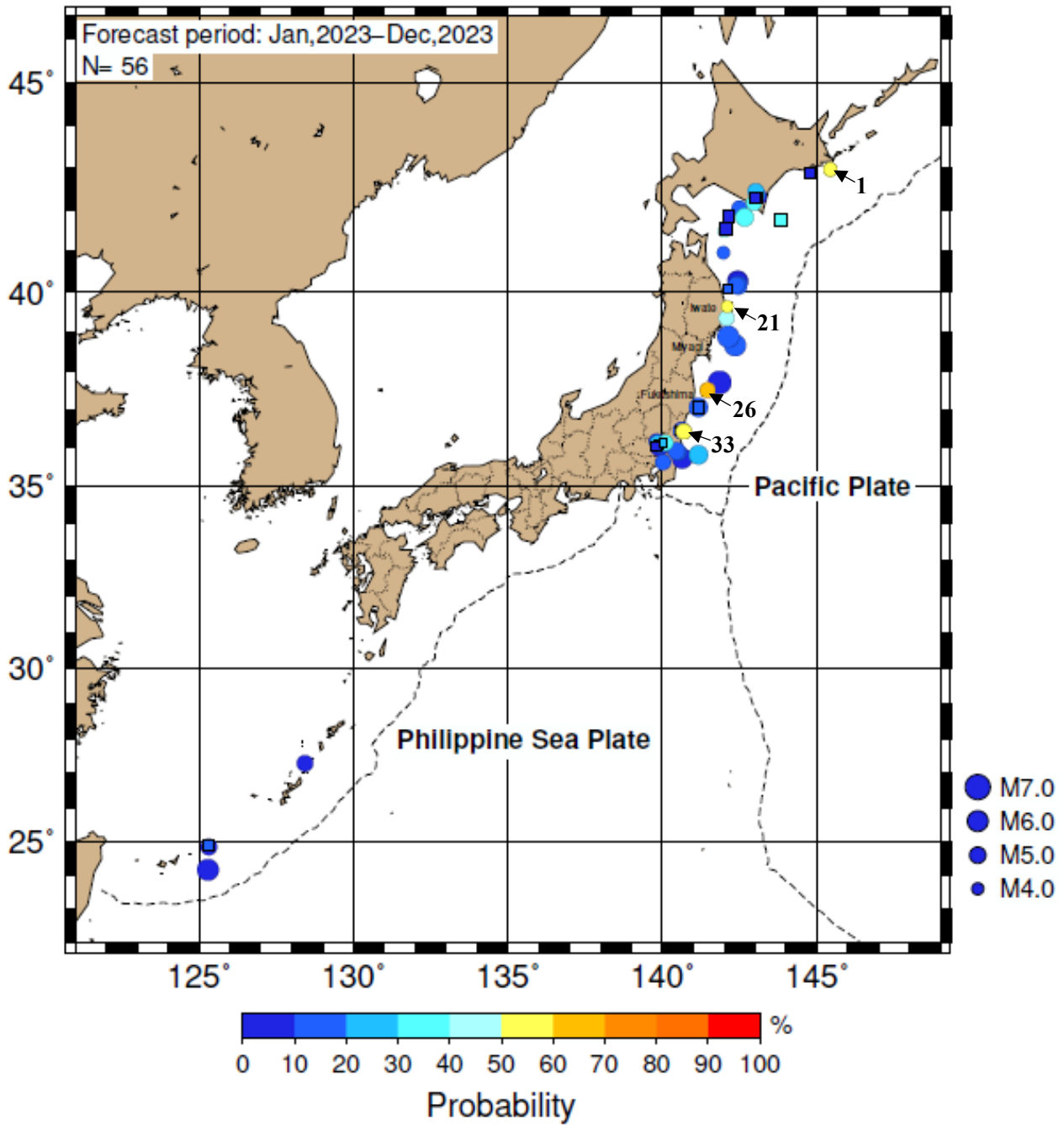
Table 1 List of the moderate repeating earthquake sequence and probabilities of the event occurrence within one year and three years from 1 January 2023 calculated with the lognormal distribution model with Bayesian approach. Seismic intensity is the JMA seismic intensity scale. For series where the earthquake occurred in 2022, No., Last event, and Probability of 1-year forecast for 2022/1/1 are shown in red text.

No.	Latitude	Longitude	Depth (km)	First event	Last event	Repeat count	Mean magnitude	Maximum seismic intensity	Interval (year)			Probability (%)		
									Ave.	Short.	Long.	1year	3year	1year
1	42.974	145.435	47	1979/05/11 06:02	2015/04/06 13:58	9	4.4	2 ~ 3	4.5	2.9	5.7	52.5	87.2	54.9
2	42.890	144.762	57	1954/09/17 20:52	2022/11/20 18:17	12	4.9	2 ~ 4	5.9	4.6	7.5	0.0	0.4	45.2
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	23.1	57.8	20.0
4	42.349	143.049	52	2003/01/07 03:27	2017/02/27 18:10	3	4.7	3 ~ 3	7.1	2.6	11.5	20.3	48.6	19.8
5	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	9.0	31.2	6.3
6	42.309	142.992	56	1991/08/16 23:16	2022/07/05 17:52	8	4.8	3 ~ 4	4.1	2.0	9.1	1.7	36.7	35.1
7	42.305	143.060	55	1992/04/20 05:36	2022/03/27 08:15	4	5.0	3 ~ 4	9.3	3.5	14.2	0.3	3.5	2.9
8	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	32.2	67.6	32.0
9	42.044	142.484	68	1973/08/18 11:08	2017/12/02 05:48	7	4.9	3 ~ 3	7.4	6.4	8.6	16.2	61.4	6.6
10	41.853	142.161	69	1957/01/06 14:15	2022/06/10 11:14	13	4.8	2 ~ 3	5.1	2.9	7.5	0.1	11.5	40.8
11	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	31.3	68.4	28.4
12	41.767	143.810	38	2003/09/26 05:10	2022/04/24 17:16	5	5.5	3 ~ 3	4.1	0.0	11.1	30.9	56.2	7.2
13	41.567	142.064	62	1990/01/07 22:28	2022/09/13 09:51	4	5.2	3 ~ 4	10.3	4.9	17.4	0.1	1.7	5.4
14	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	48.1	81.5	54.6
15	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	12.0	37.8	9.1
16	40.266	142.433	36	1995/01/07 11:36	2017/09/27 05:22	3	6.1	3 ~ 4	11.4	8.6	14.1	4.6	19.9	2.7
17	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	6.4	22.6	4.8
18	40.165	142.385	36	1989/11/21 13:47	2017/02/12 22:36	4	5.0	3 ~ 3	9.1	2.8	19.4	15.9	40.6	15.3
19	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	15.8	43.3	13.3
20	40.073	142.116	48	1992/04/17 09:43	2022/09/20 09:06	8	4.4	3 ~ 4	4.1	1.1	13.3	11.0	52.3	28.6
21	39.634	142.105	48	2004/11/05 13:45	2022/08/08 09:46	12	4.1	3 ~ 3	1.4	0.4	3.5	55.1	90.3	49.9
22	39.338	142.072	49	1990/07/16 21:35	2021/11/24 17:06	18	4.9	3 ~ 4	1.8	0.1	6.7	43.8	74.9	32.0
23	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	19.7	48.2	19.6
24	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	16.4	40.6	17.0
25	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	2.3	8.9	1.7
26	37.512	141.455	48	2009/02/17 09:12	2022/02/26 08:32	10	4.9	3 ~ 4	1.2	0.2	2.1	60.2	90.8	32.6
27	37.067	141.162	53	1929/06/24 11:04	2017/10/06 23:56	13	5.7	3 ~ 5-	7.1	2.2	11.2	19.8	52.8	15.9
28	37.065	141.183	50	2005/09/11 05:06	2022/11/21 05:19	9	4.8	3 ~ 5-	1.9	0.0	3.3	14.7	83.2	12.3
29	36.459	140.606	56	2011/05/28 11:13	2022/07/29 08:03	6	4.2	3 ~ 3	1.9	0.0	3.2	22.5	85.8	57.4
30	36.458	140.580	56	1990/01/01 18:03	2022/04/02 16:27	9	4.4	3 ~ 4	3.8	1.3	5.4	1.1	45.1	39.2
31	36.451	140.614	58	1990/05/03 16:45	2021/11/01 06:14	5	5.3	4 ~ 5-	7.6	4.3	9.0	0.2	4.5	0.0
32	36.451	140.616	56	1990/10/06 23:33	2020/12/30 09:35	7	5.1	4 ~ 4	5.1	2.6	8.5	13.7	55.8	25.8
33	36.435	140.693	52	1991/12/12 11:27	2020/06/04 05:31	10	4.8	3 ~ 4	3.2	1.9	5.7	52.0	91.5	31.7
34	36.428	140.648	54	2003/02/14 10:54	2021/09/29 12:26	6	4.2	3 ~ 4	3.5	0.7	6.6	16.9	68.5	2.5
35	36.171	139.814	56	1992/04/14 12:03	2019/01/14 13:23	4	4.9	4 ~ 4	8.9	7.7	9.9	3.3	21.4	1.2
36	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	31.4	65.6	32.5
37	36.137	140.023	49	2006/07/06 15:17	2022/01/05 21:34	5	3.9	3 ~ 3	3.4	0.1	5.3	27.9	54.3	11.5
38	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	23.4	57.6	20.5
39	36.084	139.875	52	1989/04/12 04:41	2018/11/27 08:33	4	4.8	3 ~ 4	9.9	3.6	15.7	9.2	30.4	6.4
40	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	14.4	35.6	15.1
41	36.081	139.864	49	1992/04/23 01:21	2022/09/30 14:58	4	4.4	3 ~ 4	9.5	9.0	9.9	0.0	0.4	24.8
42	36.058	139.915	47	1990/04/09 00:52	2021/10/28 09:55	4	4.6	3 ~ 4	10.2	4.7	18.4	0.8	7.0	0.2
43	36.056	139.896	47	1994/11/04 19:06	2017/12/02 00:12	4	4.5	3 ~ 4	7.7	4.8	12.5	17.8	50.5	13.1
44	36.051	139.797	78	2011/08/17 09:23	2022/12/16 09:25	4	4.3	3 ~ 4	3.1	2.2	4.1	0.3	26.9	48.0
45	36.048	139.945	48	1992/08/27 13:09	2020/12/17 16:42	4	4.9	3 ~ 4	9.4	4.4	13.1	2.2	13.9	3.3
46	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	3.7	15.5	2.4
47	35.921	140.449	56	1989/04/26 02:18	2019/01/18 21:46	5	5.2	3 ~ 4	7.4	1.4	11.7	16.3	42.6	14.5
48	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	10.9	30.0	10.3
49	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	23.2	54.8	22.4
50	35.746	140.693	50	1989/03/18 01:37	2018/10/12 13:15	3	5.2	3 ~ 4	14.8	12.2	17.4	0.8	4.4	0.4
51	35.718	140.635	51	1989/03/06 23:39	2020/05/04 22:07	4	5.9	4 ~ 5+	10.4	7.1	16.1	1.6	10.6	0.6
52	35.631	140.022	75	1991/11/19 17:24	2018/01/06 00:54	4	4.8	4 ~ 4	8.7	5.1	14.8	13.5	41.6	9.7
53	27.289	128.434	47	1968/12/08 18:08	2019/12/18 08:35	9	5.1	2 ~ 4	6.4	5.4	7.5	3.6	42.0	0.4
54	24.898	125.322	42	1990/09/10 19:08	2022/05/04 12:53	15	4.4	1 ~ 3	2.1	0.1	3.6	17.9	95.3	69.9
55	24.841	125.319	43	1966/07/11 07:04	2020/05/27 18:19	10	5.1	2 ~ 4	6.0	5.0	7.0	2.0	39.5	0.1
56	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	4.1	14.0	3.3



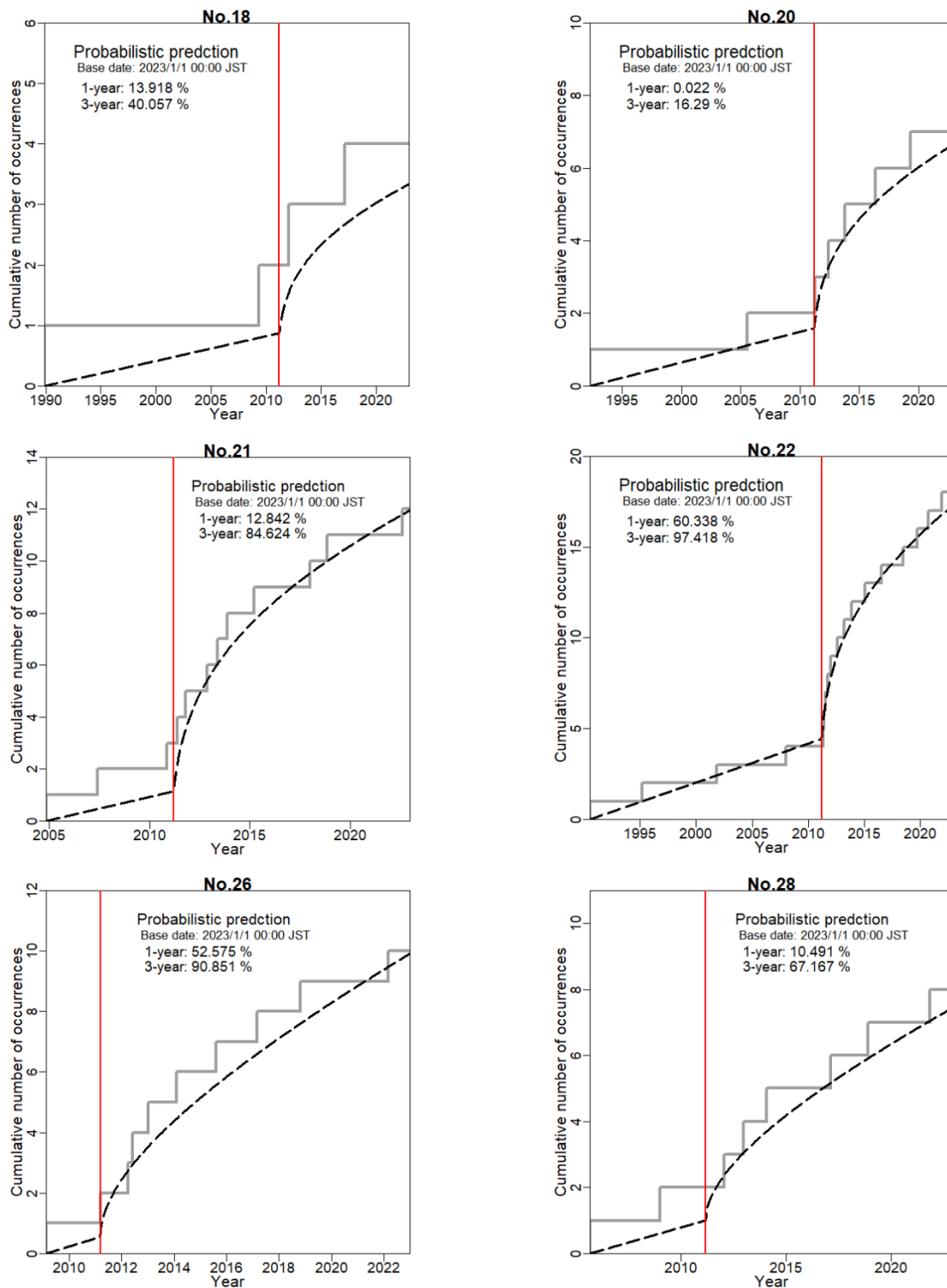
第 1 図 中規模相似地震活動経過図（～ 2022 年 12 月末）

Fig. 1 Time diagrams of repeating earthquakes for the period from October 1988 to December 2022. 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.



第 2 図 ベイズ統計対数正規分布モデルによる 2022 年 1 月から 1 年以内の発生確率

Fig. 2 Probability of moderate repeating earthquakes for the period from January 2023 to December 2023 by the lognormal distribution model with Bayesian approach. The circles and square marks indicate the epicenter of the repeated earthquake, the color of the mark indicates the occurrence probability of the next earthquake, and the size indicates the average of the earthquake's magnitude. Square marks indicate that an earthquake occurred between January 2022 and December 2022.



第 3 図 非定常更新過程モデルによる 2023 年 1 月から 1 年以内の発生確率

Fig. 3 Probability of moderate repeating earthquakes for the period from January 2023 to December 2023 by the nonstationary renewal process model that incorporates the aftershock-triggering effect of nearby large earthquakes as a relative change in the loading rate. The red vertical line indicates the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.