

## 11-2 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2015)

### Probability of moderate repeating earthquakes within one and three years from 1 April, 2015

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、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<sup>1)</sup>。その後も調査を継続しており、新たに発生した地震を追加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)<sup>2)</sup> のベイズ統計対数正規分布モデルを使い、予測日を 2015 年 4 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は、気象研究所技術報告(2014)<sup>1)</sup> に従い、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： $\log f_{lower} = \log a - bM$  ( $a=22.4$ ,  $b=0.86$ ,  $M$  はマグニチュード)

周波数帯域の上限： $f_{upper} = 4f_{lower}$

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 点以上となるときは相似地震であるとした。気象研究所技術報告 (2014)<sup>1)</sup> では、相似地震の抽出方法として 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、1999 年 3 月までは、収集条件によっては波形データが未収録の場合もあり、相似地震の検出に漏れがある可能性がある。

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)<sup>1)</sup> 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 ( $\mu$ ) と平均分散 ( $\sigma^2$ ) 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、事前分布の  $\mu$  は一様 (無情報事前分布) と仮定し、 $\sigma^2$  ( $>0$ ) は逆ガンマ分布を用い、形状 ( $\phi$ ) と尺度 ( $\zeta$ ) のパラメータ値は、岡田・他 (2007)<sup>2)</sup> 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

上記の方法により抽出した相似地震のうち、1 系列で 3 個以上発生した系列は 44 であった (第 1 図, 第 1 表)。各系列の地震発生状況を第 2 図に示す。この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<sup>3) 4)</sup>。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、44 系列のうち 1 年確率 50%以上の系列が、釧路沖 (No.1, 平均 M4.4, 平均発生間隔 0.8 年), 岩手県沖 (No.17, M5.1, 0.8 年), 福島県沖 (No.22, M4.9, 0.6 年と No.24, M4.8, 2.1 年) の計 4 系列あり、釧路沖以外については、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。

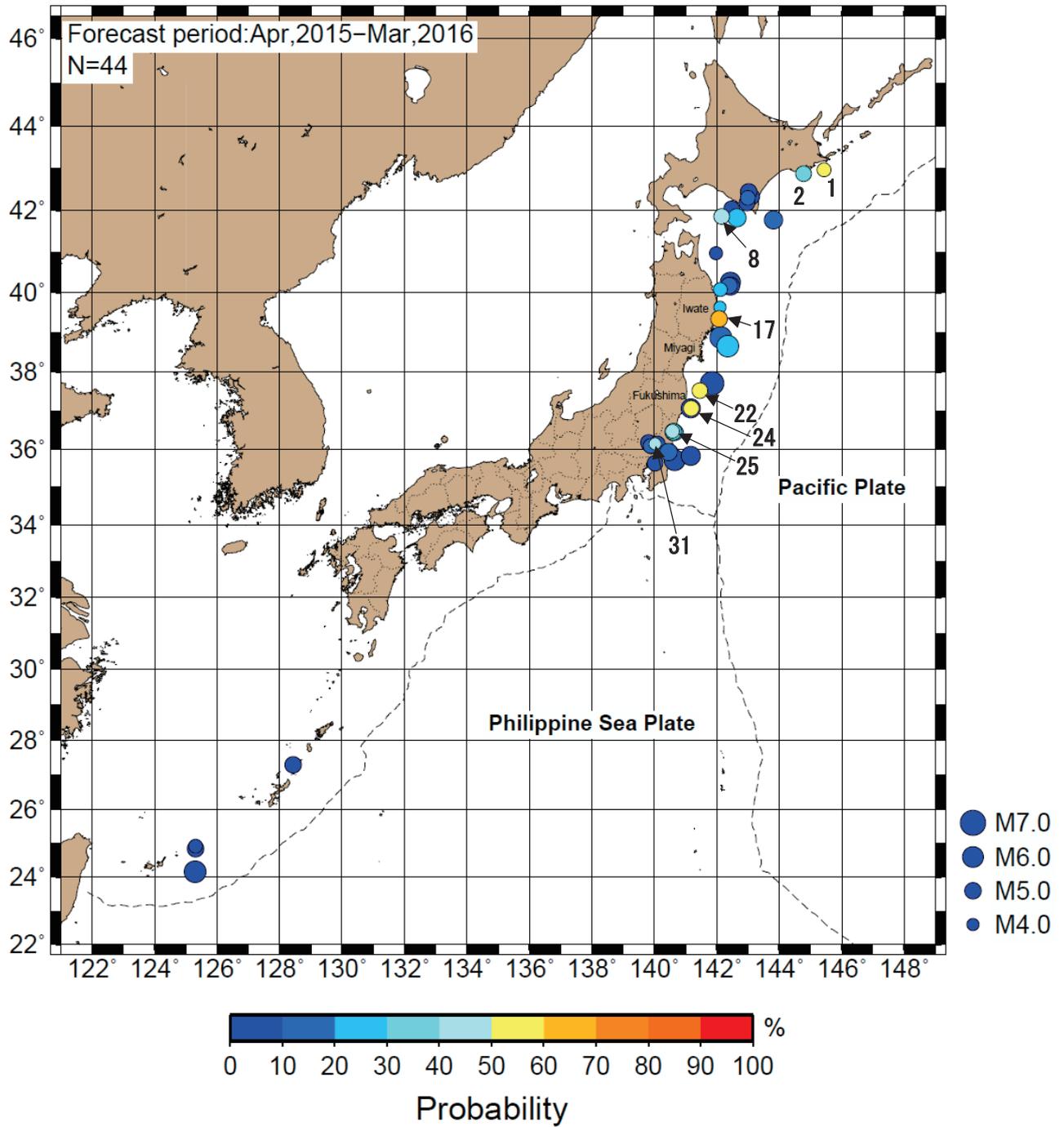
#### ・謝辞

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、静岡県及び神奈川県温泉地学研究所、気象庁の地震波形及びそのデータを利用して気象庁・文部科学省が協力してデータ処理した結果を使用しました。

(田中昌之・岡田正実)

#### 参 考 文 献

- 1) 気象研究所, 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, 2014.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.



※図中の番号は1年確率40%以上のもので第1表のNo. に対応

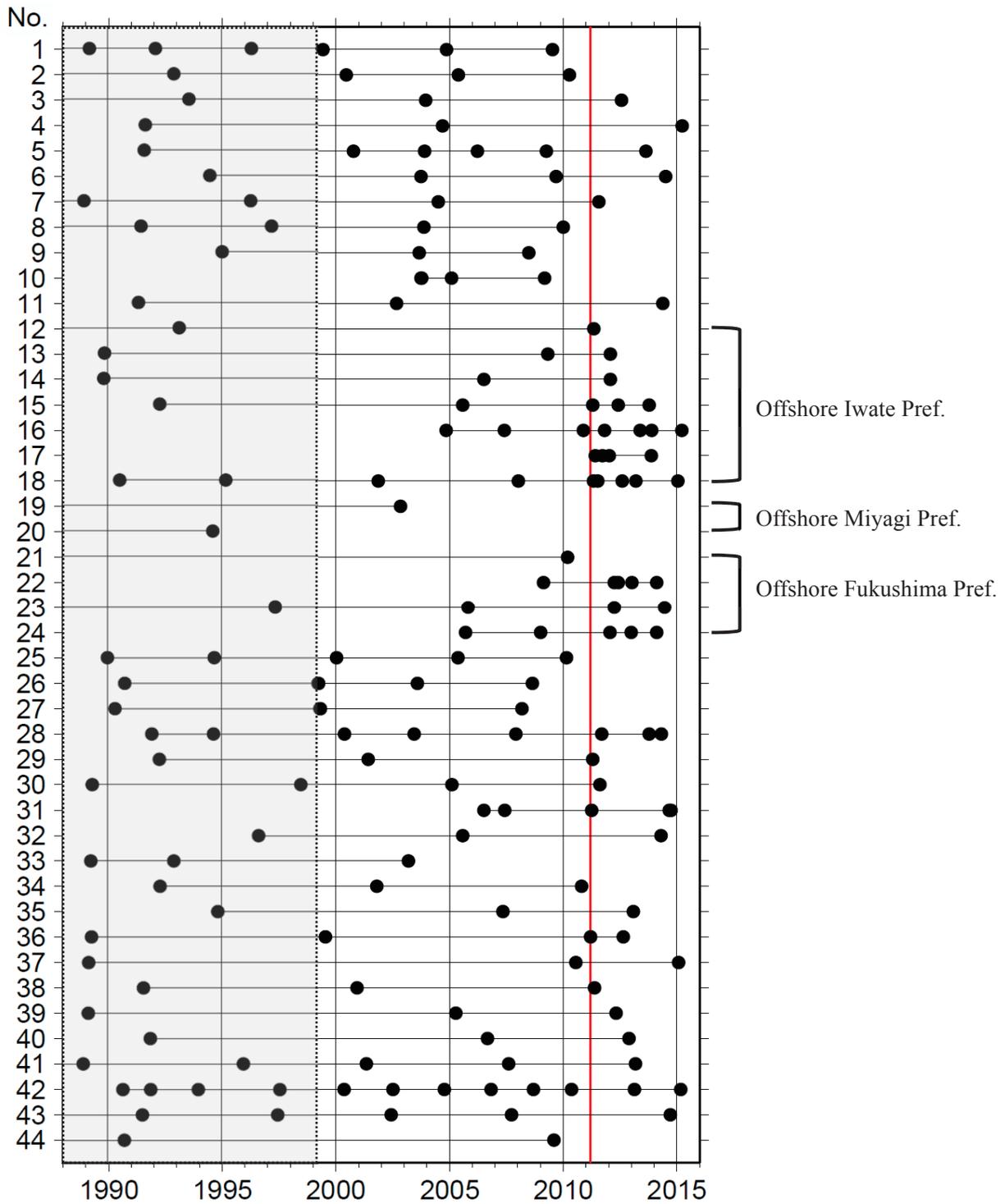
第1図 2015年度内の発生確率

Fig.1 Probability of moderate repeating earthquakes for the period from April, 2015 to March, 2016 by the LN-Bayes model. The circles denote the locations of the sequences, the color indicates the probability, and the size indicates the mean magnitude.

第 1 表 相似地震系列リスト

Table 1 List of the moderate repeating earthquakes sequence and probabilities for event within one year and three years from 1 April 2015 calculated with a Bayesian model. Seismic intensity is the JMA seismic intensity scale. Probability is calculated with LN-Bayes model.

No.	Latitude	Longitude	Depth (km)	First event	Last event	events	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	56.6	90.6
2	42.885	144.771	57	1954/09/17 20:52	2010/04/09 03:41	10	4.9	2 ~ 4	6.1	4.9	7.5	33.1	82.7
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	0.3	3.4
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	0.0	0.4
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	16.8	62.4
6	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	0.4	8.8
7	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	3.9	31.6
8	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	41.8	82.6
9	41.828	142.647	56	1995/01/11 16:48	2008/06/26 08:37	3	5.4	3 ~ 4	6.7	4.8	8.6	27.8	63.0
10	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	13.7	32.4
11	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	0.1	0.9
12	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	0.1	0.9
13	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	10.3	30.5
14	40.160	142.436	37	1989/11/06 17:56	2012/01/28 09:22	3	5.5	3 ~ 4	11.2	5.6	16.7	4.2	18.0
15	40.073	142.119	48	1992/04/17 09:43	2013/10/10 07:46	5	4.4	3 ~ 4	5.4	1.1	13.3	23.1	55.4
16	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	28.5	88.7
17	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	67.2	90.7
18	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	32.2	68.7
19	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	11.2	34.8
20	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	20.2	48.4
21	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	0.1	0.5
22	37.517	141.464	48	2009/02/17 09:12	2014/02/08 02:18	5	4.9	3 ~ 4	1.3	0.2	3.1	58.8	86.5
23	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	0.3	8.2
24	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	52.8	90.4
25	36.463	140.580	57	1990/01/01 18:03	2010/02/22 18:52	5	4.4	3 ~ 3	5.1	4.7	5.4	48.2	87.7
26	36.456	140.613	56	1990/10/06 23:33	2008/08/22 19:59	4	5.1	4 ~ 4	6.0	4.4	8.5	34.7	71.8
27	36.448	140.615	58	1990/05/03 16:45	2008/03/08 01:54	3	5.3	4 ~ 4	8.9	8.9	9.0	17.5	50.5
28	36.437	140.693	52	1991/12/12 11:27	2014/04/25 08:43	8	4.7	3 ~ 4	3.2	0.5	5.7	27.1	70.2
29	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	3.2	18.0
30	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	6.7	36.0
31	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	46.1	74.6
32	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	0.2	2.7
33	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	19.4	45.6
34	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	4.9	24.4
35	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	2.3	14.1
36	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	14.3	39.4
37	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	0.8	6.5
38	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	2.6	15.0
39	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	2.0	10.6
40	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	2.0	11.4
41	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	0.7	20.4
42	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	1.9	87.1
43	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	0.0	2.2
44	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	0.3	1.6



※左の番号は第1表のNo. に対応

※赤い縦線は平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生時

※灰色の網掛け(1999年3月まで)は、収集条件によっては波形データが未収録の場合もあり、相似地震の検出に漏れがある可能性のある期間

第2図 相似地震活動経過図

Fig.2 Time diagrams of repeating earthquakes for the period from October, 1988 to March, 2015.