

東北地方太平洋沖地震後に宮城県沖に誘発された 繰り返し地震活動(第2報)

(公財) 地震予知総合研究振興会 津村建四朗

1 まえがき

2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「東北地方沖地震」と略記する)後に宮城県沖に極めて特徴的な繰り返し地震活動が誘発された。この活動は、宮城県南三陸町の東方約30kmの直径約1km、深さ約46-49kmの極めて小範囲で発生している繰り返し地震で、東北地方沖地震後に活発化し、次第に発生間隔が長くなり、Mが小さくなりながら続き、2018年末までの発生回数は44回に達していた。前報(津村, 2019)では、この活動の特徴と、繰り返しの規則性から簡単なルールで中期的予測を試みた結果について報告した。また、周辺には、これ以外にも、いろいろな特徴の繰り返し地震が散在していることも報告した。

今回は、前報で詳しく調べた繰り返し地震活動と、類似の特徴を持つ別の繰り返し地震活動について、その後約1年間のデータも追加して、それらの特徴と簡単なルールで中期的予測を試みた結果を報告する。

2 対象とした繰り返し地震活動とその特徴

図1は、宮城県沖の1998年1月~2020年2月の宮城県沖の深さ30-60km、 $M \geq 2.0$ の地震の震央分布図に、前報(津村, 2019)で対象とした範囲を示したものである。図2は、この範囲について、3つの期間、(A)1998年~2011年3月10日(東北地方沖地震前)、(B)2011年3月11日~2018年12月(東北地方沖地震後、一昨年末まで)、(C)2019年1月~2020年2月(最近14カ月間)の震央分布図について、繰り返し地震活動が認められる区域を調べ、それらに記号を付したものである。今回、対象としたのは、これらの図で、E1とW2という記号を付けた2つの区域の活動である。区域E1は、昨年詳しく調べた活動で、北緯 $38^{\circ} 38'$ 、東経 $141^{\circ} 54'$ 付近のもので、区域W2は、その南西約20kmの北緯 $38^{\circ} 32'$ 、東経 $141^{\circ} 43'$ 付近のものである。

図3と図4は、区域E1と区域W2についての地震活動解析図であって、それぞれ、(A)震央分布図(解析範囲を示す)、(B)時空間分布図、(C)D-T図(震源の深さの時間変化図)、(D)M-T図、(E)積算地震回数図、(F)積算エネルギー図を示した。

区域E1の時空間分布図では、時間的な変化が認められるが、1km以内の変化であって、真の変化なのか、何等かのデータ処理上の原因によるのか、さらに詳しい検討が必要であろう。深さ変化図では、区域E1、W2とも、全期間を通じて極めて狭い深さ範囲で発生していることが分かる。M-T図では、区域E1とW2で顕著な違いが認められる。区域E1では、東北地方沖地震以前にも繰り返し地震が8回発生していて、Mは、3.0-3.2であったが、同地震直後には、M3.8-4.2程度と1近く大きくなった後、徐々に小さくなり、最近ではM3.0に近くなってきている。これに対して、区域W2では、東北地方沖地震以前の約10年間の6回は、M3.5-3.6とほぼ一定であったが、同地震後もM3.7-3.8と僅かに大きくなっただけで、最近までほとんど変化していない。積算地震回数の変化は、両者は似ているが、積算エネルギー図では上に述べたMの時間的な変化の違いを反映して、区域E1の方が急速に減衰している。

3 簡単な中期的予測の試行

表1、表2は、区域E1と区域W2の繰り返し地震の震源リストと、東北地方沖地震の発生日からの通算日数、発生間隔、発生時期の簡単な予測の結果をまとめたものである。

図5、図6は、区域E1と区域W2の東北地方沖地震以降の繰り返し地震の(A) M-T図、(B) 繰り返し間隔の変化図および(C) 以下に述べる予測結果のうち「誤差1」の変化図である。

表1、表2の震源データを用いて、前報と同様な考えで、中期的な予測を行った。即ち、

- (1) 発生場所と深さはほとんど変わらないので、次の地震も同じだと考える。
- (2) Mは、区域W2では、変化はほとんどなく、区域E1では、僅かずつ小さくなる傾向があるが、無視して次の地震も同じと考える。
- (3) 発生時期については、発生間隔が少しずつ大きくなっているが、この傾向も無視して、前回からの間隔と同じ間隔で次の地震が発生すると考える(予測1)、あるいは、直前2回の平均間隔で次の地震が発生すると考える。(予測2)

これらについての評価を、

$$\text{予測誤差} = (\text{実際の発生間隔} - \text{予測間隔}) / \text{予測間隔} \quad (\%)$$

の大きさによって、次のように分けて行った。

的中(◎)：±0-10%未満、ほぼ的中(○)：±10-20%未満、やや的中(△)：±20-40%未満、不的中(×)：±40%以上

その結果は、表1、表2に、「評価1」、「評価2」として示した。これについて、簡単な集計を行うと次のようになる。

	区域E1の予測1	区域E1の予測2	区域W2の予測1	区域W2の予測2
	回(%)	回(%)	回(%)	回(%)
的中(◎)	18(40)	15(33)	7(19)	12(33)
ほぼ的中(○)	10(22)	18(40)	7(19)	7(19)
やや的中(△)	12(27)	9(20)	12(33)	9(25)
不的中(×)	5(11)	3(7)	10(28)	8(22)

図5、図6の(C)をみると、マイナス側に40%を超えているものは僅かしかないと分かる。つまり、「予測期間の60%を経過するまでは、次の地震はまず発生しないだろう」という予測はほぼ的中するということになる。

4 結び

宮城県沖の2か所の小区域で発生している顕著な繰り返し地震について、その特徴の違い調べ、繰り返しの規則性に着目して、簡単なルールで、発生時期の予測を試みた結果を報告した。今回、取り上げた活動域の周辺にも、さらに広域にも、いろいろな特性の繰り返し地震が多数分布している。これらについて、本報告のような詳細な調査をすすめることは、一般的な地震活動を理解する上でも有意義だと思われる。

参考文献

津村建四朗, 2019, 東北地方太平洋沖に誘発された繰り返し地震活動, 東濃地震科学研究所報告, Seq. No. 42, 69-78.

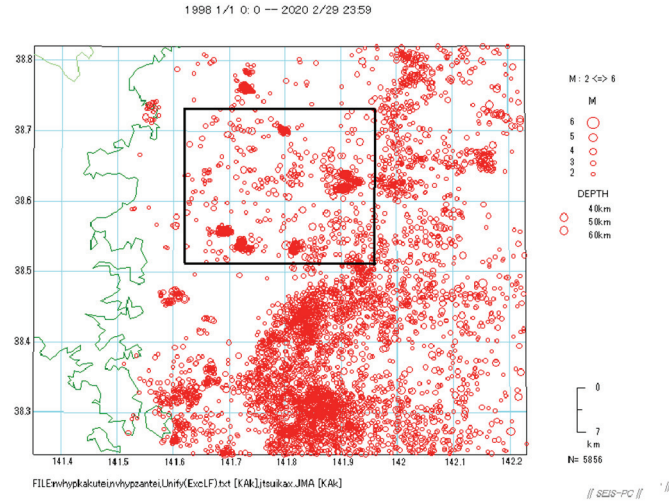


図 1. 宮城県沖の震央分布図と解析範囲

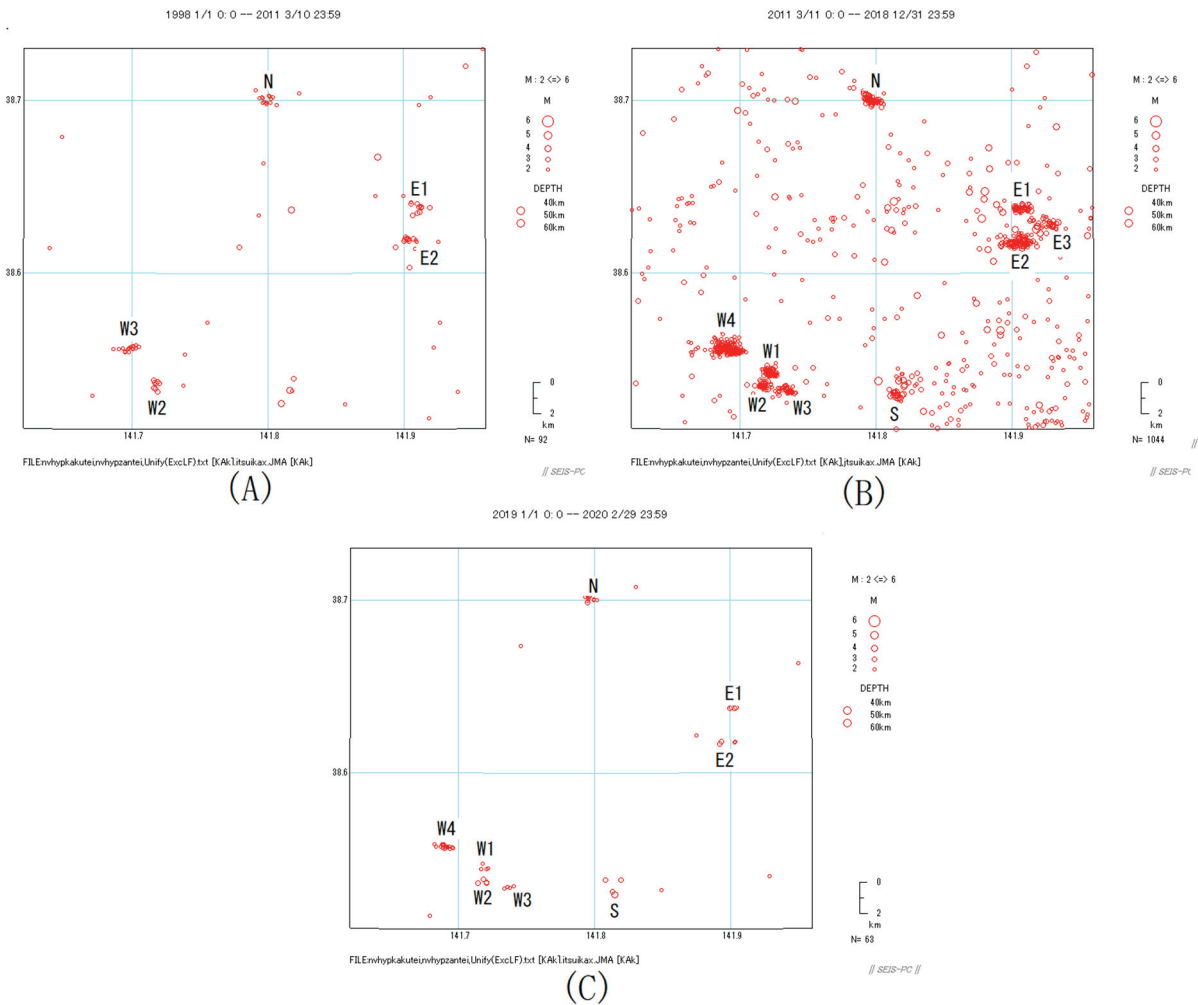
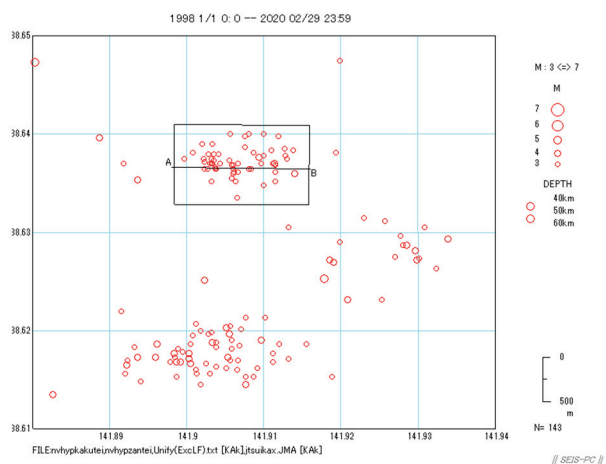
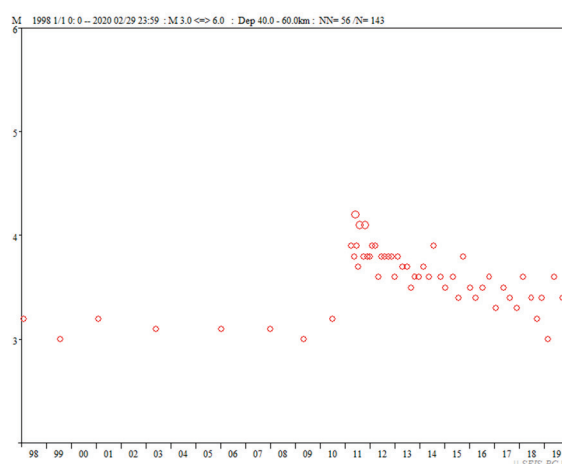


図 2. 調査対象範囲の繰り返し地震活動域
 (A) 1998年1月～2011年3月10日
 (B) 2011年3月11日～2018年12月
 (C) 2019年1月～2020年2月



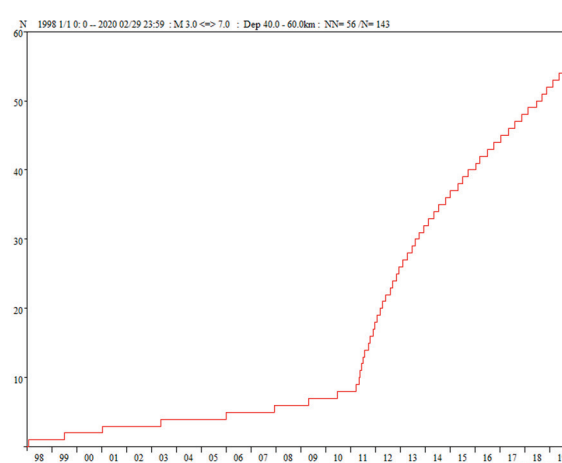
(A) 震央分布図



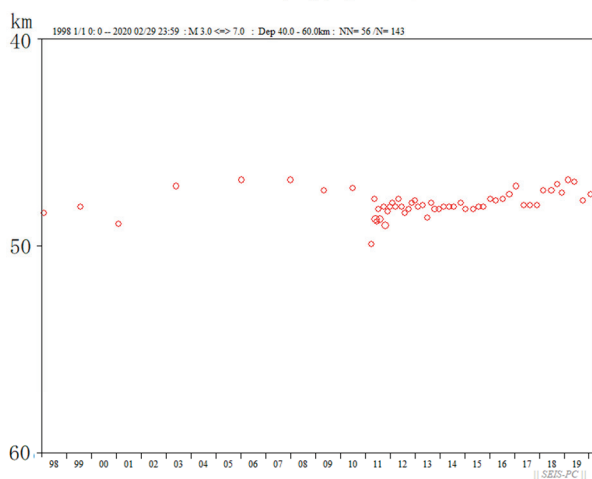
(D) M-T図



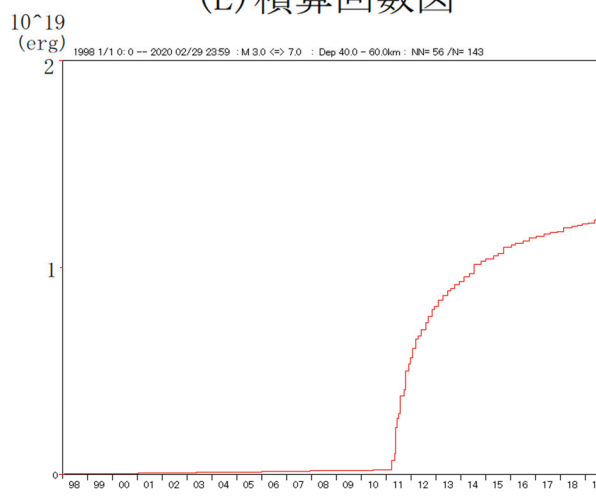
(B) 時空間分布図



(E) 積算回数図

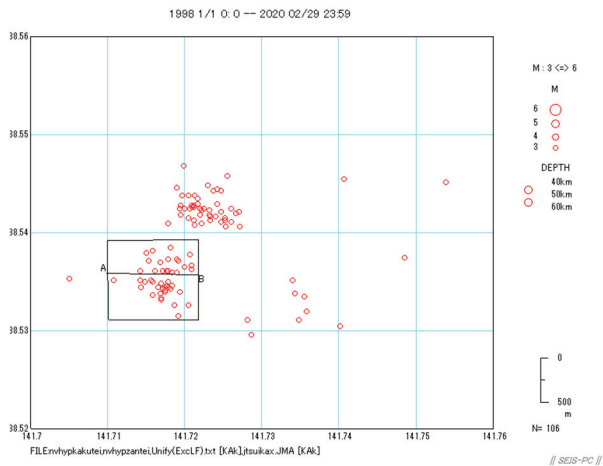


(C) D-T図 (深さ変化図)

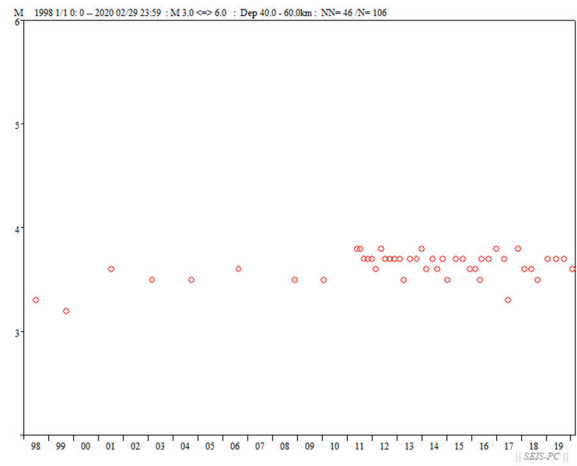


(F) E-T図 (積算エネルギー図)

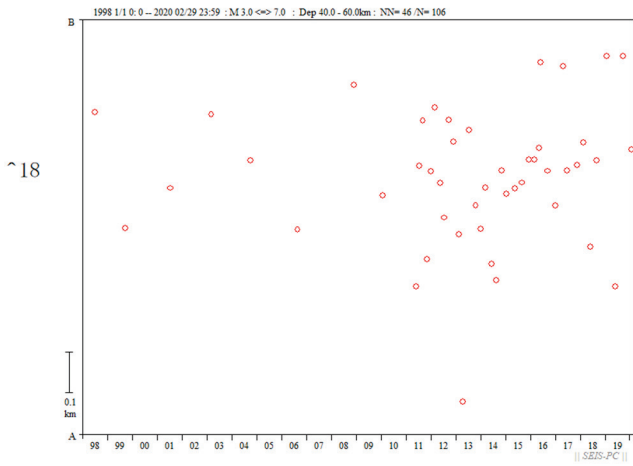
図3. 宮城県沖 (区域E1) の繰り返し地震活動の解析図



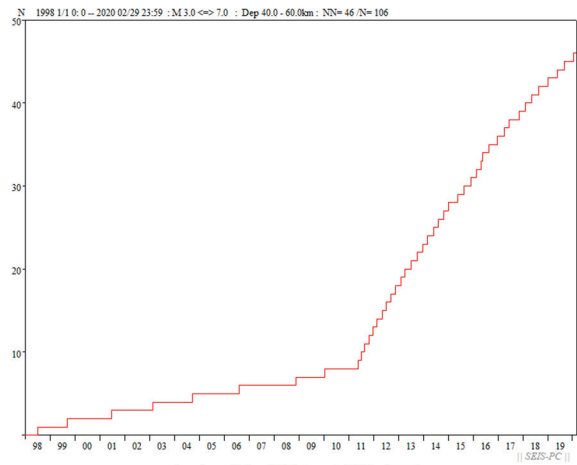
(A) 震央分布図



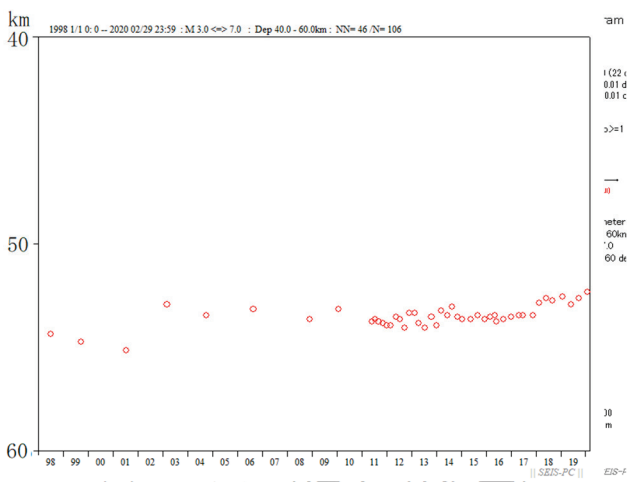
(D) M-T 図



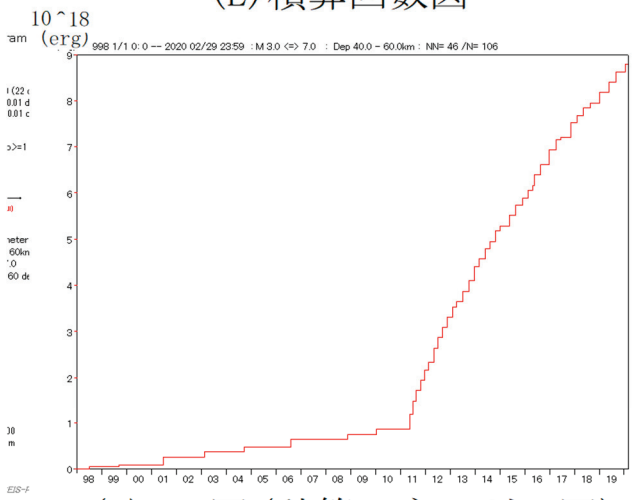
(B) 時空間分布図



(E) 積算回数図

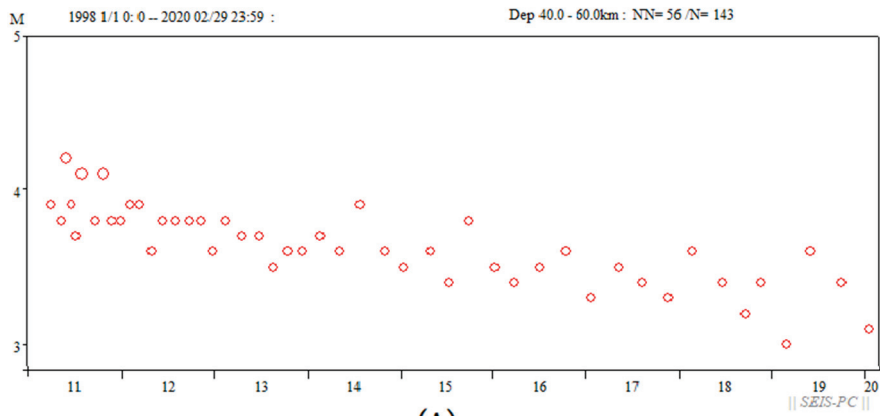


(C) D-T図 (深さ変化図)



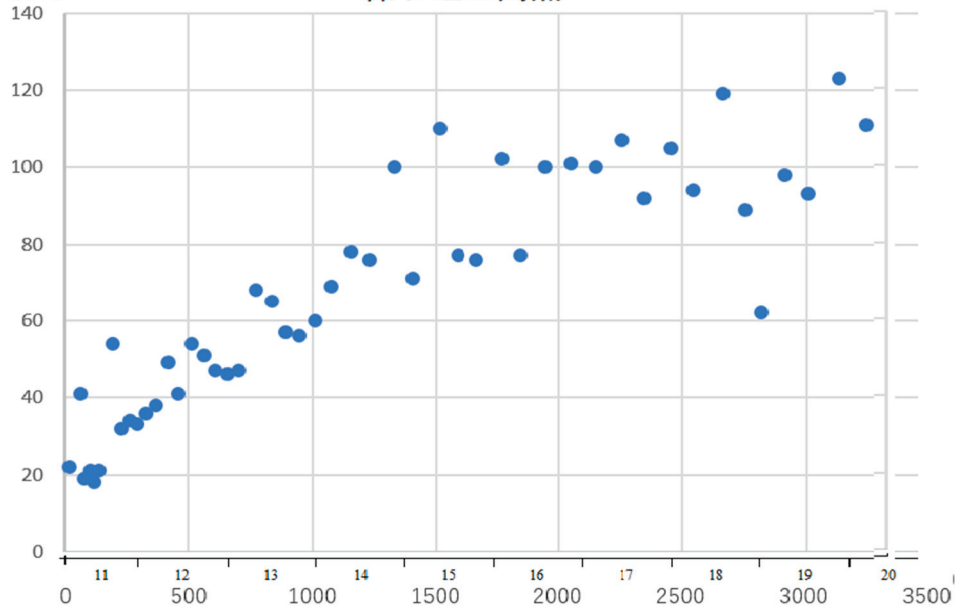
(F) E-T図 (積算エネルギー図)

図4. 宮城県沖 (区域W2) の繰り返し地震活動の解析図

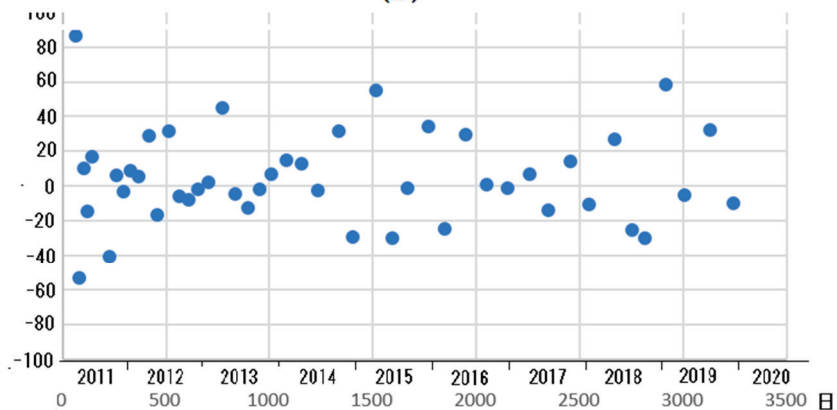


(日)

繰り返し間隔



(B)



(C)

図5. 区域E1の東北地方沖地震以降のM-T図 (A)、繰り返し間隔の変化図 (B)、間隔予測の相対誤差の変化図 (C)

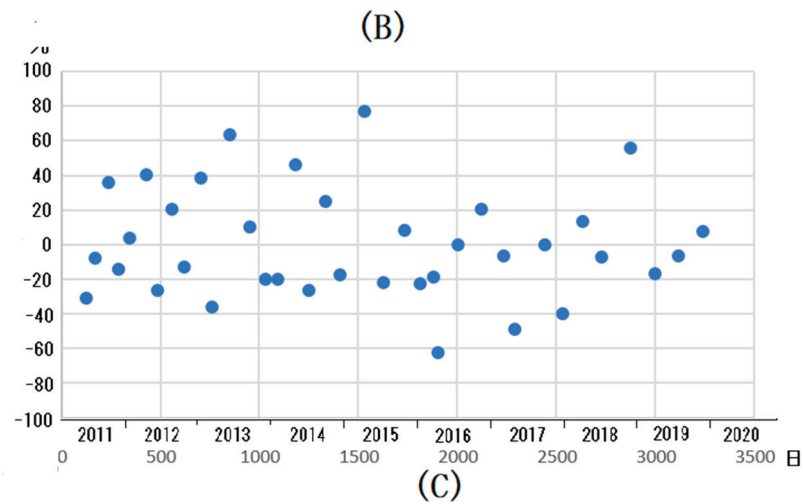
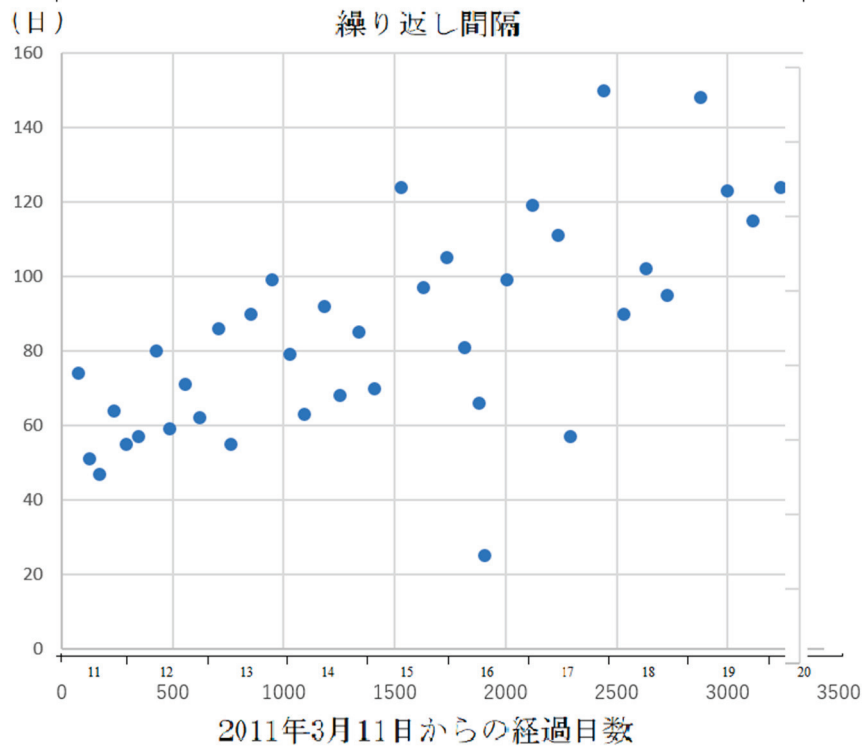
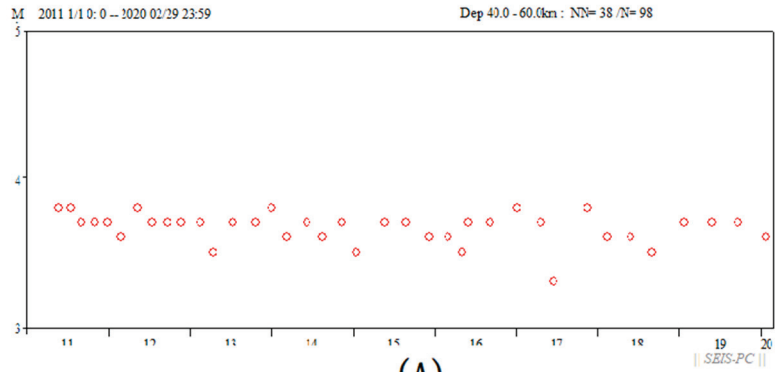


図6. 区域W2の東北地方沖地震以降のM-T図 (A)、繰り返し間隔の変化図 (B)、間隔予測の相対誤差の変化図 (C)

表1 区域E1の繰り返し地震の震源リストと
地震発生間隔の予測評価表

No	年月日	時分	北緯	東経	深さ	M	通日		間隔	誤差1	評価1	間隔2	誤差2	評価2
							日	日						
-8	1998-01-21	11:11	38.635	141.910	48.4	3.2	-4797							
-7	1999-07-15	14:28	38.633	141.906	48.1	3.0	-4257	540						
-6	2001-01-26	8:54	38.635	141.911	48.9	3.2	-3696	561	3.9	◎	550.5			
-5	2003-05-23	1:38	38.638	141.911	47.1	3.1	-2849	847	51.0	×	704.0	53.9	×	
-4	2006-01-05	2:55	38.640	141.910	46.8	3.1	-1891	958	13.1	○	902.5	36.1	△	
-3	2007-12-26	13:37	38.640	141.906	46.8	3.1	-1171	720	-24.8	△	839.0	-20.2	△	
-2	2009-05-02	6:40	38.638	141.913	47.3	3.0	-678	493	-31.5	△	606.5	-41.2	×	
-1	2010-06-23	15:12	38.638	141.913	47.2	3.2	-261	417	-15.4	○	455.0	-31.2	△	
0	2011-03-11						0							
1	2011-04-02	6:59	38.635	141.903	49.9	3.9	22	22						
2	2011-05-13	5:24	38.640	141.912	47.7	3.8	63	41	86.4	×	31.5			
3	2011-06-01	8:53	38.638	141.909	48.7	4.2	82	19	-53.7	×	30.0	-39.7	△	
4	2011-06-22	19:16	38.637	141.910	48.8	3.9	103	21	10.5	○	20.0	-30	△	
5	2011-07-10	11:21	38.636	141.911	48.2	3.7	121	18	-14.3	○	19.5	-10	○	
6	2011-07-31	21:40	38.637	141.911	48.7	4.1	142	21	16.7	○	19.5	7.7	◎	
7	2011-09-23	22:08	38.639	141.908	48.1	3.8	196	54	157.1	×	37.5	176.9	×	
8	2011-10-25	6:37	38.636	141.914	49.0	4.1	228	32	-40.7	×	43.0	-14.7	○	
9	2011-11-28	7:25	38.640	141.908	48.3	3.8	262	34	6.3	◎	33.0	-20.9	△	
10	2011-12-31	19:29	38.638	141.909	48.1	3.8	295	33	-2.9	◎	33.5	0	◎	
11	2012-02-05	21:44	38.637	141.913	47.9	3.9	331	36	9.1	◎	34.5	7.5	◎	
12	2012-03-14	22:28	38.637	141.911	48.1	3.9	369	38	5.6	◎	37.0	10.1	○	
13	2012-05-02	7:07	38.638	141.914	47.7	3.6	418	49	28.9	△	43.5	32.4	△	
14	2012-06-12	7:15	38.637	141.911	48.1	3.8	459	41	-16.3	○	45.0	-5.7	◎	
15	2012-08-05	5:05	38.640	141.908	48.4	3.8	513	54	31.7	△	47.5	20	○	
16	2012-09-25	5:16	38.638	141.910	48.2	3.8	564	51	-5.6	◎	52.5	7.4	◎	
17	2012-11-11	15:03	38.637	141.903	47.9	3.8	611	47	-7.8	◎	49.0	-10.5	○	
18	2012-12-27	5:07	38.636	141.906	47.8	3.6	657	46	-2.1	◎	46.5	-6.1	◎	
19	2013-02-12	12:20	38.637	141.904	48.1	3.8	704	47	2.2	◎	46.5	1.1	◎	
20	2013-04-21	4:41	38.635	141.906	48.0	3.7	772	68	44.7	×	57.5	46.2	×	
21	2013-06-25	21:11	38.639	141.902	48.6	3.7	837	65	-4.4	◎	66.5	13	○	
22	2013-08-21	17:59	38.637	141.902	47.9	3.5	894	57	-12.3	○	61.0	-14.3	○	
23	2013-10-16	7:23	38.639	141.903	48.2	3.6	950	56	-1.8	◎	56.5	-8.2	◎	
24	2013-12-15	6:31	38.638	141.904	48.2	3.6	1010	60	7.1	◎	58.0	6.2	◎	
25	2014-02-22	12:02	38.636	141.904	48.1	3.7	1079	69	15.0	○	64.5	19	○	
26	2014-05-11	10:34	38.636	141.903	48.1	3.6	1157	78	13.0	○	73.5	20.9	△	
27	2014-07-26	22:24	38.636	141.902	48.1	3.9	1233	76	-2.6	◎	77.0	3.4	◎	
28	2014-11-03	12:24	38.635	141.906	47.9	3.6	1333	100	31.6	△	88.0	29.9	△	
29	2015-01-13	3:24	38.637	141.903	48.2	3.5	1404	71	-29.0	△	85.5	-19.3	○	
30	2015-05-03	18:58	38.637	141.904	48.2	3.6	1514	110	54.9	×	90.5	28.7	△	
31	2015-07-19	14:20	38.636	141.906	48.1	3.4	1591	77	-30.0	△	93.5	-14.9	○	
32	2015-10-03	8:29	38.637	141.906	48.1	3.8	1667	76	-1.3	◎	76.5	-18.7	○	
33	2016-01-13	22:03	38.637	141.906	47.7	3.5	1769	102	34.2	△	89.0	33.3	△	
34	2016-03-30	13:37	38.636	141.906	47.8	3.4	1846	77	-24.5	△	89.5	-13.5	○	
35	2016-07-08	13:03	38.636	141.908	47.7	3.5	1946	100	29.9	△	88.5	11.7	○	
36	2016-10-17	11:46	38.636	141.908	47.5	3.6	2047	101	1.0	◎	100.5	14.1	○	
37	2017-01-25	0:44	38.637	141.906	47.1	3.3	2147	100	-1.0	◎	100.5	-0.5	◎	
38	2017-05-12	13:35	38.636	141.907	48.0	3.5	2254	107	7.0	◎	103.5	6.5	◎	
39	2017-08-12	23:13	38.637	141.903	48.0	3.4	2346	92	-14.0	○	99.5	-11.1	○	
40	2017-11-25	5:54	38.637	141.907	48.0	3.3	2451	105	14.1	○	98.5	5.5	◎	
41	2018-02-27	9:53	38.636	141.904	47.3	3.6	2545	94	-10.5	○	99.5	-4.6	◎	
42	2018-06-26	13:55	38.637	141.904	47.3	3.4	2664	119	26.6	△	106.5	19.6	○	
43	2018-09-23	12:17	38.638	141.903	47.0	3.2	2753	89	-25.2	△	104.0	-16.4	○	
44	2018-11-24	1:36	38.637	141.902	47.4	3.4	2815	62	-30.3	△	75.5	-40.4	×	
45	2019-03-02	6:06	38.637	141.903	46.8	3.0	2913	98	58.1	×	80.0	29.8	△	
46	2019-06-03	16:45	38.638	141.904	46.9	3.6	3006	93	-5.1	◎	95.5	16.3	○	
47	2019-10-04	22:06	38.637	141.900	47.8	3.4	3129	123	32.3	△	108.0	28.8	△	
48	2020-01-23	0:50	38.638	141.901	47.5	3.1	3240	111	-9.8	◎	117.0	2.8	◎	

表2 区域W2の繰り返し地震の震源リストと
地震発生間隔の予測評価表

No	年月日	時分	北緯 °	東経 °	深さ km	M	通日 日	間隔 日	誤差1 %	評価1	間隔2 日	誤差2 %	評価2
-8	1998-06-26	12:51	38.531	141.719	54.3	3.3	-4641						
-7	1999-09-10	10:39	38.534	141.716	54.7	3.2	-4200	441					
-6	2001-07-02	15:18	38.533	141.717	55.1	3.6	-3539	661	49.9	×	551.0		
-5	2003-02-24	16:24	38.537	141.719	52.9	3.5	-2937	602	-8.9	◎	631.5	9.3	◎
-4	2004-09-24	1:10	38.536	141.718	53.4	3.5	-2359	578	-4.0	◎	590.0	-8.5	◎
-3	2006-08-16	20:42	38.538	141.716	53.1	3.6	-1668	691	19.6	○	634.5	17.1	○
-2	2008-11-20	6:43	38.536	141.720	53.6	3.5	-841	827	19.7	○	759.0	30.3	△
-1	2010-01-16	7:08	38.537	141.717	53.1	3.5	-419	422	-49.0	×	624.5	-44.4	×
0	2011-03-11						0						
1	2011-05-24	6:55	38.535	141.714	53.7	3.8	74						
2	2011-07-14	4:35	38.536	141.718	53.6	3.8	125	51	-31.1	△	62.5		
3	2011-08-30	21:46	38.537	141.719	53.7	3.7	172	47	-7.8	◎	49.0	-24.8	△
4	2011-11-02	0:26	38.538	141.715	53.8	3.7	236	64	36.2	△	55.5	30.6	△
5	2011-12-27	7:28	38.534	141.717	53.9	3.7	291	55	-14.1	○	59.5	-0.9	◎
6	2012-02-22	20:03	38.534	141.719	53.9	3.6	348	57	3.6	◎	56.0	-4.2	◎
7	2012-05-12	1:36	38.536	141.717	53.5	3.8	428	80	40.4	×	68.5	42.9	×
8	2012-07-10	1:56	38.536	141.716	53.6	3.7	487	59	-26.3	△	69.5	-13.9	○
9	2012/9/19	23:30	38.536	141.719	54.0	3.7	558	71	20.3	△	65.0	2.2	◎
10	2012-11-20	21:23	38.535	141.718	53.3	3.7	620	62	-12.7	○	66.5	-4.6	◎
11	2013-02-14	9:54	38.535	141.716	53.3	3.7	706	86	38.7	△	74.0	29.3	△
12	2013-04-10	19:35	38.535	141.711	53.8	3.5	761	55	-36.0	△	70.5	-25.7	△
13	2013-07-09	5:02	38.533	141.719	54.0	3.7	851	90	63.6	×	72.5	27.7	△
14	2013-10-16	1:34	38.534	141.717	53.5	3.7	950	99	10.0	○	94.5	36.6	△
15	2014-01-03	18:16	38.535	141.716	53.9	3.8	1029	79	-20.2	△	89.0	-16.4	○
16	2014-03-07	13:23	38.533	141.717	53.2	3.6	1092	63	-20.3	△	71.0	-29.2	△
17	2014-06-07	2:37	38.535	141.715	53.4	3.7	1184	92	46.0	×	77.5	29.6	△
18	2014-08-14	14:57	38.534	141.714	53.0	3.6	1252	68	-26.1	△	80.0	-12.3	○
19	2014-11-07	19:50	38.534	141.717	53.5	3.7	1337	85	25.0	△	76.5	6.3	◎
20	2015-01-16	0:07	38.534	141.717	53.6	3.5	1407	70	-17.6	○	77.5	-8.5	◎
21	2015-05-20	11:03	38.535	141.717	53.6	3.7	1531	124	77.1	×	97.0	60.0	×
22	2015-08-25	6:14	38.534	141.717	53.4	3.7	1628	97	-21.8	△	110.5	0.0	◎
23	2015-12-08	16:59	38.534	141.718	53.6	3.6	1733	105	8.2	◎	101.0	-5.0	◎
24	2016-02-27	20:05	38.535	141.718	53.5	3.6	1814	81	-22.9	△	93.0	-19.8	○
25	2016-05-03	19:54	38.534	141.718	53.4	3.5	1880	66	-18.5	○	73.5	-29.0	△
26	2016-05-28	5:40	38.538	141.721	53.7	3.7	1905	25	-62.1	×	45.5	-66.0	×
27	2016-09-04	9:15	38.534	141.717	53.6	3.7	2004	99	296.0	×	62.0	117.6	×
28	2017-01-01	5:44	38.534	141.717	53.5	3.8	2123	119	20.2	△	109.0	91.9	×
29	2017-04-22	6:32	38.533	141.721	53.4	3.7	2234	111	-6.7	◎	115.0	1.8	◎
30	2017-06-18	18:24	38.534	141.717	53.4	3.3	2291	57	-48.6	×	84.0	-50.4	×
31	2017-11-15	1:51	38.535	141.718	53.4	3.8	2441	150	163.2	×	103.5	78.6	×
32	2018-02-13	7:25	38.536	141.718	52.8	3.6	2531	90	-40.0	×	120.0	-13.0	○
33	2018-05-26	20:18	38.537	141.715	52.6	3.6	2633	102	13.3	○	96.0	-15.0	○
34	2018-08-29	16:16	38.537	141.718	52.7	3.5	2728	95	-6.9	◎	98.5	-1.0	◎
35	2019-01-24	13:48	38.537	141.721	52.5	3.7	2876	148	55.8	×	121.5	50.3	×
36	2019-05-27	15:02	38.536	141.714	52.9	3.7	2999	123	-16.9	○	135.5	1.2	◎
37	2019-09-19	20:54	38.536	141.721	52.6	3.7	3114	115	-6.5	◎	119.0	-15.1	○
38	2020-01-21	7:20	38.538	141.718	52.3	3.6	3238	124	7.8	◎	119.5	4.2	◎