

第 2 章 全国を対象とした客観的な相似地震の抽出

溜瀧功史（地震火山部地震予知情報課）・中村雅基・山田安之（地震火山部地震津波監視課）

2.1 はじめに

同程度の規模の地震が準周期的に繰り返し発生する相似地震は、その周期性から発生時期や規模を中長期的にある程度予測できると考えられる数少ない地震である。気象庁では、このような同程度の規模の地震が準周期的に発生する活動を見出すために、同一観測点において観測波形が酷似する相似地震の抽出を行ってきた（気象庁地震予知情報課、2010、中村・他、2010）。具体的には、釧路沖（M4.9；佐鯉・他、2012）、種市沖（M6.1 と M6.0；気象庁地震予知情報課・他、2009）、いわき沖（M5.7；気象庁地震予知情報課・他、2009）、沖永良部島西方沖（M5.3 と M5.2；気象庁沖縄気象台・他、2009、溜瀧・他、2009）、宮古島近海（M5.1；溜瀧・他、2010）など、全国各地でこのような地震群を抽出した。

一方で、①気象庁が保有する津波地震早期検知網のデジタルデータは 1994 年 10 月以降のみであること、②短周期速度計では、規模が大きな地震での振り切れや、1Hz より長周期側は測定範囲外であり、コヒーレンスの計算が困難であること、③コヒーレンスを計算する際の帯域がグループごとに任意であること、④波形の収集・解析する地震の選択など全てが手作業であること、といった理由から、必ずしも客観的かつ網羅的に調査してこなかった。

そこで、本報告では 1988 年 10 月以降全国に展開された 87 型強震計および 95 型震度計の加速度波形を用いることで継続的な調査が可能であることに着目し、全国を対象とした網羅的な相似地震の検出を試みたので報告する。

2.2 解析データ

本報告では、1988 年 10 月からデジタルデータが存在する 87 型強震計および 95 型震度計の加速度波形を用いて調査を行った。これらの加速度波形を使うメリットは、1Hz より長周期側の波形を見ることができると、1988 年 10 月以降の比較的長期間にわたって全国の広い範囲でデジタル波形記録が存在している点である。デメリットは、概ね震度 3 以上の地震に対してのみ波形を蓄積しており、規模の小さな地震や陸地から離れた海域の地震を検出できない点である。また、1997 年 4 月～1999 年 3 月までは震度 4 以上を観測した場合にのみ収集するなど、震度 3 以上の地震についても必ずしも全て収集されているとは言えない。なお、解析する際には、ノイズの影響をできるだけ減らすために、震度 2 相当以上を観測した波形のみを利用した。使用したデータについて表 2.1 にまとめた。

表 2.1 使用したデータ

	サンプリング	測定範囲	観測期間	備考
87 型強震計	50Hz	0.1～10Hz	1988 年 10 月～ 1997 年 3 月	概ね震度 2 以上の観測点を収集。
95 型震度計	100Hz	DC～41Hz	1997 年 4 月～	1997 年 4 月～1999 年 3 月は最大震度 4 以上を観測した場合に震度 3 以上の観測点を収集。 1999 年 4 月～2004 年 12 月は震度 3 以上の観測点を収集。 2005 年 1 月以降は最大震度 3 以上を観測した場合に震度 2 以上の観測点を収集。

2.3 手法

本調査では、コヒーレンスを用いて相似地震を抽出した。ここではコヒーレンスを (1) 式のように定義した。

$$Coh = \sqrt{CPS / P_1 P_2}, \quad (1)$$

ただし、 Coh はコヒーレンス、 CPS はクロスパワースペクトル、 P_1, P_2 はそれぞれの波形のパワースペクトルである。

これまで行ってきた手動解析の経験から、地震の規模に応じてコヒーレンスが高い帯域が異なることが分かってきた (図 2.1)。そこで、マグニチュードと高いコヒーレンスが得られる帯域になんらかの相関関係がないか事前調査を行った。事前調査の手順は以下の通りである。まず、理論 P 波到達時の 1 秒前から 40 秒間の加速度波形を用いて、0.1~10Hz の帯域でコヒーレンスを網羅的に計算し、コヒーレンス値が最大となる周波数帯を求めた。その際、計算する帯域の上限 (f_{upper}) は、計算する帯域の下限 (f_{lower}) の 4 倍とした (すなわち、 $f_{upper} = 4f_{lower}$)。これは、 $2f_{lower}$ を対象周波数と考えた場合、その倍から半分の周波数帯でコヒーレンスが高いことを意味する。

その結果、3 成分全てでコヒーレンスの最大値が 0.95 以上となった 803 ペアの波形について、比較対象のうち小さいほうのマグニチュード (M) とコヒーレンスが高い周波数帯域の関係をプロットし (図 2.2)、 $M3 \sim M6$ の範囲のデータを用いて、 M 毎の平均値から最小二乗法による近似直線を求めると (2) 式が得られた。

$$\log f_{lower} = \log a - bM. \quad (\text{ただし, } a=22.4, b=0.86.) \quad (2)$$

これは、具体的には、 $M4.0$ では 0.7~2.8Hz、 $M5.0$ では 0.3~1.2Hz、 $M6.0$ では 0.12~0.5Hz の帯域で計算することを意味する。

この事前調査で得られた (2) 式を基に、理論 P 波到達時の 1 秒前から 40 秒間の波形を用い、各成分 (NS、EW、UD) のコヒーレンスを計算した。この際、地震間の震央距離が 50km 以内の地震のみ比較をした。ただし、理論 P 波到達時には若干の誤差があることから、理論走時の前後 2 秒を 1 サンプルずつずらしながらコヒーレンスを計算し、その最大値を出力の結果とした。コヒーレンスは各成分、各観測点に対して求められる値である。そのため、まずそれぞれの観測点について、3 成分 (NS、EW、UD) の中央値を、観測点を代表するコヒーレンスとした。次に、各観測点で得られた観測点コヒーレンスの中央値を、イベント間を代表するコヒーレンスとして求めた。イベント間コヒーレンス値が 0.95 を超えた場合に、相似地震のペアと見なした。

これらの相似地震ペアからグループ分けをする際、各相似地震のペアを結んだダイアグラムは多角形とその対角線で結ばれた形になること (図 2.3 (a)) が望ましいが、場合によっては、一部が欠けた形になったり、多角形に別の地震が付随した形になったりする場合がある (図 2.3 (b)、(c))。多角形の一部が欠けるパターンは、観測点の移設等によって観測点の不連続が生じるために相似地震とする基準に満たない場合が含まれると考えられる。一方、多角形に別の地震が付随した形となるパターンには、相似地震として検出するパラメータが不適切であるために、異なるグループの地震が混在してしまったり、あるいは一つのグループの地震であるにもかかわらず相似地震ではないとみなしてしまったりする場合があると考えられる。このような場合、どこまでを一つのグループとして扱うかの基準が曖昧であり、不適切なグループが作られる可能性が高い。

そこで、これらの相似地震のペアを効率的にグループ化する方法として、クラスター分析を用いることにした。クラスター分析は、コヒーレンス値 (各地震間の類似度) を距離 (ユークリッド距離) に変換して、最もユークリッド距離に近いものを 1 つのグループ (クラスター) として次々に結合していくデータマイニング手法のひとつである。下記に簡単にクラスター分析の手法について記述する。

まず、コヒーレンスからユークリッド距離を求める。本稿では (3) 式を用いた。

$$d_{ij}^2 = 2(1 - Coh_{ij}), \quad (3)$$

ここで、 d_{ij} , Coh_{ij} はそれぞれ i 番目と j 番目の地震のユークリッド距離、イベント間コヒーレンスである。すなわち、コヒーレンス値が大きいほど、ユークリッド距離は 0 に近い値となる。なお、(3) 式は本来、相関係数からユークリッド距離を求める式なので、コヒーレンス値を相関係数と同等に扱っていることに注意が必要である。

次に、ユークリッド距離が最も近いクラスターを結合して、1 つのクラスターとする。ここで、クラスター a とクラスター b が結合されてクラスター c が作られるとする。 d_{ab} を、クラスター a とクラスター b が結合される前の各クラスター間の距離としたとき、結合後のクラスター c とクラスター x ($x \neq a, x \neq b$) との距離 d_{xc} は (4) 式で表される。

$$d_{xc}^2 = ((n_x + n_a)d_{xa}^2 + (n_x + n_b)d_{xb}^2 - n_x d_{ab}^2) / (n_x + n_c), \quad (4)$$

ここで、 n_a はクラスター a に含まれる地震数、 n_b, n_c, n_x も同様である。なお、(4) 式はウォード法と呼ばれている。

上記手法を繰り返すことによって、ユークリッド距離が最も近いクラスターを結合していく。最終的にはクラスターが 1 つになるまで処理を行えるが、ユークリッド距離の最短が、ある閾値を越えた場合に処理を終了させることとした。調査におけるクラスターを結合するユークリッド距離の閾値は、(3) 式において $Coh=0.95$ を代入した値をとることとした。すなわち、「2 つのクラスター間のコヒーレンス値」が 0.95 に満たないとき、その 2 つのクラスターは結合しない。

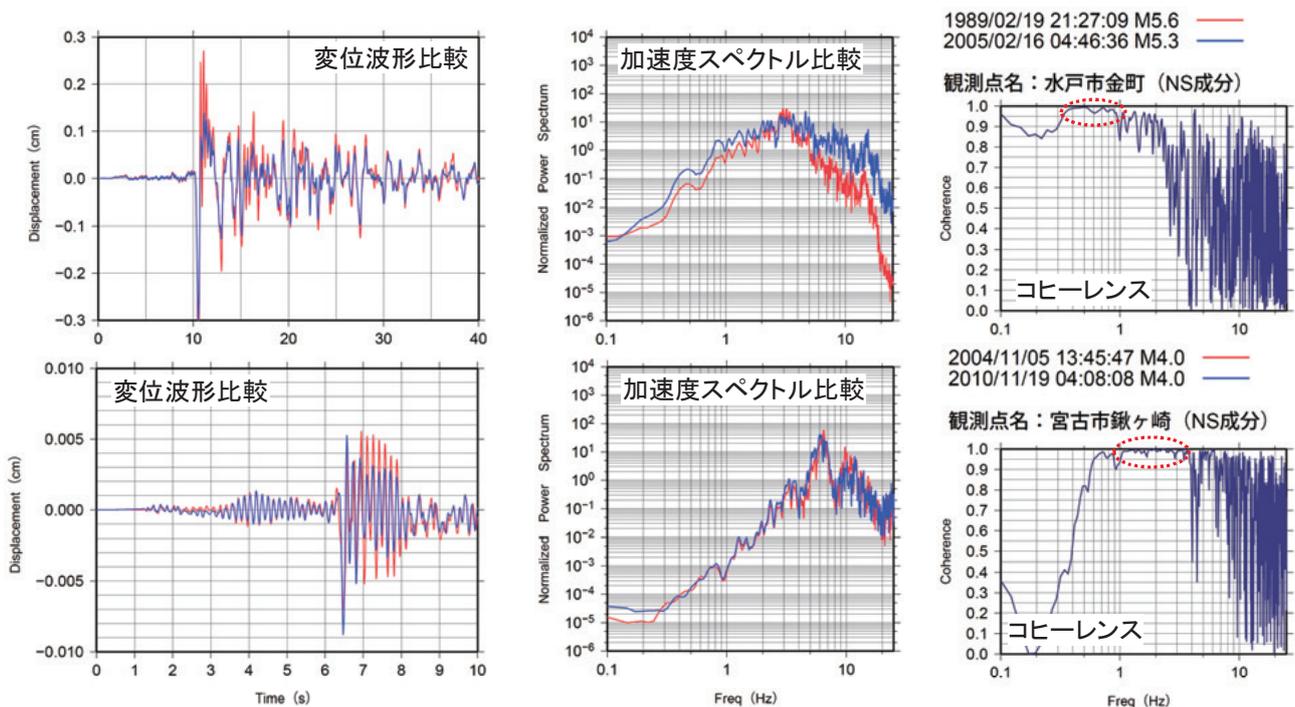


図 2.1 相似地震の波形例 (上段：茨城県南部の地震、下段：岩手県沖の地震)

赤色の破線で囲った帯域でコヒーレンスが 0.95 を超えている。上段の事例では 0.3~1Hz の帯域でコヒーレンスが高く、下段の事例では 1~4Hz の帯域でコヒーレンスが高い。

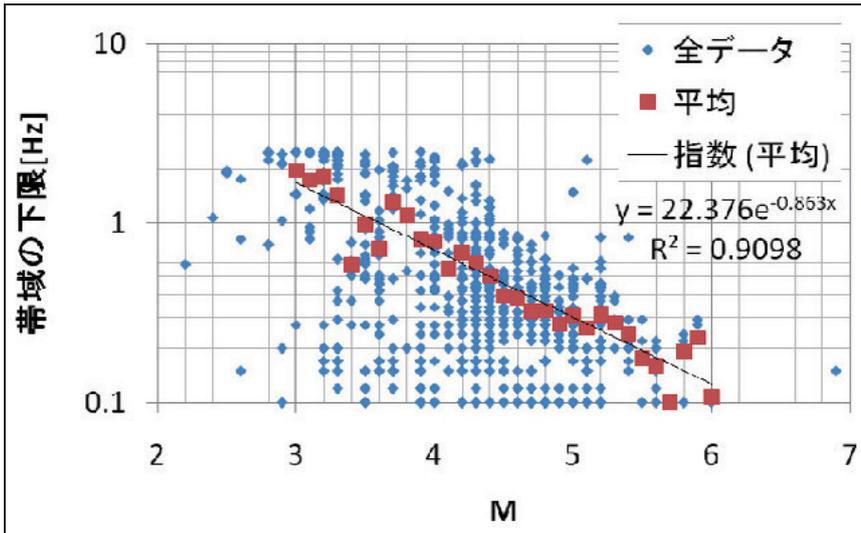


図 2.2 計算する帯域と M の関係。

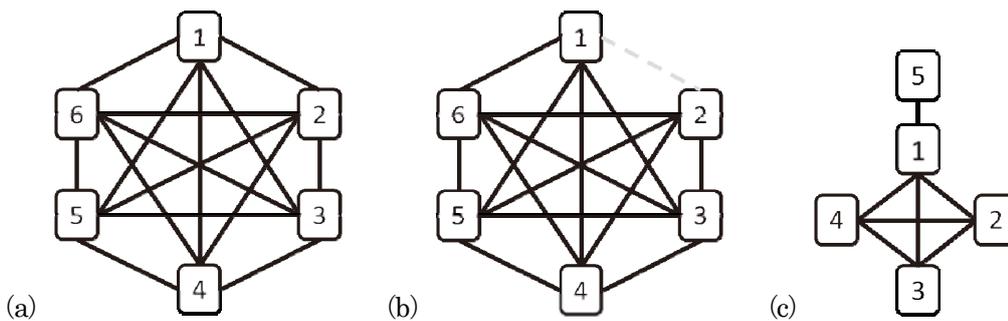


図 2.3 相似地震グループの模式図。

黒線は相似地震であることを示す。それぞれの数字は各地震に与えた便宜上の番号。

(a) 全てのペアで相似地震と見なせる場合、(b) 一部のペアで相似地震と見なせない場合 (1-2)、(c) 一部のペアでのみ相似地震と見なされる場合 (1-5)。

2.4 結果

今回抽出された相似地震は、138 グループ 326 イベントであった。そのうち、データの連続性が保証できない最大震度 3 未満の地震が含まれる 41 グループや、群発地震など時間的に近接して発生した 25 グループを除くと、72 グループが同一アスペリティの破壊による繰り返し地震の可能性のある相似地震として抽出された(Appendix 1)。震源カタログ上では規模に差があるグループ (ID70 等) も含むが、それらのコヒーレンスは高く相似地震のペアと見なされた。同一アスペリティの破壊による繰り返し地震であるとするれば、M と発生間隔から年平均すべり量を推定することができる。そこで、一元化震源の M を用いて、すべり量の推定を行った。地震のすべり量(d)の推定には、モーメントマグニチュード(M_w)と地震モーメント(M_0)の Hanks and Kanamori (1979)による関係式

$$\log(M_0) = 1.5M_w + 16.1, \quad (5)$$

及び、地震モーメントとすべり量の関係式(Nadeau and Johnson, 1998)

$$\log(d) = -2.36 + 0.17 \log(M_0), \quad (6)$$

を用いた。ここで、 M_w はモーメントマグニチュードであるが、近似的に一元化震源の M を代用して計算した。ま

た、得られた積算すべり量と経過時間から、最小二乗法を用いて、グループごとに年平均すべり量を見積もった。推定された年平均すべり量分布を図 2.4 と Appendix 2 に示す。また、相似地震の震央分布図及び地震活動経過図 (M-T 図) の一部拡大したものを図 2.5 に示す。

既知の中規模繰り返し地震 (例えば、Matsuzawa et al. (2002)、佐鯉・他(2012)など) についても、デジタル記録が現存している期間については相似地震として検出された。また、最大震度 5 強を含む、M4~M6 クラスの相似地震が日本全国にわたって検出された。

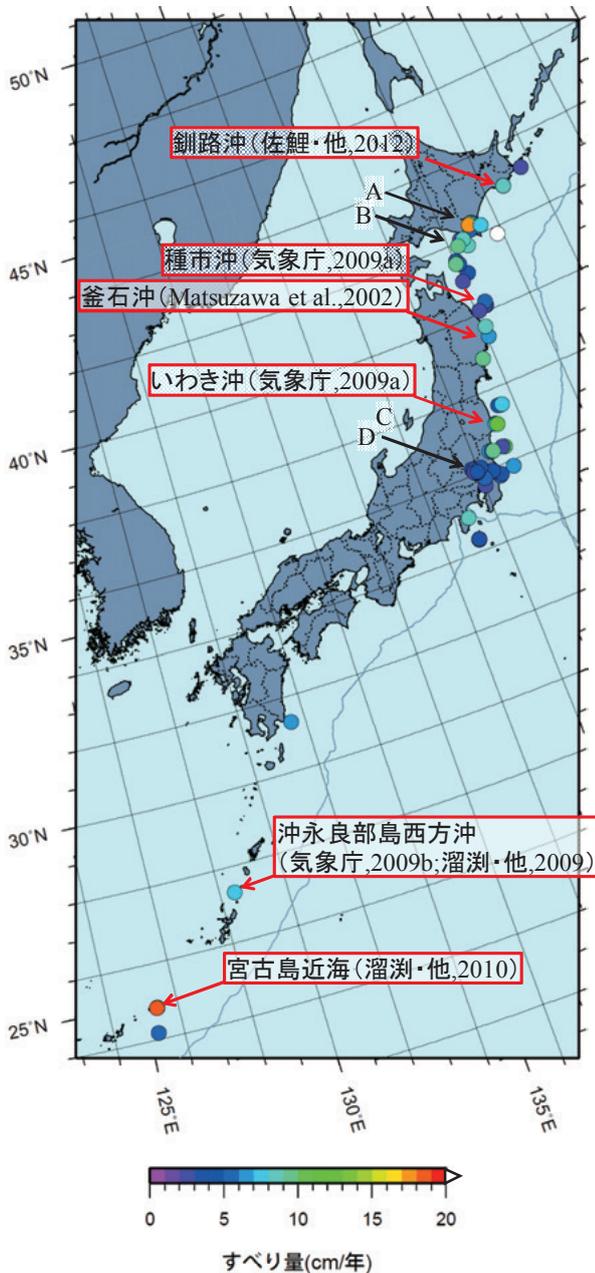


図 2.4 検出された相似地震の分布と推定された年平均すべり量。

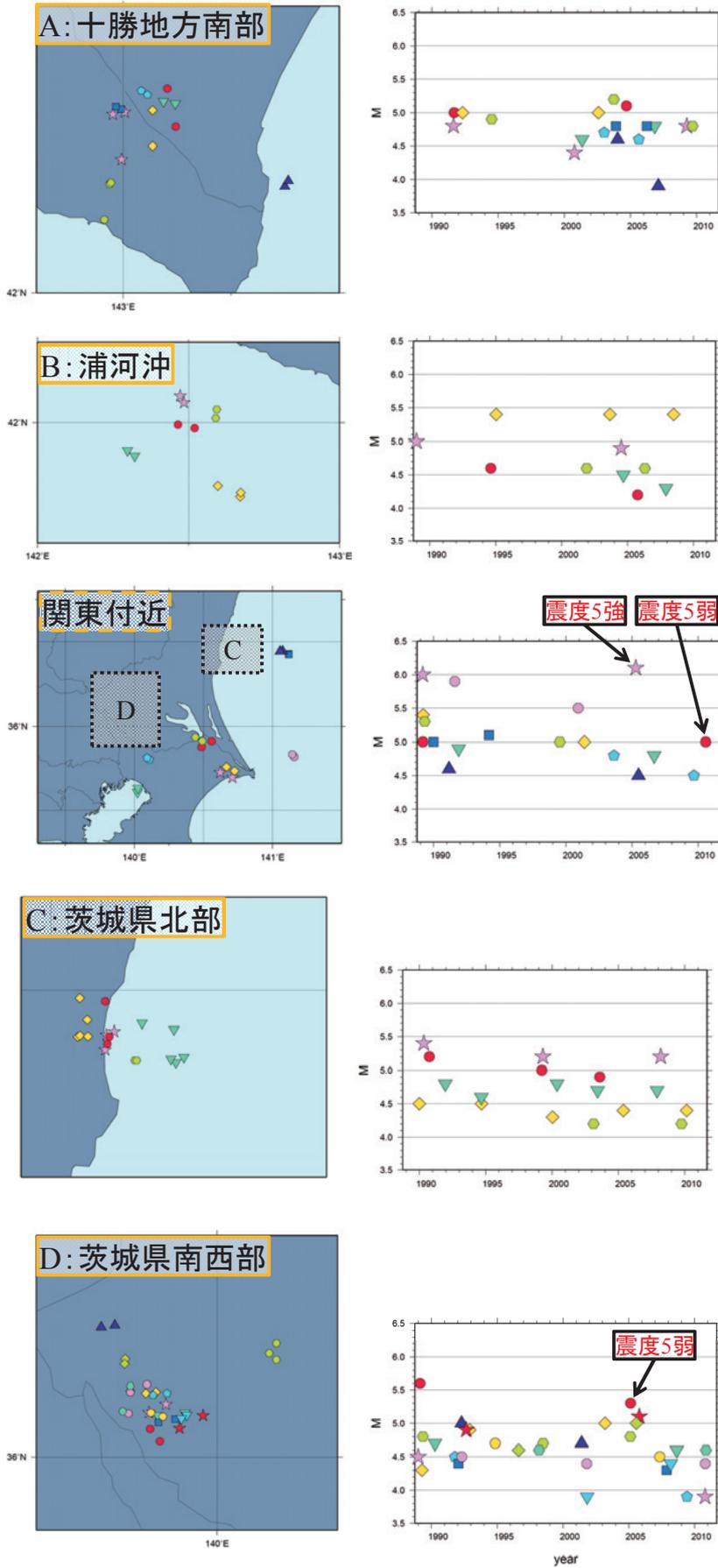


図 2.5 震央分布図および地震活動経過図 (同色, 同シンボルの地震がそれぞれ相似)。

2.5 議論

推定された相似地震グループの特徴は以下の通りである。ほとんどのグループは低角逆断層の発震機構で、北海道から関東の日本海溝沿いのプレート境界に分布している。特に、浦河沖や最大震度 5 弱の地震を含む千葉県北東部など、集中して相似地震活動が見られる地域がある。このように、全国を網羅的に探索したことによって、アスペリティの分布に偏りがあることが明らかになった。また、M から推定されるすべり量の平均は、プレートが沈み込む相対速度と概ね調和的である。したがって、プレート境界上にある同じアスペリティ（固着域）が繰り返し破壊されることによって、相似地震が発生しているものと解釈できる。プレート境界ではこれまで、①南海トラフ沿いなどの M8 クラスの繰り返し地震、②東北地方や関東地方では M2~4 クラスの相似地震に注目されていたが、本研究ではその中間の規模にあたる M4~6 クラスの中規模相似地震を多数検出することができた。

しかしながら、時間的に近接して発生した地震でも一部相似地震として抽出された例がある。これらの地震が同じアスペリティを繰り返し破壊する繰り返し地震であるかについては、震源再解析等、別の側面からのアプローチによって確認する必要がある。

今回、最大震度 5 強の地震を含むいくつかの相似地震が検出されたが、これらの地震は規模の小さな地震に比べ発生前隔が比較的長期間となる。1988 年 10 月以降のデジタル化された加速度波形だけでは期間、観測点数ともにサンプルが少なく、必ずしも信頼度の高い結果が得られるとは限らない。これまでに気象庁が抽出してきた上記の地震群（気象庁, 2010、中村・他, 2010）も今回抽出されているが、これら以外の地震についても個別に過去にさかのぼって波形の調査をすることができれば、M5~6 クラスの繰り返し地震の検出につながるものと期待される。

謝辞

本調査には、独立行政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、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市及び独立行政法人海洋研究開発機構による地震観測データ及を利用して気象庁が文部科学省と協力して求めた一元化震源を使わせていただきました。

参考文献

- Hanks, T. C. and H. Kanamori, 1979: A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, **84**, 2348-2350.
- 気象庁地震予知情報課・気象庁仙台管区气象台・気象庁気象研究所, 2009: 東北地方（福島県いわき沖・岩手県種市沖）の固有地震（周期的な相似地震）, *地震予知連絡会会報*, **82**, 84-90.
- 気象庁地震予知情報課, 2010: 中～大規模の繰り返し地震についての規則性と不規則性, *地震予知連絡会報*, **83**, 613-632.
- 気象庁沖縄气象台・気象庁地震予知情報課・気象庁気象研究所, 2009: 沖縄本島近海（国頭村東方沖・沖永良部島西方沖）の固有地震（繰り返し地震）, *地震予知連絡会会報*, **82**, 417-422.
- Matsuzawa, T., T. Igarashi, A. Hasegawa, 2002: Characteristic small-earthquake sequence off Sanriku, northeastern Honshu, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1543, doi:10.1029/2001GL014632.
- Nadeau, R. M. and L. R. Johnson, 1998: Seismological studies at Parkfield VI: Moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, 790-814.
- 中村雅基・今村翔太・溜渕功史・山田安之・高木康伸・石垣祐三・前田憲二・岡田正実, 2010: 全国で見つかったいくつかの固有地震的地震活動, *日本地球惑星科学連合大会予稿集*, SSS013-P05.

- 佐鯉央教・松山輝雄・平山達也・山崎一郎・山本剛靖・一柳昌義・高橋浩晃, 2012: 釧路沖の中規模繰り返し地震活動, *地震*, **65**, 151-161.
- 溜渕功史・山田安之・石垣祐三・高木康伸・中村雅基・前田憲二・岡田正実, 2009: 琉球弧で見つかったいくつかの固有地震的地震活動, *日本地球惑星科学連合大会予稿集*, S149-P005.
- 溜渕功史・山田安之・石垣祐三・高木康伸・中村雅基・前田憲二・岡田正実, 2010: 宮古島近海における固有地震活動, *地震*, **62**, 193-207.

Appendix 1 相似地震のグループ

ID	発生時刻	M	震央地名
1	1989/03/06 23:39	6.0	NEAR CHOSHI CITY
	2005/04/11 07:22	6.1	
2	1989/03/11 16:12	5.0	SOUTHERN IBARAKI PREF
	2010/07/23 06:06	5.0	NORTHERN CHIBA PREF
3	1989/03/18 01:37	5.4	NEAR CHOSHI CITY
	2001/05/25 15:55	5.0	
4	1989/04/26 02:18	5.3	SOUTHERN IBARAKI PREF
	1999/07/15 07:56	5.0	
5	1991/11/19 17:24	4.9	CENTRAL CHIBA PREF
	2006/08/31 17:18	4.8	
6	2003/08/18 18:59	4.8	NORTHERN CHIBA PREF
	2009/09/04 11:30	4.5	
7	1988/12/21 19:53	5.0	S OFF URAKAWA
	2004/07/04 21:31	4.9	
8	1990/01/07 22:28	5.3	E OFF AOMORI PREF
	2007/05/19 00:59	5.3	
9	1991/08/16 23:16	4.8	HIDAKA MOUNTAINS REGION
	2000/10/07 08:19	4.4	
	2009/04/05 17:00	4.8	
10	1991/09/02 12:03	5.0	HIDAKA MOUNTAINS REGION
	2004/09/10 13:22	5.1	
11	1992/04/20 05:36	5.0	HIDAKA MOUNTAINS REGION
	2002/07/28 20:31	5.0	
12	1994/07/02 07:43	4.9	HIDAKA REGION
	2003/09/28 07:23	5.2	
	2009/09/08 01:24	4.8	
13	1994/08/16 00:13	4.6	S OFF URAKAWA
	2005/10/03 16:26	4.2	
14	1995/01/11 16:48	5.4	S OFF URAKAWA
	2003/08/30 19:06	5.4	
	2008/06/26 08:37	5.4	
15	2001/05/08 06:27	4.6	HIDAKA MOUNTAINS REGION
	2006/11/01 23:21	4.8	
16	2003/01/07 03:27	4.7	HIDAKA MOUNTAINS REGION
	2005/08/16 08:29	4.6	
17	2003/11/24 18:48	4.8	HIDAKA MOUNTAINS REGION
	2006/03/25 07:16	4.8	
18	2001/11/21 19:25	4.6	S OFF URAKAWA
	2006/04/26 23:10	4.6	
19	1995/09/20 06:05	5.2	E OFF AOMORI PREF
	2008/08/09 00:53	5.4	
20	1992/11/30 09:20	4.9	OFF NEMURO PENINSULA
	2000/06/13 01:54	4.7	
21	1988/12/28 18:02	4.5	SW IBARAKI PREF
	2010/10/14 14:29	3.9	
22	1989/02/19 21:27	5.6	SW IBARAKI PREF
	2005/02/16 04:46	5.3	
23	1989/04/12 04:41	4.3	SW IBARAKI PREF
	1992/11/28 09:46	4.9	
	2003/03/13 12:12	5.0	
24	1989/05/09 02:51	4.8	SW IBARAKI PREF
	1998/06/24 23:52	4.7	
	2005/02/08 11:29	4.8	
25	1990/04/09 00:52	4.7	SW IBARAKI PREF
	2008/08/20 15:13	4.6	
26	1990/05/03 16:45	5.4	NORTHERN IBARAKI PREF
	1999/04/25 21:27	5.2	
	2008/03/08 01:54	5.2	

ID	発生時刻	M	震央地名
27	1990/10/06 23:33	5.2	
	1999/03/26 08:31	5.0	NORTHERN IBARAKI PREF
	2003/08/04 20:57	4.9	
28	1991/10/19 08:31	4.5	SW IBARAKI PREF
	2009/05/29 14:39	3.9	
29	1992/01/17 02:39	4.4	SW IBARAKI PREF
	2007/11/11 19:48	4.3	
30	1992/04/14 12:03	5.0	SW IBARAKI PREF
	2001/05/31 08:59	4.7	
31	1992/04/23 01:21	4.5	
	2001/10/18 06:30	4.4	SW IBARAKI PREF
	2010/10/24 13:50	4.4	
32	1992/08/27 13:09	4.9	SW IBARAKI PREF
	2005/10/16 16:05	5.1	
33	1994/11/04 19:06	4.7	SW IBARAKI PREF
	2007/05/08 21:01	4.5	
34	1996/08/16 01:03	4.6	SW IBARAKI PREF
	2005/07/28 19:15	5.0	
35	1998/03/08 13:46	4.6	SW IBARAKI PREF
	2010/11/05 19:14	4.6	
36	1990/01/01 18:03	4.5	
	1994/09/06 19:00	4.5	
	2000/01/12 11:09	4.3	NORTHERN IBARAKI PREF
	2005/05/14 00:14	4.4	
	2010/02/22 18:52	4.4	
37	2001/11/02 07:43	3.9	SW IBARAKI PREF
	2008/03/09 06:13	4.4	
38	2003/02/14 10:54	4.2	NORTHERN IBARAKI PREF
	2009/10/01 19:43	4.2	
39	1989/12/22 09:32	5.0	E OFF IBARAKI PREF
	1994/03/09 19:02	5.1	
40	1991/02/28 07:32	4.6	E OFF IBARAKI PREF
	2005/06/24 22:08	4.5	
41	1991/08/06 23:49	5.9	NEAR CHOSHI CITY
	2000/12/05 01:47	5.5	
42	1991/12/12 11:27	4.8	
	1994/08/30 01:55	4.6	
	2000/05/16 19:40	4.8	NORTHERN IBARAKI PREF
	2003/06/09 18:59	4.7	
	2007/11/30 18:36	4.7	
43	1993/07/17 23:39	4.9	E OFF FUKUSHIMA PREF
	2010/09/30 21:47	4.8	
44	1997/05/12 07:59	5.7	E OFF FUKUSHIMA PREF
	2005/10/22 22:12	5.6	
45	2005/09/11 05:06	4.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
	2009/01/03 16:13	4.8	
46	1991/05/13 12:24	4.4	E OFF AOMORI PREF
	2002/09/03 07:24	4.3	
47	1992/07/12 20:08	6.3	E OFF AOMORI PREF
	2010/09/13 14:47	5.8	
48	2003/09/26 05:10	5.8	
	2003/10/12 03:26	5.5	SE OFF TOKACHI
	2005/01/31 18:39	5.4	
	2009/03/07 23:33	5.4	
	2000/11/16 18:31	5.2	E OFF FUKUSHIMA PREF
49	2010/06/01 13:49	4.8	
	1989/11/06 17:56	5.5	NE OFF IWATE PREF
50	2006/07/06 02:08	5.4	

ID	発生時刻	M	震央地名
51	1989/11/21 13:47	5.1	NE OFF IWATE PREF
	2009/04/25 22:54	5.0	
52	1995/01/07 11:36	6.2	NE OFF IWATE PREF
	2009/02/15 18:24	5.9	
53	1992/04/17 09:43	4.6	NE OFF IWATE PREF
	2005/07/30 17:49	4.4	
54	2001/11/13 16:45	4.8	E OFF IWATE PREF
	2008/01/11 08:00	4.7	
55	1993/06/03 03:19	4.5	E OFF IZU PENINSULA
	1996/10/16 22:58	4.3	
56	2003/07/18 12:32	4.6	NORTHERN MIYAGI PREF
	2006/08/17 12:45	4.3	
57	1991/12/17 13:23	5.1	OFF NEMURO PENINSULA
	2010/11/19 13:01	4.8	
58	1991/07/17 00:30	5.0	NEAR MIYAKOJIMA ISLAND
	1997/06/19 19:05	5.1	
	2002/06/05 02:20	5.2	
	2007/09/22 17:00	5.1	
59	2006/10/26 22:59	4.5	NEAR MIYAKOJIMA ISLAND
	2008/09/10 13:37	4.5	
	2010/05/11 02:14	4.4	
60	1994/04/30 12:28	6.0	SE OFF OSUMI PEN
	2005/05/31 11:04	5.8	
61	1990/10/01 04:05	6.1	NEAR MIYAKOJIMA ISLAND
	2009/08/05 09:17	6.5	
62	2001/05/07 23:32	5.1	NEAR OKINAWAJIMA ISLAND
	2007/08/09 00:19	5.1	
63	2001/09/06 10:40	4.3	E OFF FUKUSHIMA PREF
	2008/12/04 17:29	4.4	
64	2004/06/27 04:43	4.8	E OFF FUKUSHIMA PREF
	2010/02/21 09:56	4.8	
65	2004/01/13 05:12	4.6	SE OFF TOKACHI
	2007/02/06 02:44	3.9	
66	2004/09/05 03:25	4.5	S OFF URAKAWA
	2007/11/27 19:22	4.3	
67	2005/06/03 01:32	4.3	E OFF AOMORI PREF
	2008/05/14 03:00	4.2	
68	2005/05/19 01:33	4.8	OFF NEMURO PENINSULA
	2010/04/09 03:41	4.8	
69	2004/11/05 13:45	4.0	E OFF IWATE PREF
	2007/05/29 07:36	4.0	
	2010/11/19 04:08	4.0	
70	2000/08/03 18:04	5.0	NEAR NIIJIMA ISLAND
	2006/07/09 18:11	2.9	
71	2000/08/19 09:55	2.8	NEAR NIIJIMA ISLAND
	2005/07/12 07:34	2.6	
72	2000/09/24 23:14	1.9	NEAR NIIJIMA ISLAND
	2002/03/30 07:12	2.3	
	2005/07/16 13:48	2.5	

Appendix 2 各相似地震グループの発生間隔と推定年平均すべり量

ID	回数	平均M	震度		発生間隔(年)			年平均すべり量 (cm/年)	最近発生した地震			
			最大	最小	平均	最短	最長		発生時間	緯度	経度	深さ
1	2	6.1	5+	5	16.1			5.32	2005/04/11	35.73	140.62	51.5
2	2	5.0	5-	3	21.4			2.10	2010/07/23	35.88	140.49	35.0
3	2	5.2	3	3	12.2			3.68	2001/05/25	35.76	140.67	47.2
4	2	5.2	3	3	10.2			4.39	1999/07/15	35.94	140.44	49.6
5	2	4.9	4	4	14.8			2.70	2006/08/31	35.63	140.02	75.6
6	2	4.7	3	3	6.1			5.53	2009/09/04	35.81	140.09	67.2
7	2	5.0	3	3	15.5			2.72	2004/07/04	42.05	142.48	61.5
8	2	5.3	4	3	17.4			3.08	2007/05/19	41.56	142.05	67.5
9	3	4.7	3	3	8.8	8.5	9.1	4.04	2009/04/05	42.32	143.00	54.4
10	2	5.1	3	3	13.0			3.65	2004/09/10	42.36	143.10	51.3
11	2	5.0	3	3	10.3			4.37	2002/07/28	42.32	143.07	51.7
12	3	5.0	4	4	7.6	6.0	9.2	5.91	2009/09/08	42.19	142.97	51.1
13	2	4.4	3	3	11.1			2.52	2005/10/03	41.99	142.52	64.9
14	3	5.4	4	3	6.7	4.8	8.6	8.22	2008/06/26	41.83	142.67	55.0
15	2	4.7	4	3	5.5			7.28	2006/11/01	42.33	143.12	48.5
16	2	4.7	3	3	2.6			13.62	2005/08/16	42.35	143.04	50.8
17	2	4.8	3	3	2.3			17.11	2006/03/25	42.32	142.98	51.0
18	2	4.6	3	3	4.4			8.01	2006/04/26	42.03	142.59	60.7
19	2	5.3	3	3	12.9			4.40	2008/08/09	41.14	142.28	51.5
20	2	4.8	4	3	7.5			4.99	2000/06/13	42.91	144.72	58.9
21	2	4.2	3	3	21.8			1.08	2010/10/14	36.06	139.89	44.6
22	2	5.5	5-	4	16.0			3.35	2005/02/16	36.04	139.89	46.2
23	3	4.7	4	3	7.0	3.6	10.3	5.85	2003/03/13	36.09	139.86	47.3
24	3	4.8	4	3	7.9	6.6	9.1	4.87	2005/02/08	36.14	140.09	67.0
25	2	4.7	4	3	18.4			1.93	2008/08/20	36.06	139.90	45.1
26	3	5.3	4	4	8.9	8.9	9.0	5.65	2008/03/08	36.45	140.61	57.0
27	3	5.0	4	4	6.4	4.4	8.5	6.59	2003/08/04	36.44	140.61	58.1
28	2	4.2	4	3	17.6			1.34	2009/05/29	36.08	139.89	47.3
29	2	4.4	3	3	15.8			1.88	2007/11/11	36.05	139.90	44.1
30	2	4.9	4	4	9.1			4.12	2001/05/31	36.18	139.81	55.6
31	3	4.4	3	3	9.3	9.0	9.5	3.41	2010/10/24	36.06	139.85	44.6
32	2	5.0	4	3	13.1			3.62	2005/10/16	36.04	139.94	47.1
33	2	4.6	3	3	12.5			2.68	2007/05/08	36.06	139.89	46.3
34	2	4.8	4	3	9.0			5.02	2005/07/28	36.13	139.85	51.1
35	2	4.6	4	4	12.7			2.80	2010/11/05	36.06	139.84	45.1
36	5	4.4	3	3	5.0	4.7	5.4	6.15	2010/02/22	36.45	140.58	56.5
37	2	4.2	3	3	6.4			4.97	2008/03/09	36.06	139.95	47.1
38	2	4.2	3	3	6.6			4.23	2009/10/01	36.43	140.65	54.4
39	2	5.1	3	3	4.2			11.30	1994/03/09	36.43	141.12	39.8
40	2	4.6	3	3	14.3			2.34	2005/06/24	36.44	141.05	46.4
41	2	5.7	4	3	9.3			6.45	2000/12/05	35.83	141.14	34.9
42	5	4.7	4	3	4.0	2.7	5.7	9.23	2007/11/30	36.43	140.70	52.9
43	2	4.9	3	3	17.2			2.32	2010/09/30	37.08	141.12	51.4
44	2	5.7	4	4	8.5			7.56	2005/10/22	37.08	141.12	52.0
45	2	4.7	4	3	3.3			12.05	2009/01/03	37.06	141.17	50.5
46	2	4.4	3	3	11.3			2.63	2002/09/03	40.98	142.00	57.7
47	2	6.1	4	4	18.2			3.95	2010/09/13	41.46	142.12	63.2
48	4	5.5	3	3	1.8	0.0	4.1	25.61	2009/03/07	41.80	143.82	39.1
49	2	5.0	4	3	9.5			4.18	2010/06/01	37.51	141.54	45.4
50	2	5.5	3	3	16.7			3.41	2006/07/06	40.15	142.43	35.8
51	2	5.1	3	3	19.4			2.31	2009/04/25	40.16	142.38	36.7
52	2	6.1	4	3	14.1			5.40	2009/02/15	40.25	142.42	36.0
53	2	4.5	3	3	13.3			2.38	2005/07/30	40.08	142.12	47.5
54	2	4.8	3	3	6.2			6.11	2008/01/11	39.34	142.07	47.2
55	2	4.4	4	4	3.4			8.82	1996/10/16	34.98	139.12	4.1
56	2	4.5	3	3	3.1			9.65	2006/08/17	38.84	141.59	74.7
57	2	5.0	4	3	18.9			2.11	2010/11/19	43.17	145.60	53.3
58	4	5.1	4	3	5.4	5.0	5.9	9.09	2007/09/22	24.84	125.40	48.2
59	3	4.5	3	3	1.8	1.7	1.9	18.35	2010/05/11	24.82	125.38	49.6
60	2	5.9	4	4	11.1			6.48	2005/05/31	31.31	131.55	28.6
61	2	6.3	4	3	18.9			5.75	2009/08/05	24.18	125.26	22.0
62	2	5.1	4	4	6.3			7.61	2007/08/09	27.31	128.44	44.4
63	2	4.4	3	3	7.2			4.35	2008/12/04	37.51	141.44	48.8
64	2	4.8	3	3	5.7			7.06	2010/02/21	37.51	141.57	44.8
65	2	4.3	3	3	3.1			7.67	2007/02/06	42.20	143.38	40.9
66	2	4.4	3	3	3.2			9.23	2007/11/27	41.92	142.32	72.5
67	2	4.3	3	3	3.0			9.52	2008/05/14	41.49	142.00	62.7
68	2	4.8	4	4	4.9			8.16	2010/04/09	42.92	144.72	57.3
69	3	4.0	3	3	3.0	2.6	3.5	8.20	2010/11/19	39.63	142.10	48.3
70	2	4.0	5-	4	5.9			2.21	2006/07/09	34.33	139.17	5.8
71	2	2.7	4	4	4.9			2.24	2005/07/12	34.32	139.18	5.6
72	3	2.2	3	3	2.4	1.5	3.3	3.91	2005/07/16	34.33	139.18	3.7