

10-3 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） Characteristic Earthquake Sequences near Okinawajima Island (East of Kunigamison Village and West of Okinoerabujima Island)

気象庁 沖縄気象台
気象庁 地震予知情報課
気象庁 気象研究所
Okinawa District Meteorological Observatory, JMA
Earthquake Prediction Information Division, JMA
Meteorological Research Institute, JMA

沖縄地方において、宮古島近海の固有地震¹⁾（M5.1前後の規模で平均5.9年間隔の繰り返し地震）を確認した際に、東北地方^{2), 3)}（本巻※1参照）と同様、沖縄地方の海溝型地震にも固有地震が多数存在している可能性を指摘した。中規模の固有地震（M5～M6クラス、発生間隔が数年～十数年）の調査からは、東南海・南海地震を含む大規模な海溝型地震（M7以上、発生間隔が数十年～数百年に達するため観測データ収集が困難）にも共通する知見が得られる可能性がある。

そこで、沖縄本島近海の2つの領域（国頭村東方沖及び沖永良部島西方沖）について地震活動を調査した結果、固有地震を含む特徴的な地震活動が発生していることが分かった。

本稿では、固有地震⁴⁾という語を、プレート境界等に存在する特定のアスペリティ（固着域）が周辺の滑りによりほぼ同じ時間間隔で繰り返し破壊されて発生する同規模の地震で、その領域で最大規模のものを指す語として用いることとする。

本調査では、「特定のアスペリティの繰り返し破壊」を検出する手段として、相似地震解析及び震源再計算を行った。すなわち、同一観測点同一成分の地震波形のコヒーレンス（波形の相関）が比較的高い複数の地震について、波形相関を利用した震源再計算を行い、それらの震源位置のばらつきが、地震の規模（M）から推定されるアスペリティのサイズの内側に収まっていることの確認をとることで、それらの地震は「同一のアスペリティの破壊による地震である」と判断した。また、相似地震であるか否かを判断する際には、地震の規模（M）に応じた卓越周期を考慮したバンドパスフィルタを適用し、このことを確認している。

1. 国頭村東方沖の親子型固有地震（第1図）

国頭村東方沖で、1994年10月以降、M4.1程度の地震が平均2.5年の間隔で6回発生していることを確認した（1994年11月30日（M4.0）、1997年5月16日（M3.8、最大震度2）、1999年9月8日（M4.1、最大震度2）、2002年4月2日（M4.1、最大震度2）、2004年11月26日（M4.2、最大震度2）、2007年8月12日（M4.1、最大震度2））。これらの地震の発震機構（1999, 2002, 2004年の地震、（独）防災科学技術研究所のF-netによる）は北西-南東方向に圧力軸を持つ低角の逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生している地震と考えられる。

さらに、この地震群の0.5～1km離れたごく近傍で、ひと回り小さい2グループの地震群（M3.0及びM2.8程度）がそれぞれ別のクラスターを成して、ほぼ周期的に繰り返し発生していること（第

1図右上) が分かった.

これら3グループの地震群は、それぞれのグループ内で地震波形のコヒーレンス値が高く、それぞれ同じ場所で発生している。また、近傍で別グループの地震が発生するにもかかわらず、比較的周期を乱されることなく、それぞれほぼ同じ時間間隔で繰り返し発生しているように見える。

このように3グループともそれぞれ同じ場所で同規模の地震がほぼ周期的に発生していることから、プレート境界上に存在する3つの近接したアスペリティがそれぞれ独立に繰り返し破壊されて、これらの地震を引き起こしていると考えられる。実際、M4程度の地震のすべり量(8~25cm程度^{5), 6)}は、この付近のフィリピン海プレートの沈み込みの速度(年間約6~7cm⁷⁾)に発生間隔(2.5年)を乗じた値と同程度である。

過去の地震の発生間隔から、更新過程小標本論対数正規分布モデル(基準日2009/05/01)を用いると、当該領域では次のM4クラスの地震が2009年12月~2010年5月の間に70%の確率で発生すると推定できる。95%確率の場合は、2009年9月~2010年9月の間である。

2. 沖永良部島西方沖の双子型固有地震(第2, 3図)

沖永良部島西方沖の深さ約40kmでは2グループの繰り返し地震が発生しており、1965年以降、グループA (M5.3程度、平均6.4年間隔) が7回、グループB (M5.2程度、平均7.3年間隔) が6回発生していることを確認した(グループA: 1967年10月23日(M5.2), 1976年1月24日(M5.2), 1983年7月11日(M5.4), 1989年1月24日(M5.3), 1996年5月3日(M5.2), 2004年5月20日(M5.1), グループB: 1968年12月8日(M5.1), 1976年2月5日(M5.4), 1983年8月3日(M5.4), 1988年12月12日(M5.3), 1995年12月20日(M5.3), 2001年5月7日(M5.2), 2007年8月9日(M5.1))。特に、1976年~1996年の地震はそれぞれ連動するように発生している。発震機構(2004, 2007年の地震のCMT解)は低角の逆断層型で、これらはフィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生している地震と考えられる。

さらに、これら2グループの地震群は、それぞれのグループ内で地震波形のコヒーレンス値が高く(第2図左、第3図)，それぞれ同じ場所を震源として発生しており、それらグループA, Bの震源は1~2km離れたごく近傍に位置している(第2図右上)ことが分かった。

このように2グループともそれぞれ同じ場所で同規模の地震がほぼ同じ時間間隔で発生していることから、プレート境界上に存在する2つの近接したアスペリティがそれぞれ繰り返し破壊されて、これらの地震を引き起こしていると考えられる。実際、M5程度の地震のすべり量(30~50cm程度^{5), 6)}は、この付近のフィリピン海プレートの沈み込みの速度(年間約6cm⁷⁾)に発生間隔(6.4年及び7.4年)を乗じた値と同程度である。

過去の地震の発生間隔から、更新過程小標本論対数正規分布モデル(基準日2009/05/01)を用いると、当該領域では次のグループAの地震が2012年12月~2015年4月の間に、グループBの地震が2012年6月までに70%の確率で発生すると推定できる。95%確率の場合は、2011年11月~2017年3月と、基準日から2014年12月までである。

(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・富士井啓光)

※1: 「東北地方(福島県いわき沖、岩手県種市沖)の固有地震」(気象庁)

参考文献

- 1) 気象庁沖縄気象台ほか, 宮古島近海の固有地震的地震活動, 連絡会報, 81, 2009.
- 2) 長谷川安秀・橋本徹夫・草野富二雄・吉川一光・大西星司: 東北地方における中規模地震の固有地震的地震活動の検出, 地震, 58, 67-70, 2005.
- 3) Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, T. Okada, and A. Hasegawa, Source parameters of a M4.8 and its accompanying repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: Implications for the hierarchical structure of asperities and earthquake cycle, Geophys. Res. Lett., 34, 2007.
- 4) Shimazaki, K. and T. Nakata, T, Time-predictable recurrence model for large earthquakes, Geophys. Res. Lett., 7, 279-298, 1980.
- 5) Nadeau, R. M. and L. R. Johnson : Seismological studies at Parkfield VI: Moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes, Bill. Seism. Soc. Am., 88, 790-814, 1998.
- 6) 宇津徳治: 地震学(第3版), 共立出版株式会社, P279, 2001.
- 7) Seno, T., S. Stein, and A. E. Gripp, A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data, J. Geophys. Res., 98, 17941-17948, 1993.

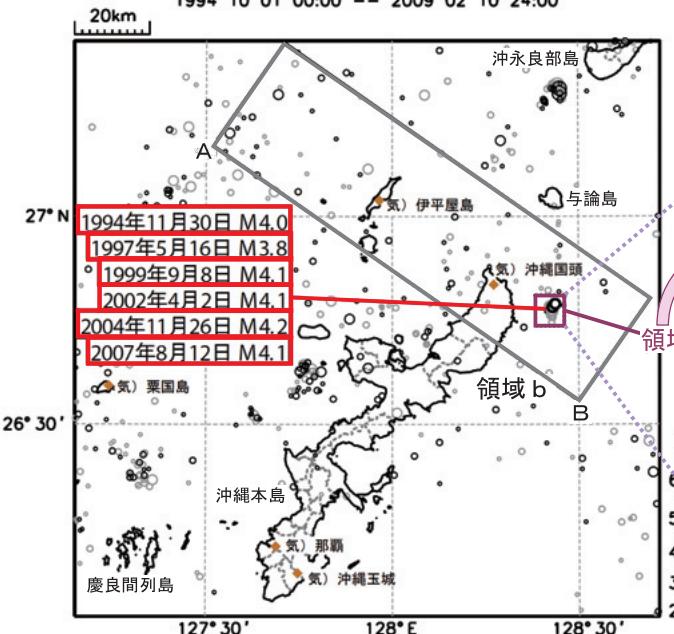
くにがみそん 沖縄本島近海（国頭村東方沖）の固有地震

M 4 クラス固有地震のごく近傍にひと回り小さい繰り返し地震を2グループ確認

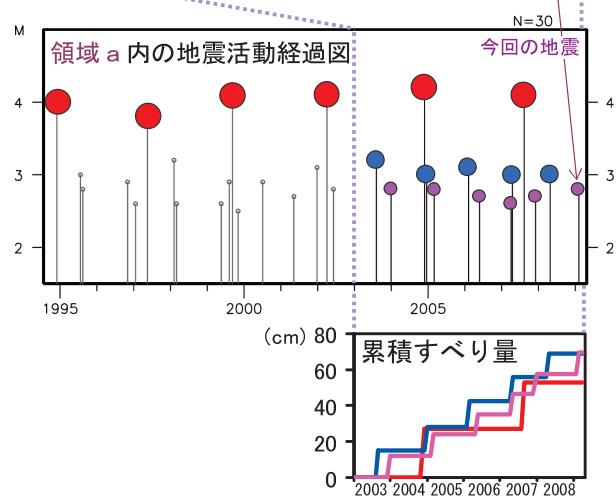
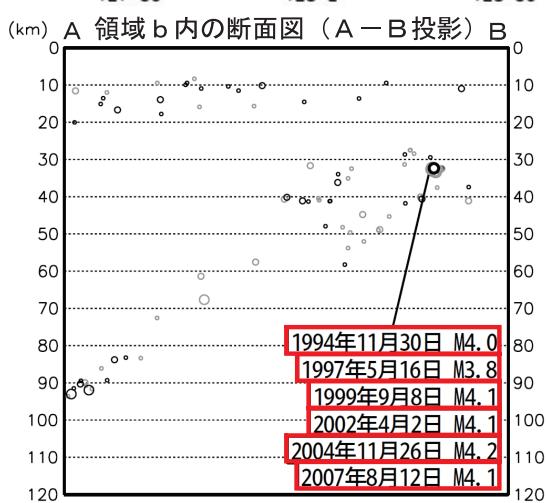
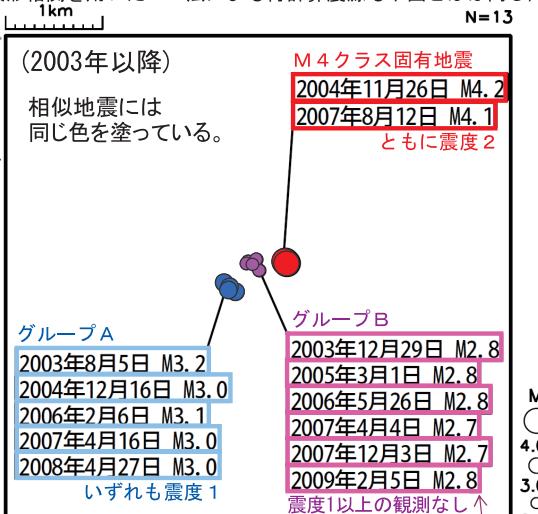
震央分布図（1994年10月以降、深さ0~120km、M \geq 2.5）

観測点を限定し、走時表は全期間にわたってJMA2001を使用した再計算震源
2003年以降の地震を濃く表示。

1994 10 01 00:00 -- 2009 02 10 24:00



領域 a 内を再検測(観測点限定)した結果
(波形相関を用いたDD法による再計算震源も下図とほぼ同じ)



沖縄本島近海（国頭村東方沖）の深さ約31kmで、1994年10月以降、M4.1程度の地震が平均2.5年の間隔で6回発生している（いずれも国頭村において震度2を観測（震度観測点の設置されていない1994年を除く））。発震機構（1999, 2002, 2004年の地震、（独）防災科学技術研究所のF-netによる）は北西一南東方向に圧力軸を持つ低角の逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生している地震と考えられる。

調査の結果、この地震群の0.5~1km離れたごく近傍で、ひと回り小さい2グループの地震群（M3.0及びM2.8程度）がそれぞれ別のクラスターを成して、ほぼ周期的に繰り返し発生していることを確認した。

これら3グループの地震群は、それぞれのグループ内で地震波形がよく似ている。また、近傍で別グループの地震が発生するにもかかわらず、比較的周期を乱されることなくそれぞれに固有な周期で繰り返し発生しているように見える。

このように3グループともそれぞれ同じ場所で同規模の地震がほぼ周期的に発生していることから、プレート境界上に存在する3つの近接したアスペリティがそれぞれ繰り返し破壊されて、これらの地震を引き起こしていると考えられる。実際、M4程度の地震のすべり量（8~25cm程度）は、この付近のフィリピン海プレートの沈み込みの速度（年間約6~7cm）に発生間隔（2.5年）を乗じた値と同程度である*。

過去の地震の発生間隔から、更新過程小標本論対数正規分布モデル（基準日2009/05/01）を用いると、当該領域では次のM4クラスの地震が2009年12月～2010年5月の間に（70%の確率で）発生すると推定できる。
※:すべり量の計算はNadeau & Johnson(1998)、プレート間相対速度ベクトルは「プレートテクトニクスの基礎」（瀬野徹三、朝倉書店）による。

第1図 国頭村東方沖の固有地震（繰り返し地震）

Fig.1 Characteristic earthquake sequences east of Kunigamison Village.

沖縄本島近海（沖永良部島西方沖）の固有地震

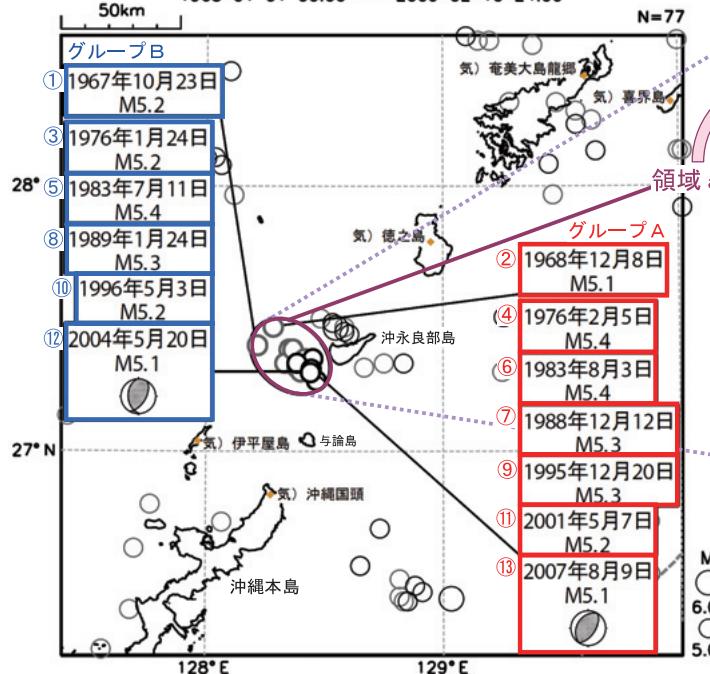
M 5 クラスの近接した2つの固有地震（繰り返し地震）を確認

震央分布図（1965年以降、深さ0～120km、M \geq 5.0）

2003年以前の地震はISC震源(MIは実体波マグニチュードmb)

2004年以降の地震は気象庁震源

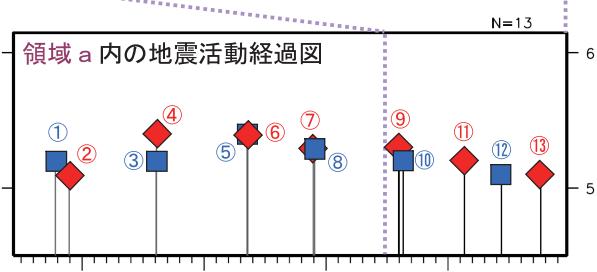
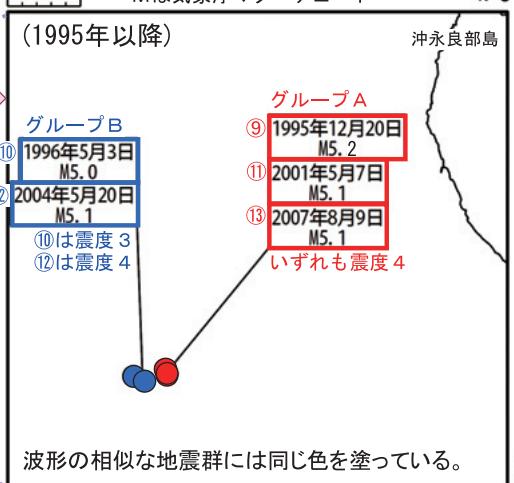
1965 01 01 00:00 -- 2009 02 10 24:00



領域 a 内を再計算(観測点限定)した結果

Mは気象庁マグニチュード

N=5



奄美大島龍郷観測点の速度波形（上下方向）

波形にはバンドパスフィルタ(1～3Hz)をかけている。
MIは気象庁マグニチュード。

⑨ 1995/12/20 M5.2



0.984

⑪ 2001/05/07 M5.1



0.992

0.990

⑬ 2007/08/09 M5.1



0.684

⑩ 1996/05/03 M5.0



0.997

⑫ 2004/05/20 M5.1



10sec

コヒーレンスの値(右端)はP波検出から40秒間の波形を周波数帯1～3Hzで比較。

沖縄本島近海（沖永良部島西方沖）の深さ約40kmでは2グループの繰り返し地震が発生しており、1965年以降、グループA (M5.3程度、平均6.4年間隔)が7回、グループB (M5.2程度、平均7.3年間隔)が6回（③と④、⑤と⑥、⑦と⑧、⑨と⑩はそれぞれ連動するように）発生している。発震機構は低角の逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生している地震と考えられる。

これら2グループの地震群は、それぞれのグループ内で地震波形がよく似ており（左図）、震源が1～2km離れたごく近傍に位置している（右上図）。

このように2グループともそれぞれ同じ場所で同規模の地震がほぼ周期的に発生していることから、プレート境界上に存在する2つの近接したアスペリティがそれぞれ繰り返し破壊されて、これらの地震を引き起こしていると考えられる。

実際、M5程度の地震のすべり量（30～50cm程度）は、この付近のフィリピン海プレートの沈み込みの速度（年間約6cm）に発生間隔（6.4年及び7.4年）を乗じた値と同程度である。

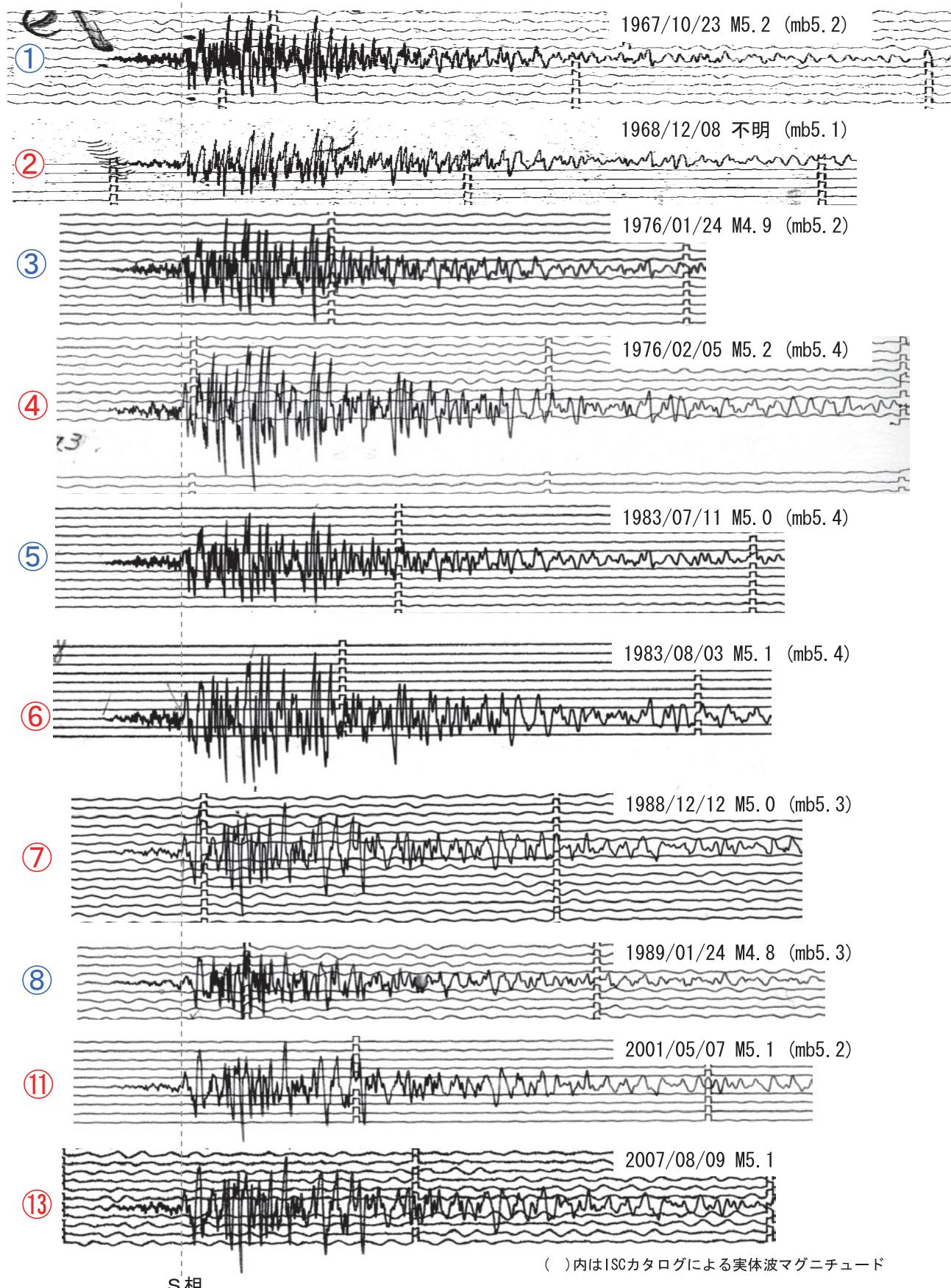
更新過程小標本論対数正規分布モデル（基準日2009/05/01）を用いると、当該領域では次のグループAの地震が2012年12月～2015年4月の間に、グループBの地震が2012年6月までに（70%の確率で）発生すると推定できる。

第2図 沖永良部島西方沖の固有地震（繰り返し地震）

Fig.2 Characteristic earthquake sequences west of Okinoerabujima Island.

沖縄本島近海（沖永良部島西方沖）の固有地震

那覇観測点（59型地震計）の変位波形（東西成分）



※ ⑨, ⑩: 1992~96年まで59型地震計は欠測。⑫: 2004年5月20日の東西成分はインク切れのため読み取れず。

1987年(⑥~⑦間)に近隣への移設が行われた。

第3図 沖永良部島西方沖の固有地震（繰り返し地震）の波形比較

Fig.3 Comparison of waveforms for repeating earthquakes west of Okinoerabujima Island.