

## 1 2 - 7 中～大規模の繰り返し地震についての規則性と不規則性

### Regularities and irregularities of medium and large recurrent earthquakes

気象庁 地震予知情報課

Earthquake Prediction Information Division, JMA

気象庁では、同程度の規模の地震が準周期的に発生する、M4～M6クラスの繰り返し地震群について抽出を行ってきた。他機関により抽出されすでに報告されたものも含め、これまでに抽出されたこのような地震群の震央分布を第1図に示す。抽出された地震群は、すべてプレート境界で発生する地震であった。

抽出を行う際の手順は以下の通りである。①まず、震源が近接し規模が同程度の地震が準周期的に発生している地震を抽出し、これらの地震群の発震機構が類似するかを確認する。②次に、抽出された地震群の同一観測点における地震波形が相似であるかを確認する。また、可能であれば、デジタル波形を用いた波形相関やコヒーレンスを算出して波形の相似性を定量的に評価したり、例えば波形相関を用いた震源再決定を行ってアスペリティーが同一であると推定している<sup>12)</sup>。作業は手動で行っているため、全国で発生するこのような地震群が網羅的に抽出されているわけではない。

これまでに抽出された繰り返し地震群の特徴を第1表に示す。また、繰り返し地震群毎の詳細について、第2図～第17図(図の多くはこれまでに地震予知連絡会の会報に掲載されたものを用いており、ここでは「固有地震」は「繰り返し地震」と同意であると考えて良い)に示す。例えば、種市沖(第2図)や沖永良部島西方沖(第9図)では、同規模の複数の繰り返し地震群が隣接している。また、宮古島近海(第15図)では、繰り返し地震群の近傍で、より小さな規模の準周期的に発生する繰り返し地震群が見ついている。

これらの地震群の地震発生に関わる特徴は次の通りである。

種市沖の事例(第2図)では、その近傍で「平成6年(1994年)三陸はるか沖地震」(M7.6)の最大余震(M7.2)が発生しているが、同時ではなくその約4時間後に繰り返し地震群に属する地震が発生した。

沖永良部西方沖の事例(第9図)では、ふたつのアスペリティーが極めて隣接しているにもかかわらず、これまで同時に発生した事例は観測されていない。しかし、1976年から1996年の間は、1年以内の時間差で発生している。また、片方の発生周期だけが乱された事例が観測されている。この場合、発生間隔の乱れの原因は、その周囲におけるプレート境界の滑りでは説明できず、例えばローカルな摩擦係数の変化等が考えられる。

宮古島近海の例(第15図)では、隣接するふたつの繰り返し地震群の活動が固有の周期で発生しているようにも、相互に影響を及ぼしあいながら発生しているようにも見える。また、M5クラスのアスペリティーの破壊がひとまわり小さなアスペリティーの破壊を誘発しているように見える。しかし、検出された4つのアスペリティーのうち複数が同時に破壊された事例は観測されていない。

今後、より効率的かつ客観的にこのような繰り返し地震群を抽出するにあたっては、次のような点を考慮する必要がある。

- ・アスペリティーは同一だが震源過程が異なるイベントがあった場合の処理。

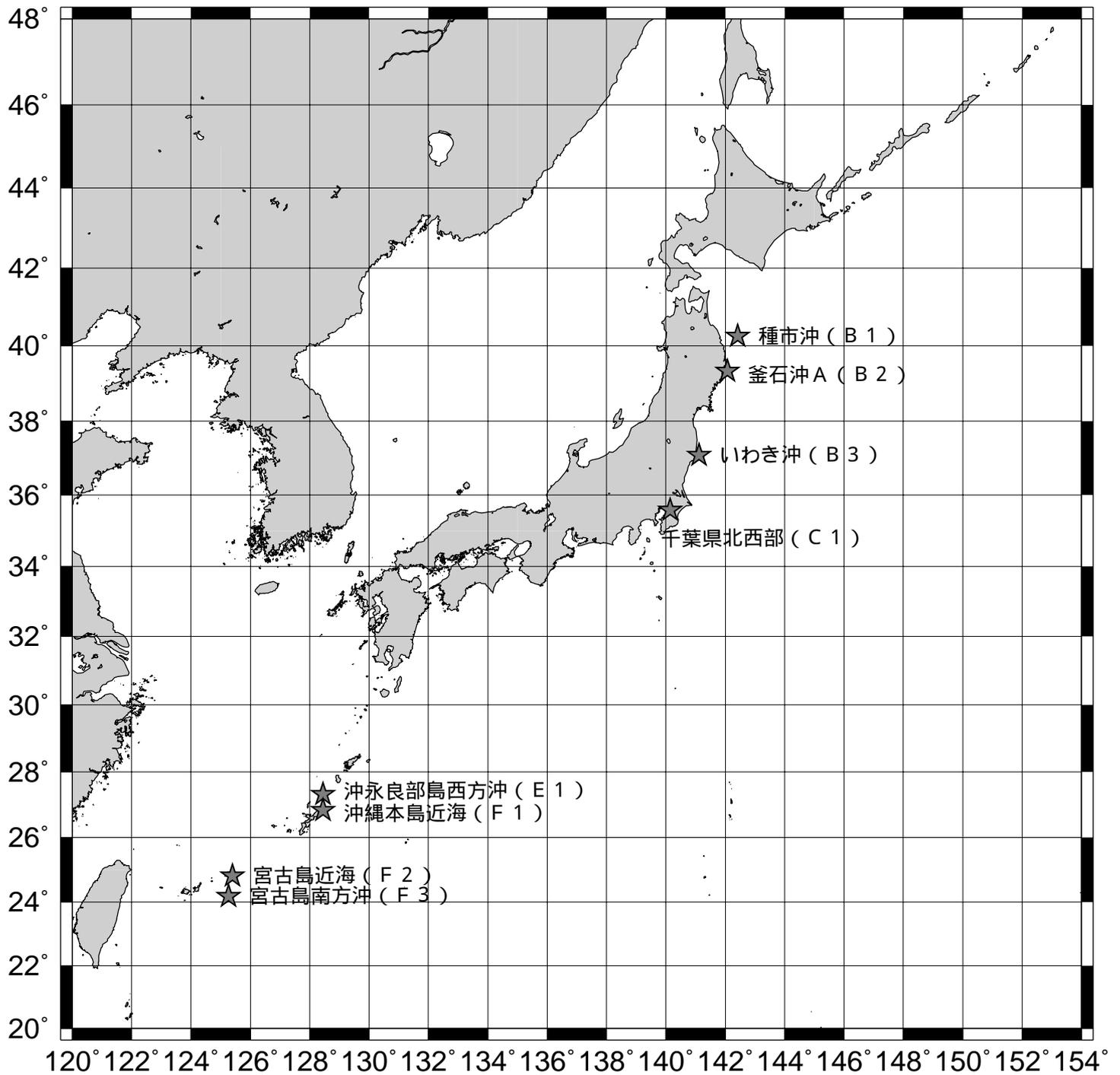
(震源過程の違いが現れないほど長周期でかつ異なったアスペリティーの違いを判別できるほど短周期の地震波を抽出するには、対象イベントのMに応じてどの程度のバンドパスフィルタを施せば良いか。)

- ・適用するフィルタによってグルーピングが異なる場合が存在（現在調査中の未報告のもの）。
- ・比較する波形の記録がなく相似性を確認できない期間について、イベントを採用するか否かの基準。
- （釜石沖の繰り返し地震群(第4図)に1950年4月3日のイベントを加えるか否か、  
いわき沖の繰り返し地震群(第5図)に1943年8月22日のイベントを加えるか否か)
- ・どの程度の規模の違いは許容するか。

（中村雅基・今村翔太・溜瀧功史・高木康伸・山田安之・石垣祐三・前田憲二・岡田正実）

#### 参 考 文 献

- 1) 気象庁, 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), 連絡会報, 82, 84-90.
- 2) Matsuzawa, T., T. Igarashi, and A. Hasegawa, 2002, Characteristic small-earthquake sequence off Sanriku, northeastern Honshu, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 29, doi:10.1029/2001GL014632.
- 3) 気象庁, 2006, 千葉県北西部で発生するM6クラスの地震の周期性, 連絡会報, 75, 240-242.
- 4) 防災科学技術研究所, 2007, 2006年8月31日千葉県中部の地震(Mj4.8)ー相似地震解析結果ー, 連絡会報, 77, 129-131.
- 5) 溜瀧功史, 山田安之, 石垣祐三, 高木康伸, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 2009a, 琉球弧で見つかったいくつかの固有地震的地震活動, 地球惑星科学連合 2009年大会, S149-P005.
- 6) 溜瀧功史, 山田安之, 石垣祐三, 高木康伸, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 2009b, 宮古島近海における固有地震的地震活動, 地球惑星科学連合 2009年大会, S149-004.
- 7) Heki, K and T. Kataoka, 2008, On the biannually repeating slow slip event at the Ryukyu Trench, Southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, 113, B11402, doi:10.1029/2008JB005739.
- 8) 瀬野徹三, 1995, プレートテクトニクスの基礎, 朝倉書店, PP. 145.
- 9) Hanks, T. C., and H. Kanamori, 1979, A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, 84, 2348 - 2350.
- 10) 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.
- 11) 長谷川安秀・橋本徹夫・草野富二夫・吉川一光・大西星司, 2005, 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 2, 58, 67-70.
- 12) 気象庁, 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), 連絡会報, 82, 417-422.



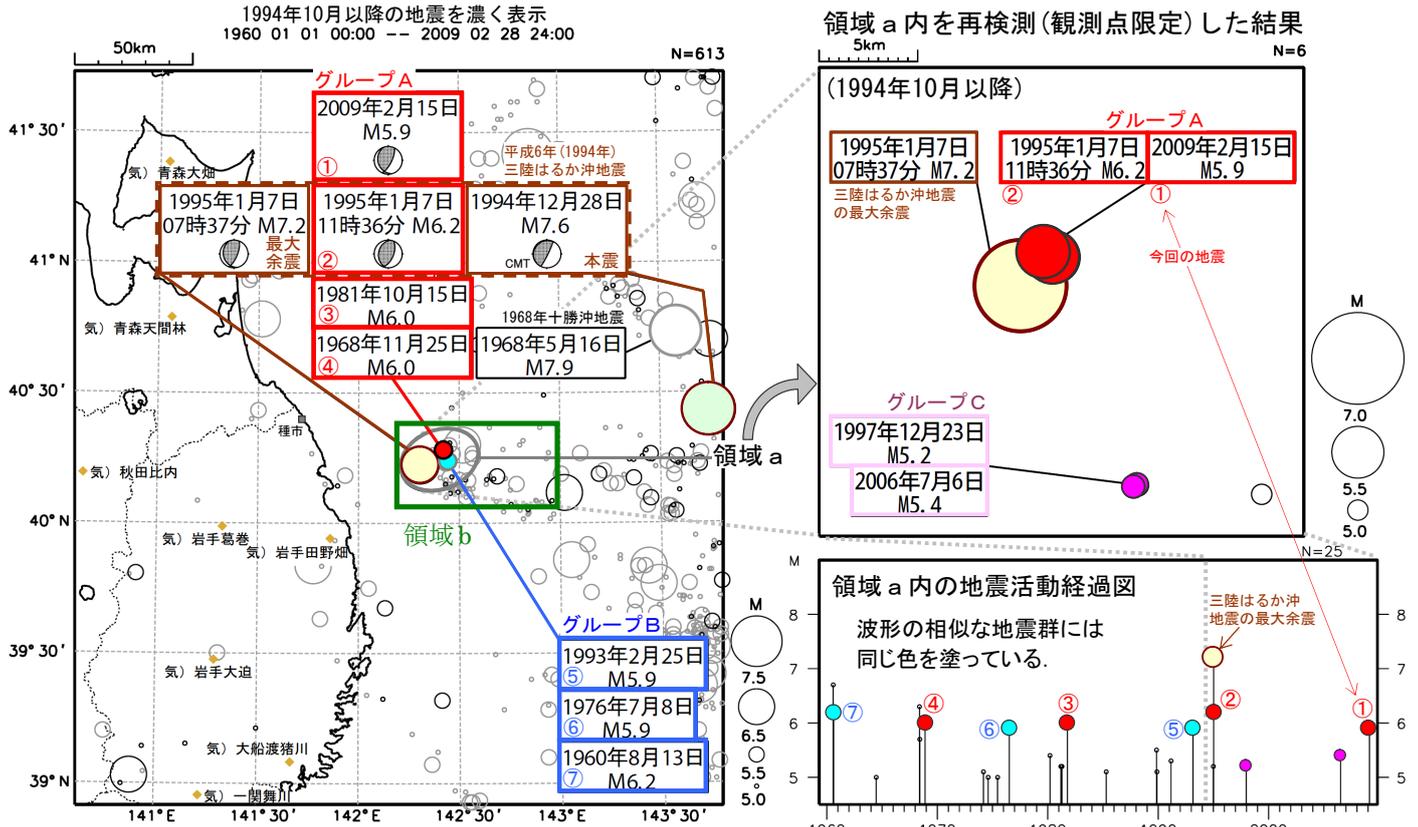
第1図 これまでに抽出された中～大規模繰り返し地震の震央分布。括弧内のIDは第1表で記されているものと同じ。

Fig.1 Epicenter distribution of medium and large recurrent earthquakes. The ID's, which are used in Table 1, are shown in brackets.

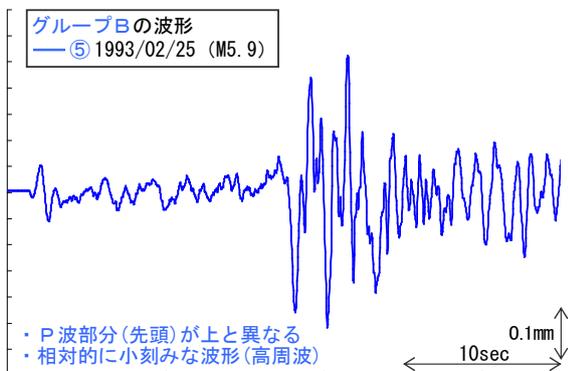
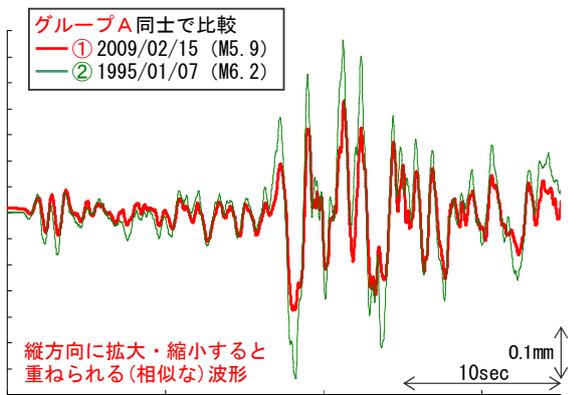
# 岩手県沖（種市沖）の固有地震

平成6年(1994年)三陸はるか沖地震の最大余震の震源近傍に、M6の2グループの繰り返し地震

震央分布図 (1960年以降, 深さ0~100km, M $\geq$ 5.0)



波形(大船渡観測点の変位の上下方向成分)



岩手県沖(種市沖)のプレート境界で①2009年2月15日にM5.9の地震(最大震度4)が発生した。この地震の震源とほぼ同じところで、②1995年1月7日(M6.2)、③1981年10月15日(M6.0)、④1968年11月25日(M6.0)にも同規模(M6.0程度)の地震が発生しており、これらの地震は、発生間隔(約14年)がほぼ一定で波形もよく似ている(左図;グループA)。さらに、領域b内で発生した地震を過去に遡ると、1955年6月5日(M5.9)、1940年2月9日(M6.1)にグループAに属すると考えられる地震が発生している。これらは、プレート境界上に存在する同一のアスペリティが破壊されることにより周期的に発生する固有地震であると考えられる。

近傍では、「平成6年(1994年)三陸はるか沖地震」(M7.6)の最大余震(1995年1月7日, M7.2, ②はこの地震の余震)が発生しているほか、別の繰り返し地震が⑤1993年2月25日(M5.9)、⑥1976年7月8日(M5.9)、⑦1960年8月13日(M6.2)に発生している(グループB: これらもグループ内で地震波形がよく似ており、領域b内で発生した地震を過去に遡ると、1944年3月10日(M6.2)の地震がこのグループに属すると考えられる)にもかかわらず、今回の地震(M5.9)は発生間隔を大きく乱されることなく発生しているように見える。

なお、グループB(M6.0程度, 発生間隔約16年)の繰り返し地震については、前回発生(⑤1993年2月)からすでに17年近く経過したところである。更新過程小標本論対数正規分布モデル(基準日2009/12/01)を用いると、当該領域では次のグループAの地震が2021年9月~2024年3月の間に、グループBの地震が2011年3月までに70%の確率で発生すると推定できる。

第2図 種市沖の固有地震的地震活動

Fig. 2 Characteristic earthquake sequences off Iwate Prefecture, northeastern Honshu, Japan.

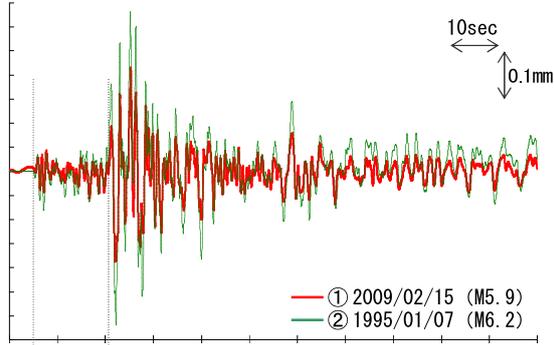
# 岩手県沖（種市沖）の固有地震（波形）

M6級の相似地震が2グループ発生していることを確認

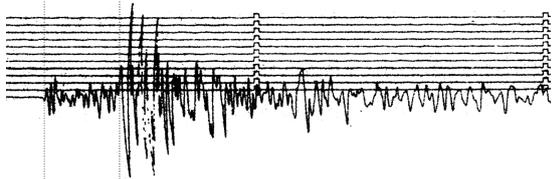
## グループA

①～④ 大船渡観測点の変位波形（上下方向）

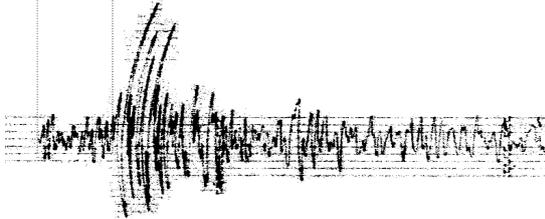
- ① 2009/02/15 (M5.9)
- ② 1995/01/07 (M6.2)



③ 1981/10/15 (M6.0)



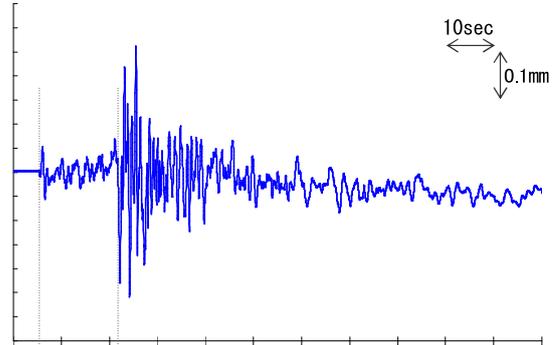
④ 1968/11/25 (M6.0)



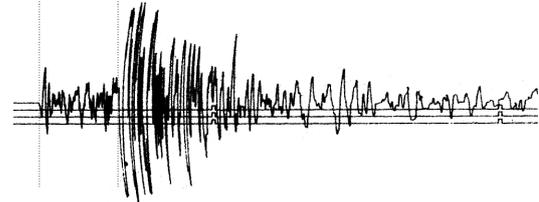
## グループB

⑤, ⑥ 大船渡観測点の変位波形（上下方向）

- ⑤ 1993/02/25 (M5.9)



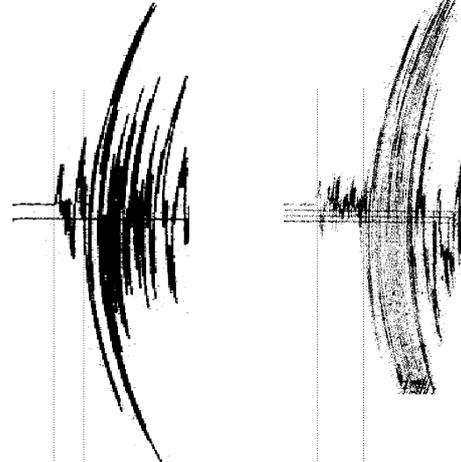
⑥ 1976/07/08 (M5.9)



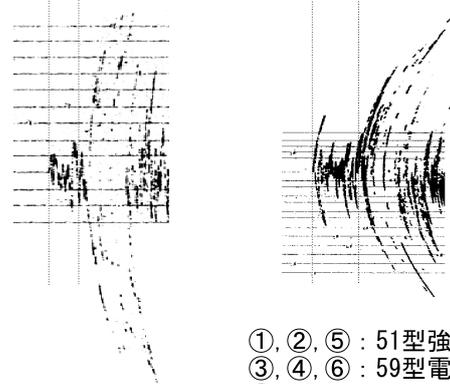
⑥, ⑦

(左) 宮古観測点の変位波形（南北方向）  
(右) 盛岡観測点の変位波形（東西方向）

⑥ 1976/07/08 (M5.9)



⑦ 1960/08/13 (M6.2)



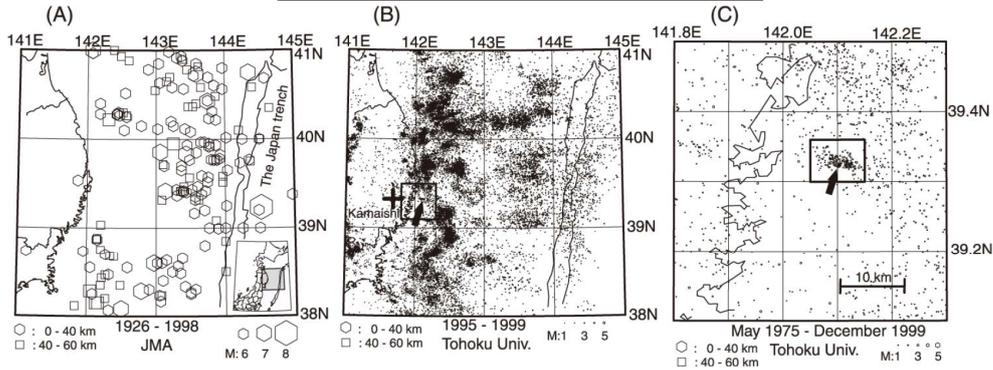
- ①, ②, ⑤ : 51型強震計相当
- ③, ④, ⑥ : 59型電磁地震計
- ⑦ : ウィーヘルト式地震計

第3図 種市沖の固有地震の変位波形記録の比較

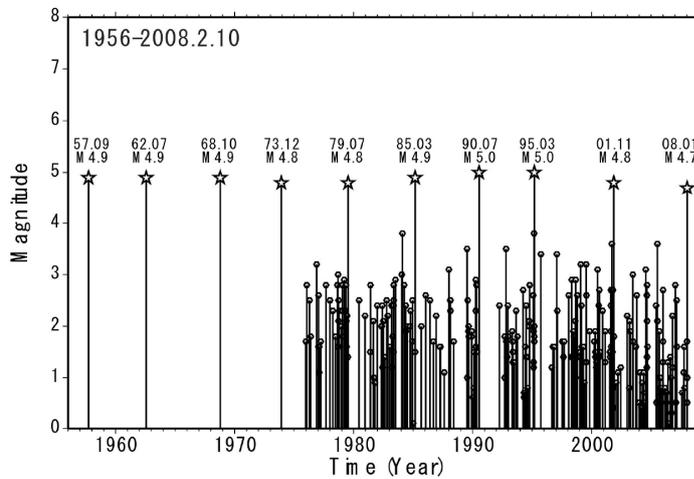
Fig. 3 Seismograms from characteristic earthquake sequences off Iwate Prefecture.

# 釜石沖の固有地震的地震活動

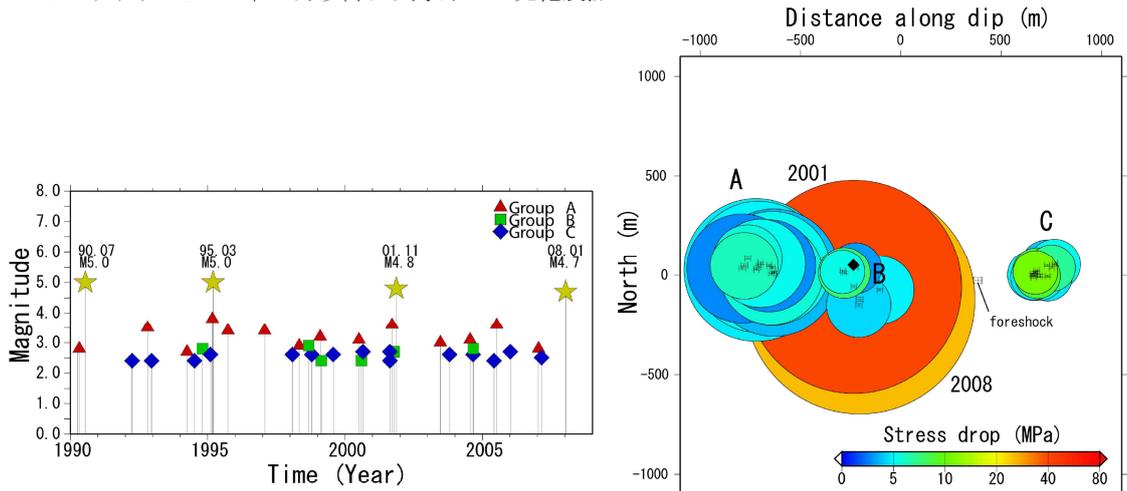
東北大学により全国に先駆けて発見



釜石沖の  $M \sim 4.9$  の固有地震的活動を含む地震クラスターの位置 (Matsuzawa et al., 2002). (A) 気象庁の  $M6$  以上の地震の震央分布 (1926~1998 年). (B) 東北大による微小地震の震央分布 (1995~1999 年). (C) 図(B) の枠内の拡大図. 枠内が  $M \sim 4.9$  の地震群を含むクラスターである.



釜石沖の固有地震的クラスターの M-T 図.  $M4$  以上の地震については, 気象庁の変位マグニチュードを示す (1995 年の地震は速度マグニチュードが  $M5.1$ ).  $M4$  未満の地震は 1976 年以降についてのみ示す. 2003 年 5 月以降は気象庁の一元化震源カタログ.



Multi Window Spectral Ratio 法 (Imanishi and Ellsworth, 2006) によって推定した, 釜石沖の地震群の震源 (重心) 位置, 断層サイズと応力降下量. 上図: 図 4 に示した想定プレート境界に沿った面 (38 度で西傾斜) に投影した断層面分布. 色は応力降下量を示す. 1995 年 4 月~2008 年 1 月に発生した  $M2.4$  以上の地震を解析した. 下図: グループ毎の M-T 図. 各グループをシンボル分けして示す.

第 4 図 釜石沖の固有地震的地震活動. 東北大学による(地震予知連絡会会報第 80 巻より抜粋).  
Fig. 4 Characteristic earthquake sequence off Sanriku, northeastern Honshu, Japan.

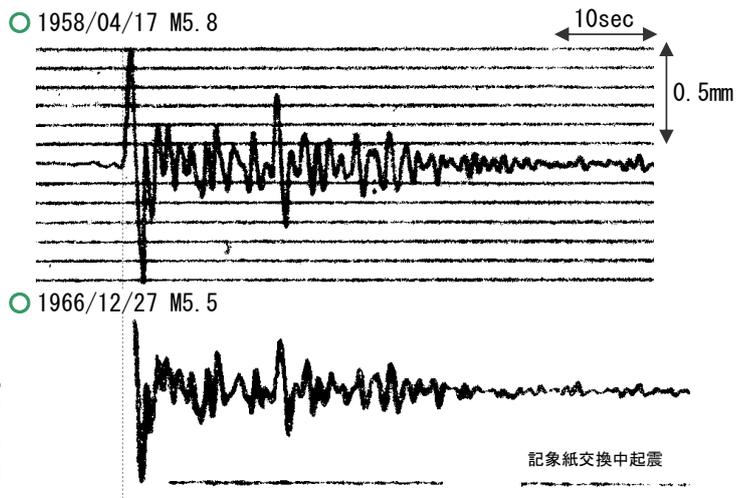
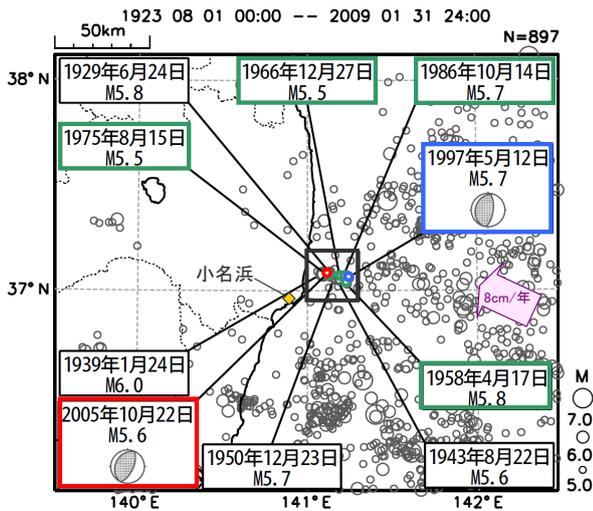
# 福島県沖（いわき沖）の固有地震（M5.7程度，8.5年間隔）

8年半ごとのM5.7程度の地震は、波形がよく似ている固有地震

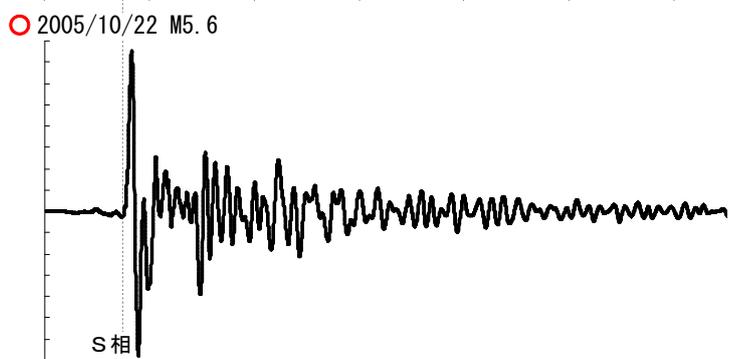
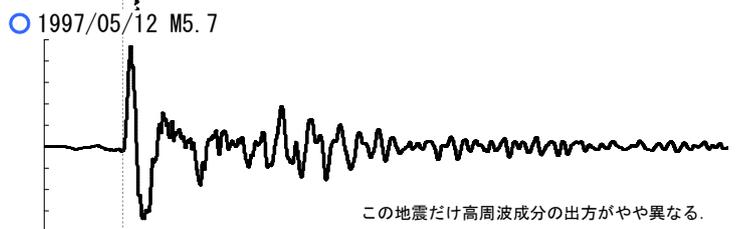
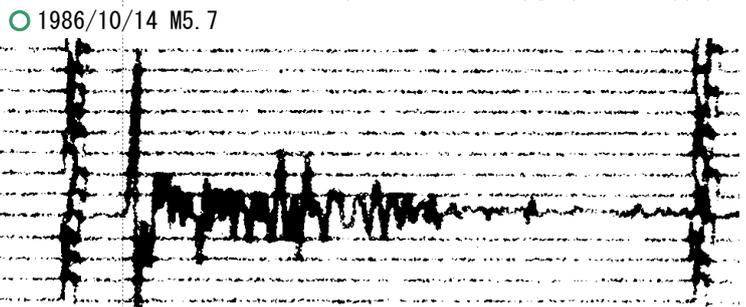
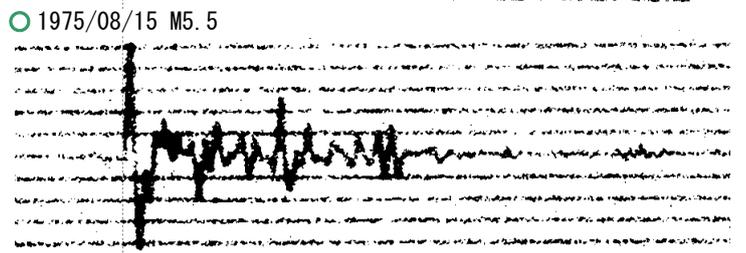
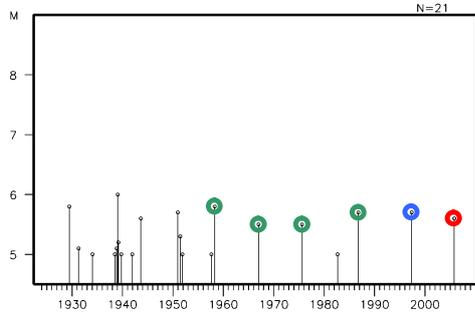
震央分布図（1923年8月以降，深さ0~100km，M≥5.0）

小名浜観測点の変位波形（東西方向）

（気象庁機械式1倍強震計，固有周期6秒）



上図矩形領域内の地震活動経過図



福島県沖で2009年1月3日に発生した地震 (M4.8) の周辺では、1923年以降、ひと回り大きいM5.7程度の繰り返し地震が平均8.5年間隔で10回発生しており、震源が比較的近く規模・発生間隔がほぼ一定であることから固有地震的な地震活動として指摘されている<sup>1)</sup>。

M5.7程度の地震の主破壊領域のサイズに対応する波 (1Hz程度以下の低周波) を主に見るため、強震波形 (1958年以降の6回の地震、右図) を比較すると、位相はよく一致しており、波源は同じ場所 (精度1km以内) と考えられる。

また、M5.7程度の地震のすべり量 (50~80cm程度) は、この付近の太平洋プレートの沈み込み速度 (8cm/年) に発生間隔 (8.5年) を乗じた値にほぼ一致している<sup>※1</sup>。

以上から、これらの地震 (M5.7程度，8.5年間隔) はプレート境界上の同じアスペリティが破壊されることにより周期的に繰り返し発生する固有地震であると考えられる。

※1:すべり量の計算はNadeau & Johnson(1998)<sup>10)</sup>，プレート間相対速度ベクトルは瀬野(1995)<sup>8)</sup>による。

第5図 いわき沖の固有地震的地震活動(M5.7)

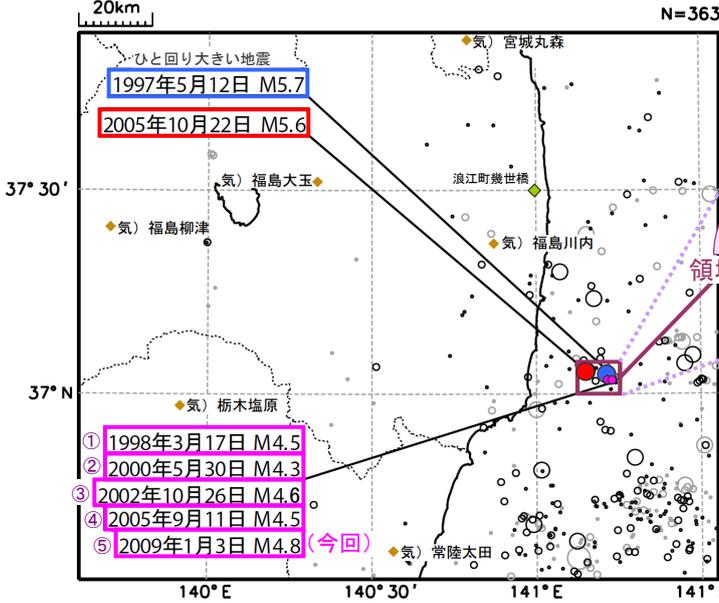
Fig.5 Characteristic earthquake sequence of M5.7 off Fukushima Prefecture, northeastern Honshu, Japan.

# 福島県沖（いわき沖）の固有地震

M4.8の2～3年ごとに発生する繰り返し地震、近傍にはひと回り大・小の相似地震が3グループ

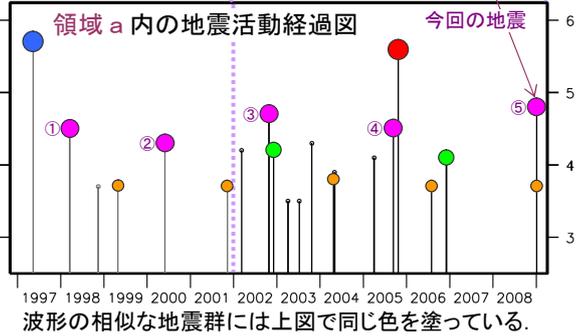
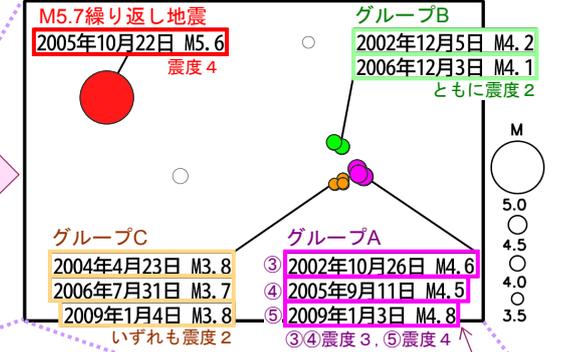
震央分布図（1997年1月以降、深さ120km以浅、 $M \geq 3.5$ ）

観測点を限定し、走時表は全期間にJMA2001を適用した再計算震源  
1997 01 01 00:00 -- 2009 01 31 24:00



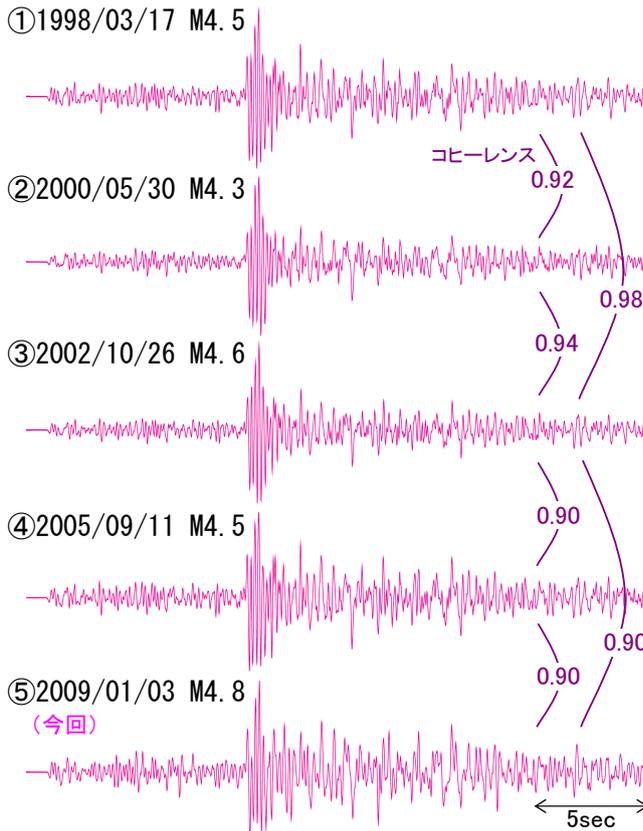
領域 a 内 (2002年以降) を再計算した結果

(観測点を限定: 福島川内・大玉、宮城丸森、常陸太田)



常陸太田観測点の速度波形 (上下方向)

波形にはバンドパスフィルタ(1~5Hz)をかけている。



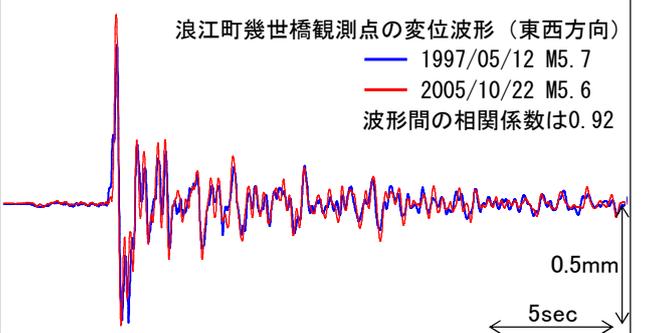
コヒーレンス (P波検出0.5秒前から40秒間の波形を周波数帯1~5Hzで比較)

	①	②	③	④	⑤
①	1.00	0.92	0.98	0.98	0.88
②	0.92	1.00	0.94	0.98	0.83
③	0.98	0.94	1.00	0.90	0.90
④	0.98	0.98	0.90	1.00	0.90
⑤	0.88	0.83	0.90	0.90	1.00

2009年1月3日16時13分に福島県沖のプレート境界でM4.8の地震が発生した。この地震は、1998年3月17日 (M4.5)、2000年5月30日 (M4.3)、2002年10月26日 (M4.6)、2005年9月11日 (M4.5) の地震と波形の相似性が高く (左図)、同じところ (精度0.5km以内、右上図) で発生していることから、プレート境界上に存在する同ニアスペリティの破壊が繰り返し地震を引き起こしていると考えられる (グループA: 1998年以降、M4.5程度の地震が5回繰り返し発生)。

近傍では、ひと回り大きい繰り返し地震が発生している (1997年5月12日 (M5.7)、2005年10月22日 (M5.6) の波形はよく似ている: 下図) ほか、ひと回り小さい相似地震も2グループ発生している (グループB (M4.2)、グループC (M3.8)) にもかかわらず、今回の地震 (M4.8) は発生間隔を大きく乱されることなく発生しているように見える。

(参考) ひと回り大きい繰り返し地震



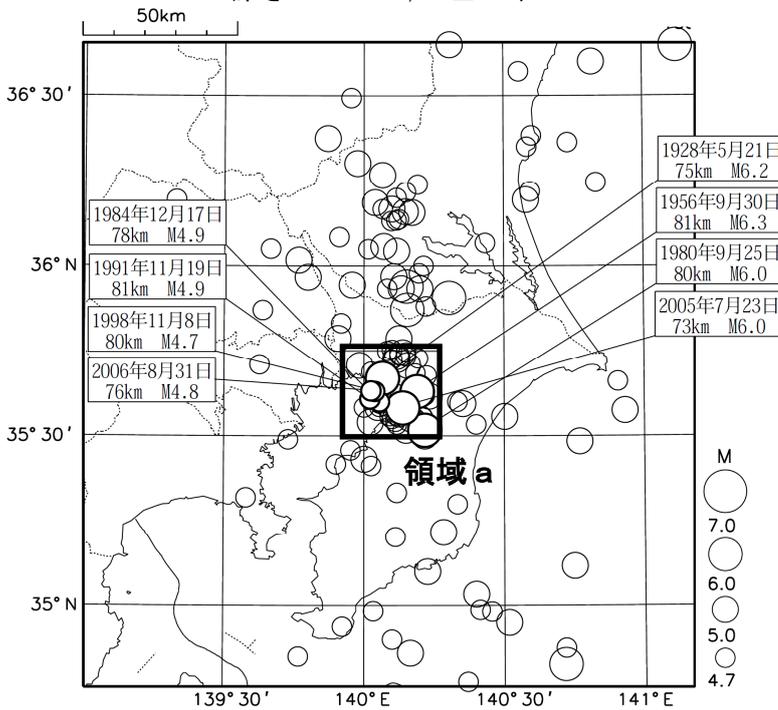
第6図 いわき沖の繰り返し地震(M4.8)

Fig.6 Recurrent earthquake sequence of M4.8 off Fukushima Prefecture.

# 千葉県北西部で準周期的に発生する M6 クラスの地震

24~28 年とほぼ等間隔で発生

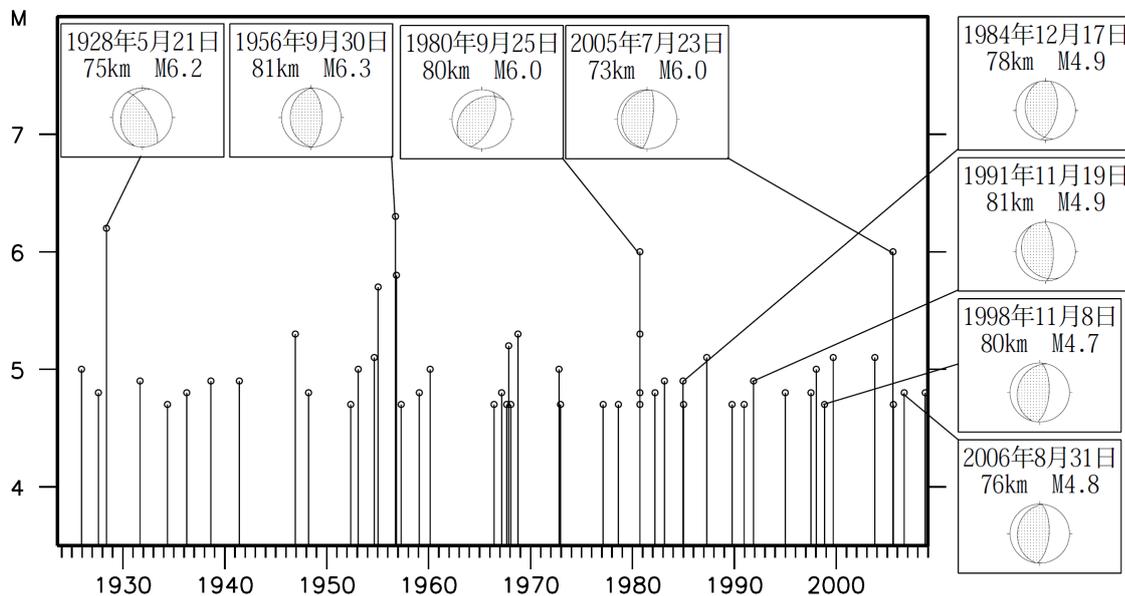
震央分布図(1923 年 8 月 1 日~2008 年 12 月 31 日,  
深さ 70~90km,  $M \geq 4.7$ )



千葉県北西部で準周期的に M6 クラスの地震が 4 つ発生している(地震予知連絡会会報第 75 巻). 2005 年 7 月 23 日に発生した地震では, 東京都内で最大震度 5 強を観測した. これら 4 つの地震は, 規模, 有感範囲, 発震機構, 波形がよく似ている. これらのことから, これらの 4 つの地震はほぼ同じ場所かつ破壊過程で発生した可能性が高い.

これらの地震の発生間隔は 24~28 年とほぼ等間隔で発生しており, 太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界上の中規模なアスペリティの繰り返しすべりであると考えられる.

また, その近傍では, 平均 M4.8 の波形の相関の高い地震が準周期的に 4 つ発生している(防災科学技術研究所による; 地震予知連絡会会報第 77 巻). これらの地震も同様に, 太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界上の中規模なアスペリティの繰り返しすべりであると考えられる.

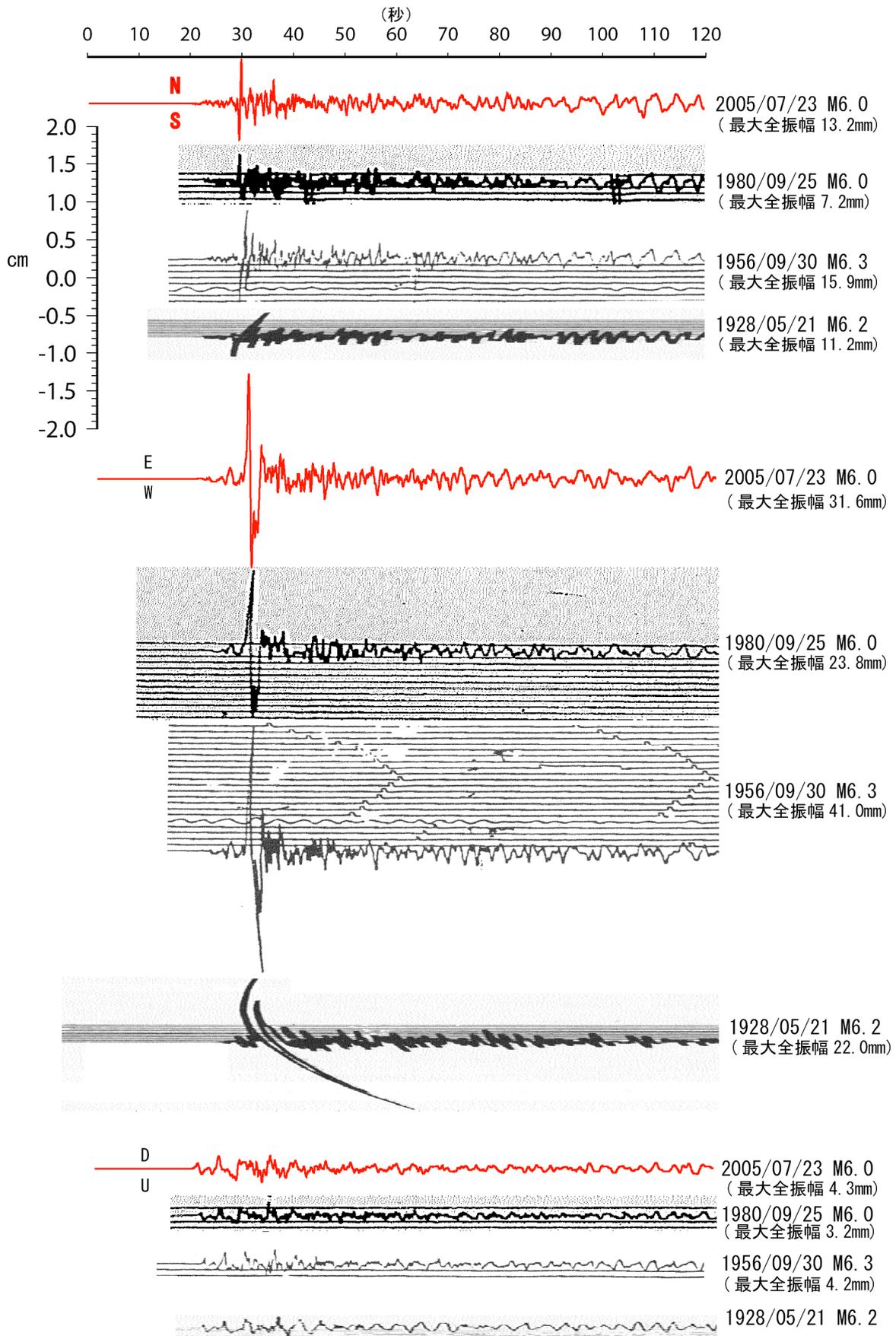


矩形領域 a 内の地震活動経過図と準周期的に発生する地震の初動メカニズム解

第7図 千葉県北西部の固有地震的地震活動

Fig.7 Characteristic earthquake sequence beneath the northwestern part of Chiba Prefecture, Japan.

千葉県北西部で準周期的に発生する M6 クラスの地震  
 東京 (TOKYO) 観測点における変位記録 (機械式強震計) の比較



第8図 千葉県北西部の固有地震の変位波形記録の比較

Fig.8 Seismograms from characteristic earthquake sequence beneath the northwestern part of Chiba Prefecture.

# 沖永良部島西方沖の固有地震

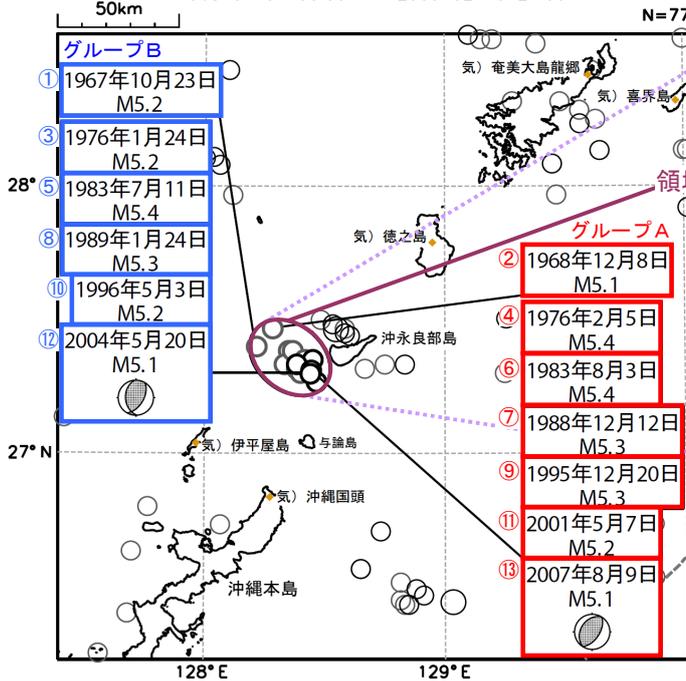
M5クラスの近接した2つの固有地震（繰り返し地震）を確認

震央分布図（1965年以降、深さ0~120km、M≥5.0）

2003年以前の地震はISC震源（Mは実体波マグニチュードmb）

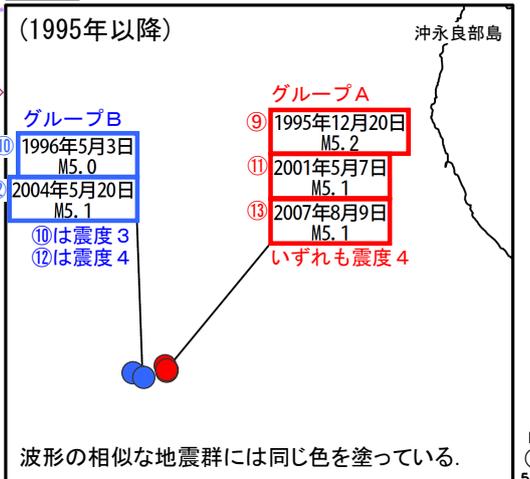
2004年以降の地震は気象庁震源

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

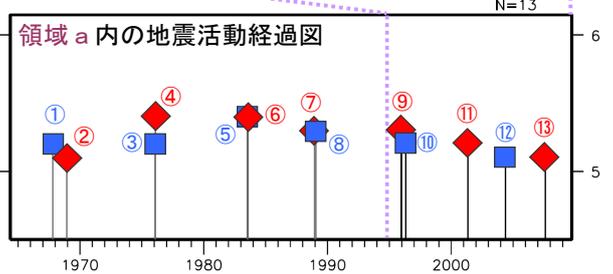


領域 a 内を再計算（観測点限定）した結果

Mは気象庁マグニチュード

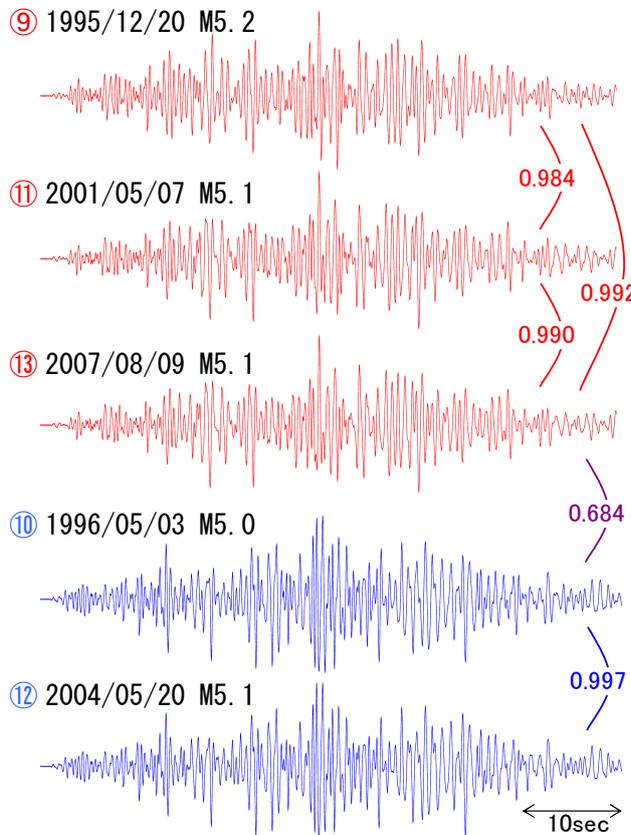


波形の相似な地震群には同じ色を塗っている。



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。  
Mは気象庁マグニチュード。



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。

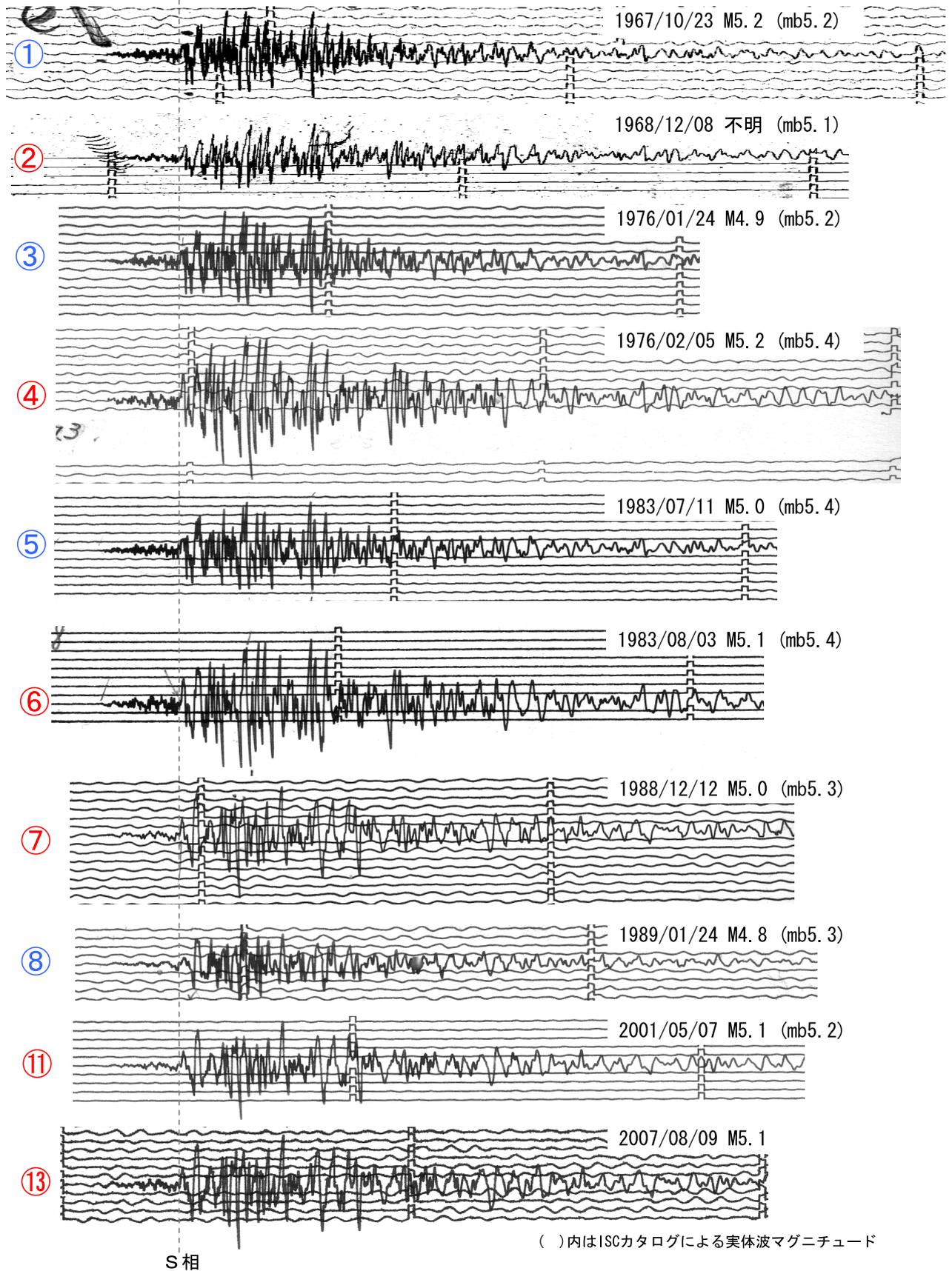
更新過程小標本論対数正規分布モデル（基準日2009/12/01）を用いると、当該領域では次のグループAの地震が2012年11月~2015年4月の間に、グループBの地震が2010年9月~2013年6月までに70%の確率で発生すると推定できる。

第9図 沖永良部島西方沖の固有地震的地震活動

Fig.9 Characteristic earthquake sequences west off Okinoerabujima Island, the Ryukyu arc, Japan.

# 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) の比較



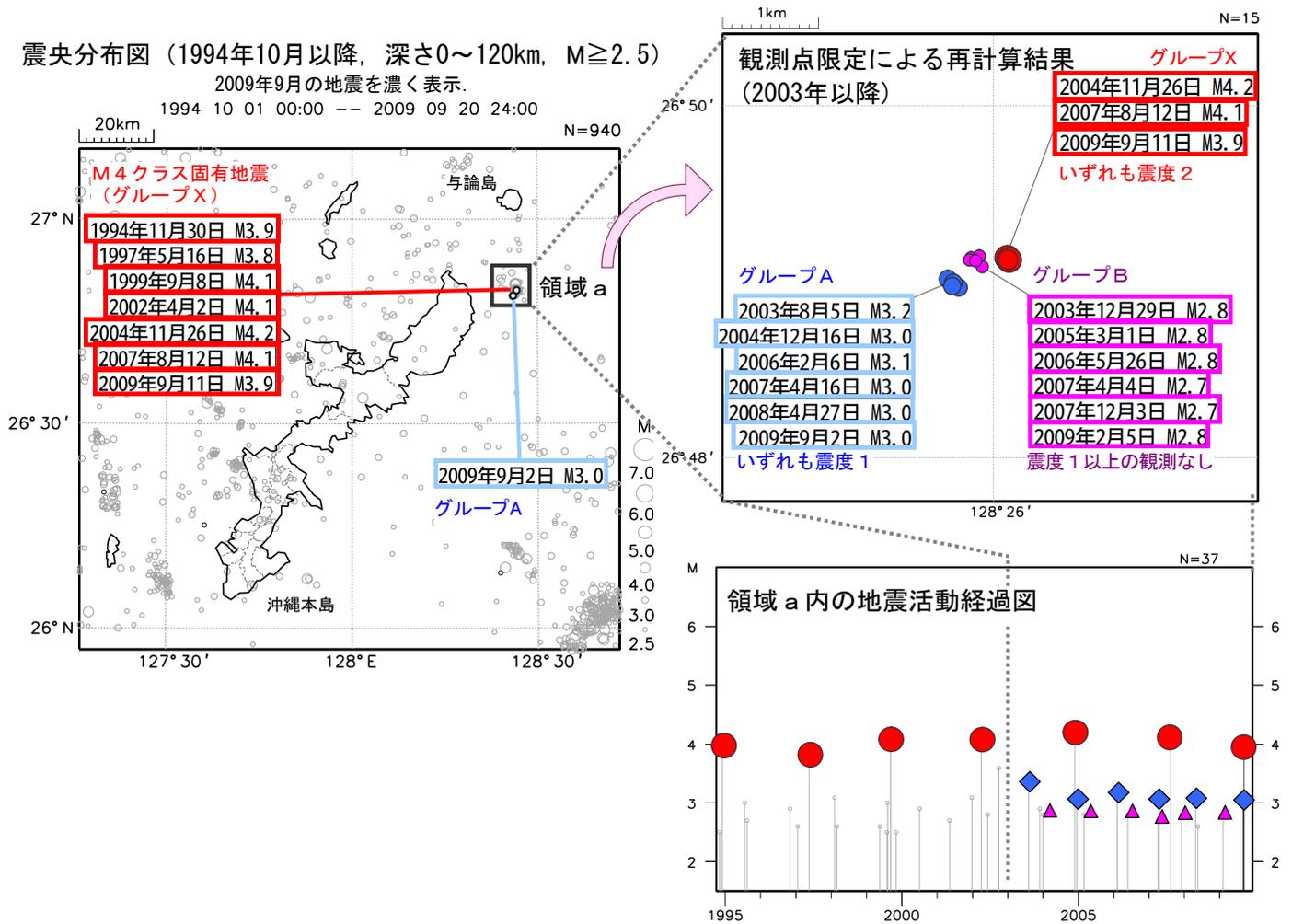
※ ⑨, ⑩: 1992~96年まで59型地震計は欠測. ⑫: 2004年5月20日の東西成分はインク切れのため読み取れず.  
1987年(⑥-⑦間)に近隣への移設が行われた.

第10図 沖永良部島西方沖の固有地震の変位波形記録の比較

Fig.10 Seismograms from characteristic earthquake sequences west off Okinoerabujima Island.

# 沖繩本島近海（国頭村東方沖）の固有地震

M4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



沖繩本島近海（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7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, 2009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。

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。

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2009/12/01）を用いると、当該領域では次のM4クラスの地震が2011年11月~2012年6月の間に70%の確率で発生すると推定できる。

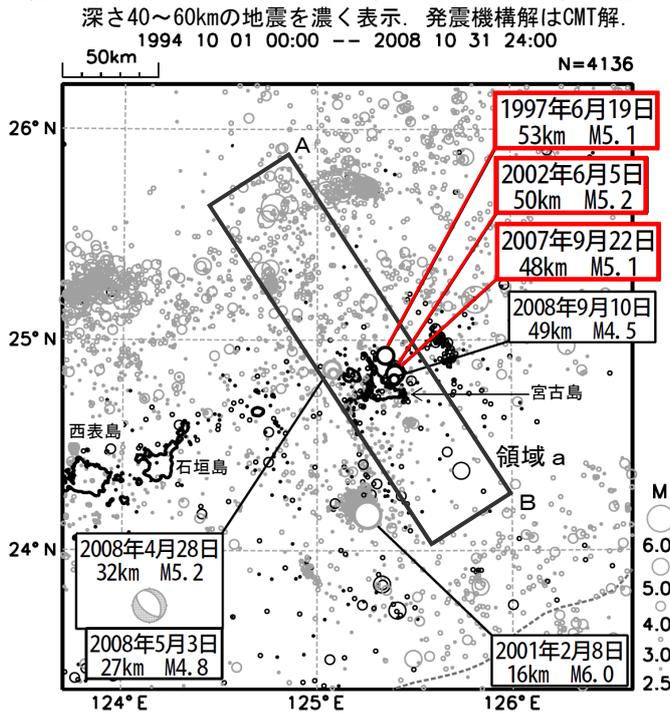
第11図 沖繩本島近海の固有地震的地震活動

Fig.11 Characteristic earthquake sequence near Okinawa Island, the Ryukyu arc, Japan.

# 宮古島近海の繰り返し地震（固有地震）

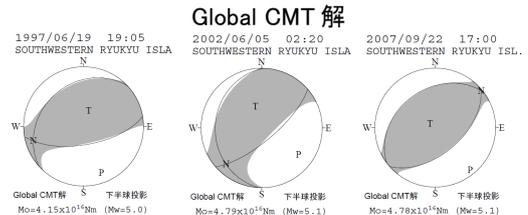
M5クラスの相似地震を確認

震央分布図（1994年10月以降、深さ0~150km、M $\geq$ 2.5）

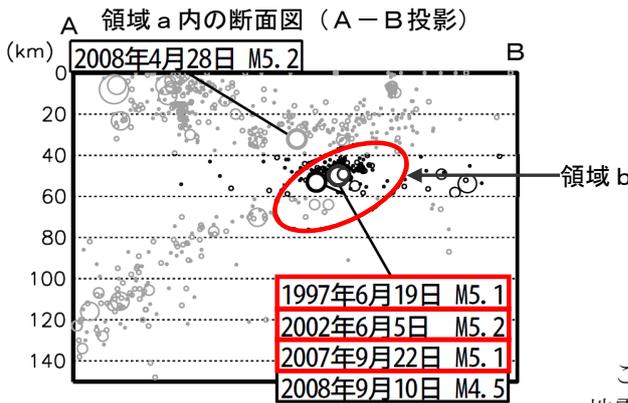
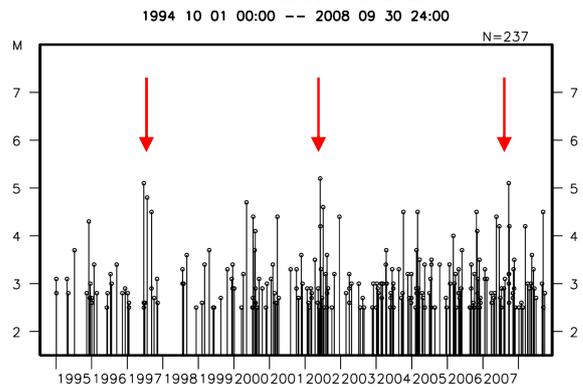


1994年10月以降の地震活動を見ると、2008年9月10日の地震の震源付近（領域b）では、M5.1程度の地震が約5~6年毎に発生している（1997年6月19日にM5.1（最大震度4）、2002年6月5日にM5.2（最大震度3）、2007年9月22日にM5.1（最大震度3））。

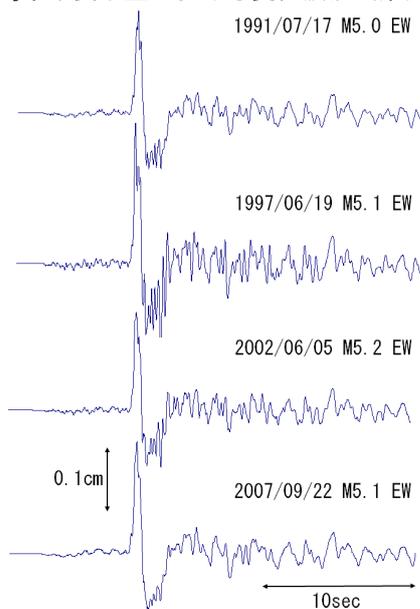
これらの地震の発震機構（Global CMT解）は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した地震であると考えられる。



領域b内の地震活動経過図



宮古島市平良下里における変位波形（東西方向）



これら（1997年6月、2002年6月、2007年9月）の地震波形は互いによく似ている。

さらに、宮古島周辺の過去の地震を調べたところ、波形の互いによく似た地震の発生は、1991年7月17日（最大震度3）、1985年4月30日（最大震度2）、1978年8月29日（最大震度3）、1971年10月21日（最大震度3）、1966年7月11日（最大震度3）までさかのぼれることが分かった。

1966年7月以降、宮古島近傍の深さ約50kmでM5.1程度の地震が周期的に（平均発生間隔5.9年毎に）8回発生していることから、プレート境界上に存在する同じアスペリティが繰り返し地震を引き起こしている可能性が高い。

更新過程小標本論対数正規分布モデル（基準日2009/12/01）を用いると、当該領域で次のM5クラスの地震は2012年9月~2014年7月までに70%の確率で発生すると推定できる。

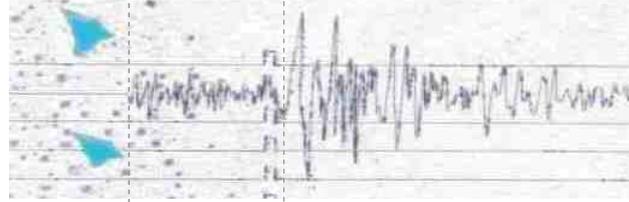
第12図 宮古島近海の固有地震的地震活動

Fig.12 Characteristic earthquake sequence near Miyakojima Island, the Ryukyu arc, Japan.

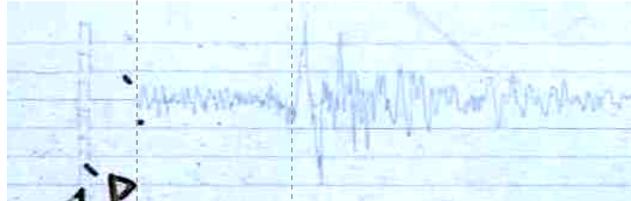
# 宮古島近海の繰り返し地震（互いによく似た波形）

石垣島における変位波形（上下方向）

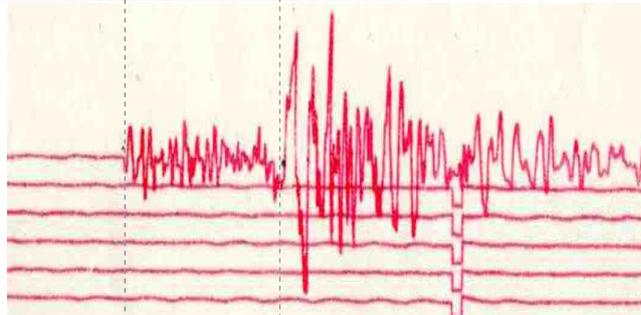
1966年7月11日 — (mb5.2) 最大振幅44  $\mu\text{m}$



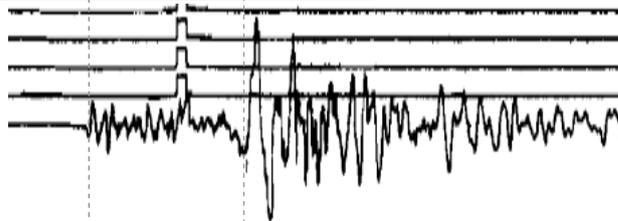
1971年10月21日 — (mb5.3) 最大振幅43  $\mu\text{m}$



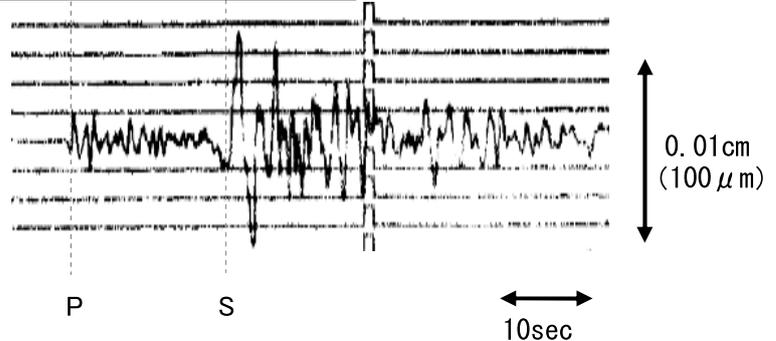
1978年8月29日 M5.0 (mb5.3) 最大振幅70  $\mu\text{m}$



1985年4月30日 M5.1 (mb5.4) 最大振幅53  $\mu\text{m}$



1991年7月17日 M5.0 (mb5.3) 最大振幅57  $\mu\text{m}$



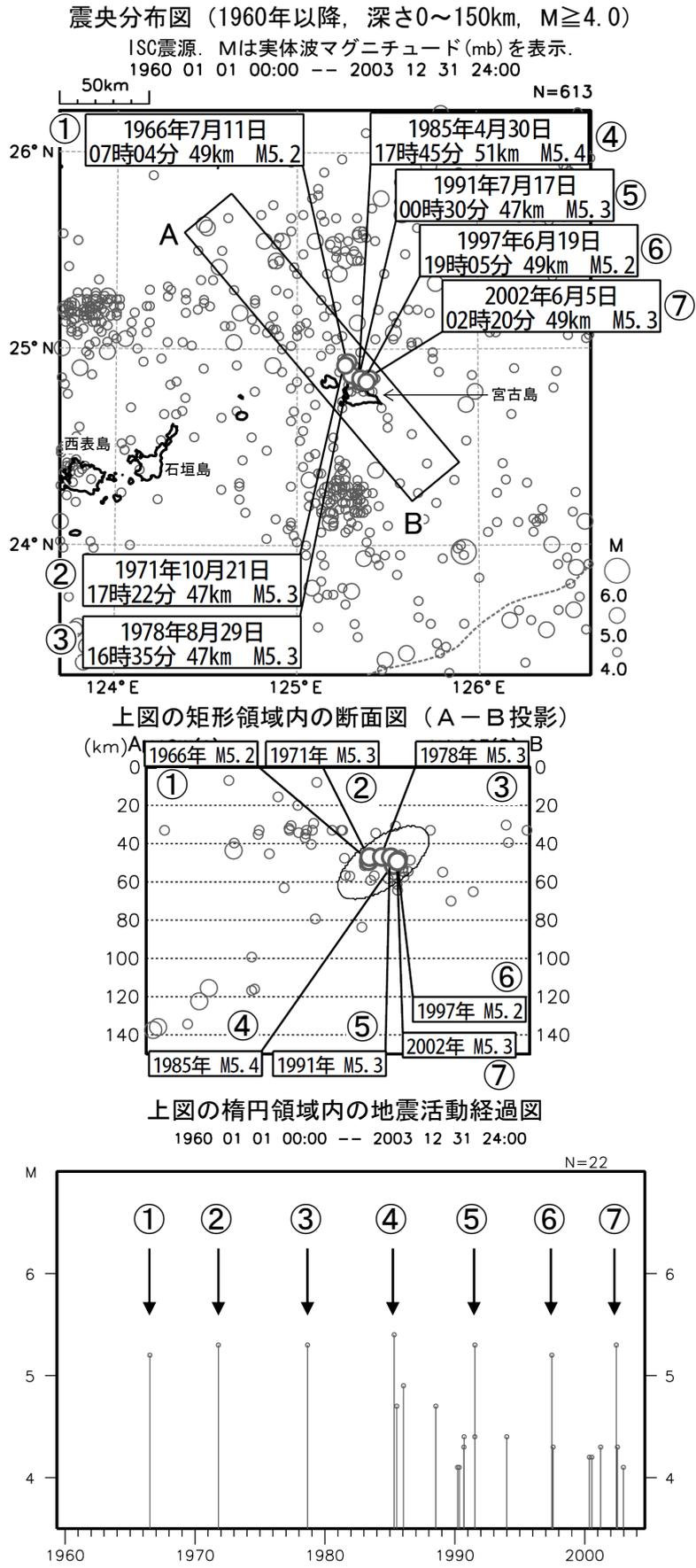
( )内は ISC カタログによる実体波マグニチュード

第13図 宮古島近海の固有地震の変位波形記録の比較

Fig.13 Seismograms from characteristic earthquake sequence near Miyakojima Island.

# 宮古島近海の繰り返し地震（ISC震源）

1966年から2002年までの7回、ほぼ同じ場所で、同程度の規模（mb5.2~5.4）で周期的に発生



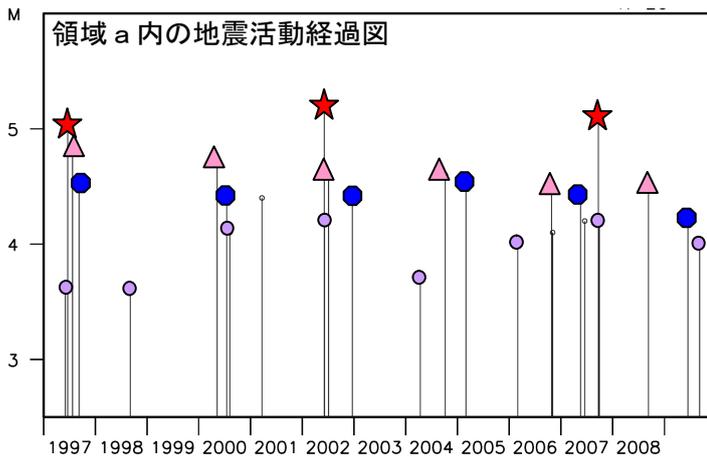
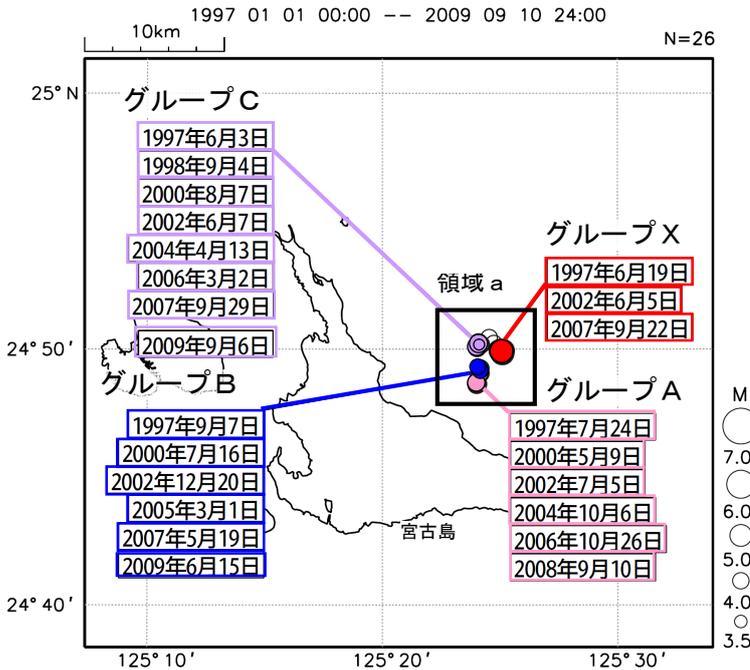
第14図 宮古島近海の固有地震的地震活動

Fig.14 Characteristic earthquake sequence near Miyakojima Island. The ISC catalogue was used.

# 宮古島近海の繰り返し地震

M4 クラスの3つの準周期的に発生する繰り返し地震群

震央分布図 (1997年1月以降, 深さ40~60km,  $M \geq 3.5$ )  
観測点限定による再計算震源



M5 クラスの繰り返し地震群(グループX)周辺で、3グループの M4 クラスの準周期的に発生する繰り返し地震群が見つかった。これらは、グループ内で同一観測点における波形の相関が極めて高く、異なるグループに属する地震とは相関係数の違いによって有意に分離できる。

1997年以降に領域 a 内で発生した地震について、再検測を行った後、震源近傍の観測点に限定して震源再決定を行った。それぞれのグループに属する地震群はクラスタを形成しており、その位置関係は左図に示すとおりである。

さらに、領域 a 内で発生した地震を過去に遡ると、波形の相関から、1993年12月29日、1991年11月24日、1990年9月10日に発生した地震がグループAに、1994年12月15日、1992年12月7日、1990年9月18日に発生した地震がグループBに、属することがわかった。

グループAとBの地震群はそれぞれ独立なアスペリティが固有の周期で発生しているようにも、相互に影響を及ぼしあいながら発生しているようにも見える。しかし、グループAのアスペリティとグループBのアスペリティが同時に破壊された例は観測されていない。

グループCの地震は2002年6月7日と2007年9月29日の2回、グループXの地震の発生から1週間以内に発生している。これは、グループCのアスペリティで十分な歪エネルギーが蓄積されていた場合、このアスペリティの破壊をグループXの地震が誘発したと解釈できる。一方、1997年6月3日のイベントではグループCが発生した16日後にグループXの地震が発生しており、グループCの地震も少なからずグループXのアスペリティに影響を及ぼしている可能性がある。しかし、グループCのアスペリティがグループXのアスペリティと同時に破壊した例は観測されていない。

第15図 宮古島近海の固有地震周辺で発生する繰り返し地震活動

Fig.15 Recurrent earthquake sequences close to characteristic earthquake sequence near Miyakojima Island.

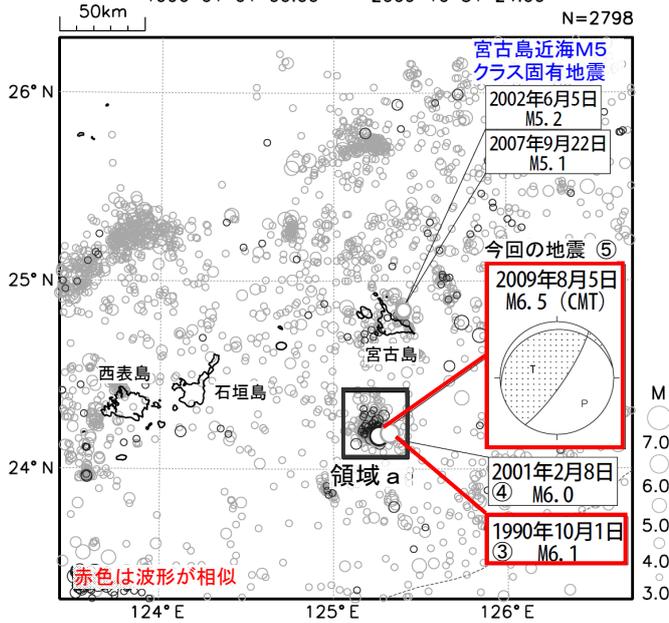
# 宮古島近海（宮古島南方沖）の繰り返し地震

M6クラスの相似地震が約22年の間隔で3回繰り返し発生（南西諸島で最大規模）

震央分布図（1990年以降、深さ0~100km, M $\geq$ 3.0）

Mは気象庁マグニチュード、2009年の地震を濃く表示

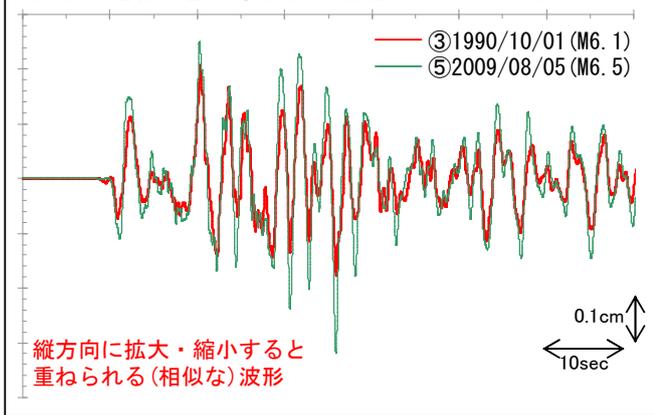
1990 01 01 00:00 -- 2009 10 31 24:00



宮古島近海（宮古島南方沖）のプレート境界で⑤ 2009年8月5日09時17分にM6.5 (mb5.9, 最大震度4) の地震が発生した。この地震の震源付近（領域a）では、M5~6程度の地震が時折発生するなど地震活動が活発な領域である。この地震の震源とほぼ同じところで、③1990年10月1日 (M6.1, mb5.9, 最大震度3)、①1966年7月11日 (mb5.8, 最大震度3)と、波形がよく似ているほぼ同規模の地震が3回発生している。これらの地震の繰り返し間隔は、24.2年(③-①)、18.9年(⑤-③)で、約22年の周期で発生している。したがって、これらの地震は、プレート境界上に存在する同一のアスペリティが破壊されることにより周期的に発生する固有地震である可能性が高い。

今回の地震の規模(M6.5)は南西諸島で確認されている繰り返し地震としては最大規模である。なお、この地震の約70km北のプレート境界でも、固有地震(M5.1, 5.9年間隔, 他3グループ)が発生しているが、このうちの最大規模のグループに属する1966年7月11日に発生したmb5.2(ISCカタログによる)の地震は、上記地震①の約6時間後に発生している。

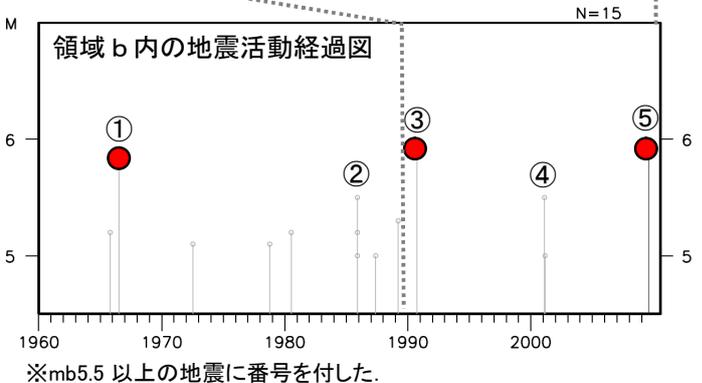
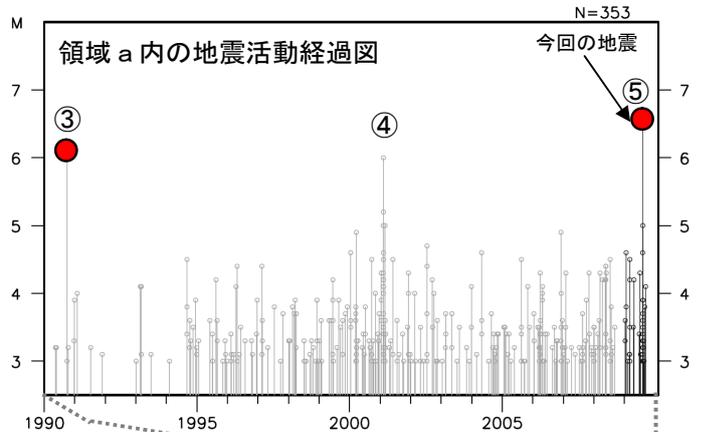
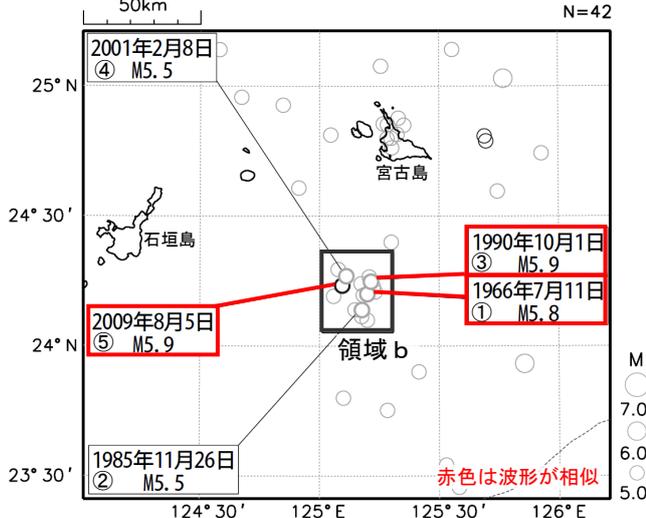
波形の比較（宮古島観測点の変位の上下方向成分）



震央分布図（1960年以降、深さ0~100km, M $\geq$ 5.0）

震源はUSGSによる、Mは実体波マグニチュード(mb)

1960 01 01 00:00 -- 2009 10 31 24:00



※mb5.5以上の地震に番号を付した。

第16図 宮古島南方沖の繰り返し地震活動

Fig.16 Recurrent earthquake sequence south off Miyakojima Island.

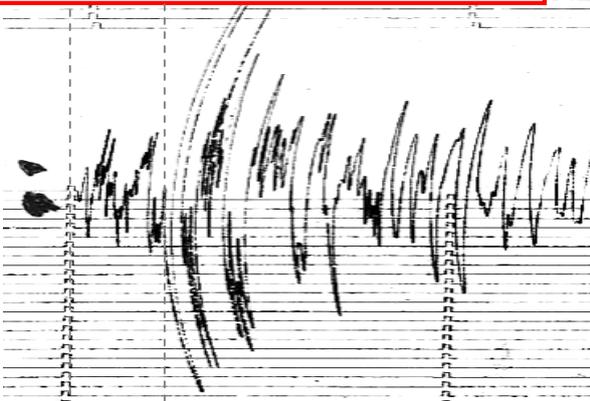
# 宮古島近海(宮古島南方沖)の繰り返し地震

M 6クラスの地震の波形が相似であることを確認

波形の比較 (石垣島観測点の変位の上下成分方向)

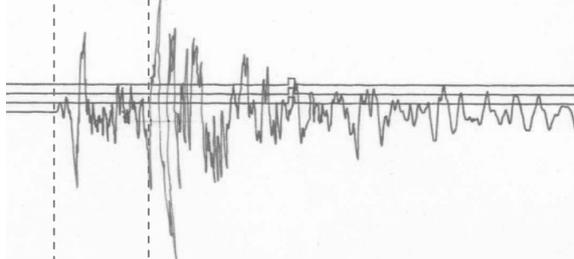
①と③が相似

①1966/07/11 M 不明 (mb5.8) ※すす書き

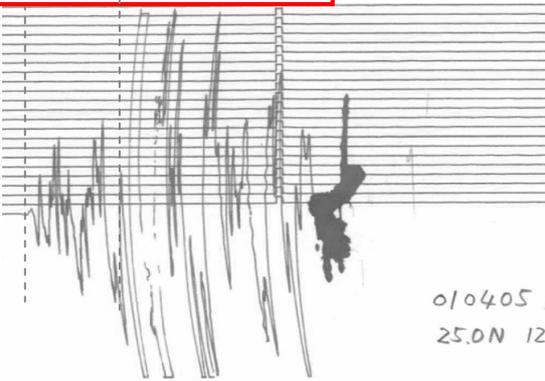


②1985/11/26 19:05 M5.7 (mb5.5)

初動:



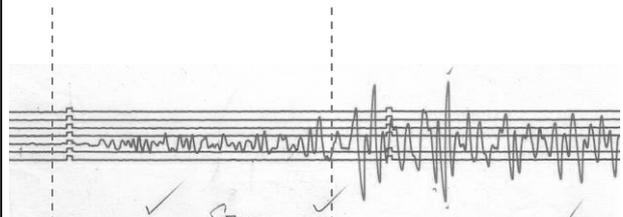
③1990/10/01 M6.1 (mb5.9)



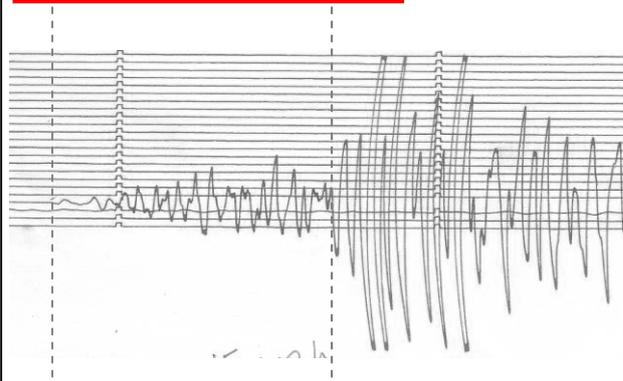
波形の比較 (那覇観測点の変位の上下成分方向)

③と⑤が相似

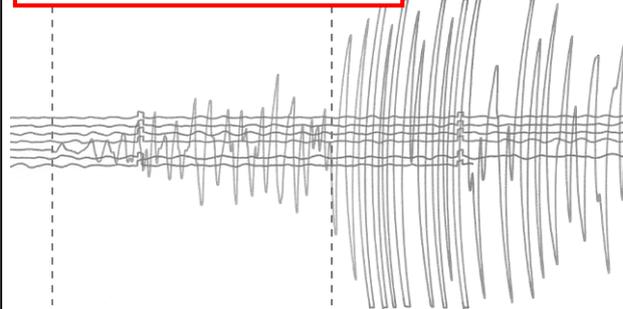
②1985/11/26 19:05 M5.7 (mb5.5)



③1990/10/01 M6.1 (mb5.9)



⑤2009/08/05 M6.5 (mb5.9)



( )内はUSGSによる実体波マグニチュード.  
地震計は全て59型.

第17図 宮古島南方沖の繰り返し地震の変位波形記録の比較

Fig.17 Seismograms from recurrent earthquake sequence south off Miyakojima Island.

第1表 繰り返し地震群の特徴と、次の地震が70%の確率で発生すると予測される期間.

Table 1 Characteristic parameters and periods of 70% probabilities for forthcoming events of recurrent earthquake groups. The ID's are shown in Fig. 1.

ID ※1	M (平均)	震度 ※2	回数 ※3	発生間隔(年) 平均(最短~最長)	最近の 発生日	経過年 ※4	次の地震が70%の確率で発生すると予測される期間		カップリング 率 ※6	引用文献
							※5			
							大標本論BPT分布	小標本論対数正規分布		
B1-A	6.0	4	6	13.8 (12.89~15.32)	09/2/15	0.79	2022年1月~2023年10月	2021年9月~2024年3月	73%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
B1-B	6.1	3	4	16.32 (15.90~16.64)	93/2/25	16.76	$\alpha=0.019$ と小さく発散	現時点~2011年3月	66%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
B1-C	5.3	3	2	8.53	06/7/6	3.41			78%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
B2	4.9	3	10	5.59 (4.65~6.68)	08/1/11	1.89	2012年12月~2014年4月	2012年11月~2014年5月	95%	Matsuzawa et al. (2002) <sup>2)</sup>
B3-X	5.7	4	10	8.48 (4.58~11.17)	05/10/22	4.11	2012年2月~2016年6月	2011年12月~2017年1月	100%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
B3-A	4.5	4	5	2.7 (2.20~3.31)	09/1/3	0.91	2011年4月~2012年2月	2011年1月~2012年6月	155%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
B3-B	4.1	2	2	3.99	06/12/3	3.00			83%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
B3-C	3.7	2	5	2.42 (2.27~2.54)	09/1/4	0.91	2011年4月~2011年7月	2011年4月~2011年7月	108%	気象庁(2009) <sup>1)</sup>
C1-A	6.1	5強	4	25.72 (23.99~28.36)	05/7/23	4.36	2029年5月~2033年3月	2027年11月~2035年2月	42%	気象庁(2006) <sup>3)</sup>
C1-B	4.8	4	4	7.23 (6.92~7.81)	06/8/31	3.25	2013年6月~2014年4月	2013年2月~2014年9月	70%	防災科技術研(2007) <sup>4)</sup>
E1-A	5.3	4	7	6.44 (5.36~7.49)	07/8/9	2.31	2013年2月~2014年12月	2012年11月~2015年4月	72%	溜瀧・他(2009a) <sup>5)</sup>
E1-B	5.2	4	6	7.32 (5.54~8.25)	04/5/20	5.53	2010年9月~2012年10月	2010年9月~2013年6月	60%	溜瀧・他(2009a) <sup>5)</sup>
F1-X	4.0	2	7	2.46 (2.08~2.71)	09/9/11	0.22	2011年12月~2012年5月	2011年11月~2012年6月	88%	溜瀧・他(2009a) <sup>5)</sup>
F1-A	3.1	1	6	1.22 (0.98~1.40)	09/9/2	0.25	2010年9月~2011年1月	2010年8月~2011年2月	105%	溜瀧・他(2009a) <sup>5)</sup>
F1-B	2.8	0	6	1.02 (0.67~1.23)	09/2/5	0.82	現時点~2010年5月	現時点~2010年8月	105%	溜瀧・他(2009a) <sup>5)</sup>
F2-X	5.1	4	8	5.89 (4.96~6.86)	07/9/22	2.19	2012年11月~2014年4月	2012年9月~2014年7月	65%	溜瀧・他(2009b) <sup>6)</sup>
F2-A	4.4	3	9	2.25 (1.20~3.57)	08/9/10	1.22	2010年4月~2011年8月	2010年4月~2011年11月	112%	溜瀧・他(2009b) <sup>6)</sup>
F2-B	4.2	3	9	2.34 (2.02~2.86)	09/6/15	0.46	2011年7月~2012年1月	2011年6月~2012年2月	96%	溜瀧・他(2009b) <sup>6)</sup>
F2-C	4.0	2	8	1.75 (1.25~1.94)	09/9/6	0.24	2011年2月~2011年9月	2011年2月~2011年10月	114%	溜瀧・他(2009b) <sup>6)</sup>
F3	6.3	4	3	21.53 (18.85~24.23)	09/8/5	0.32	2028年5月~2033年11月	2024年2月~2042年8月	36%	

※1: IDは第1図に示す。

※2: 過去の地震で観測された最大震度

※3: 今までに観測された地震回数

※4: 最近の地震からの経過年数

※5: 基準日を2009年12月1日とする。

※6: カップリング率の計算には、沖縄地方についてはHeki and Kataoka (2008)<sup>7)</sup>、それ以外は瀬野(1995)<sup>8)</sup>によるプレートの相対運動速度を用いた。

なお、気象庁Mからすべり量を算出する際には、Hanks and Kanamori(1979)<sup>9)</sup>およびNadeau and Johnson(1998)<sup>10)</sup>を用いた。