

3-2 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） Characteristic Earthquake Sequences off Northeast Japan (off Iwaki, Fukushima Prefecture and off Taneichi, Iwate Prefecture)

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
Earthquake Prediction Information Division, JMA
Sendai District Meteorological Observatory, JMA
Meteorological Research Institute, JMA

東北地方の海溝型地震には、沖縄地方における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）や沖縄本島近海の固有地震（本巻※1参照）と同様、周期的に発生する相似地震としての固有地震が多数確認できる可能性がある^{2),3)}。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、東北地方の2つの領域（福島県いわき沖及び岩手県種市沖）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. 福島県いわき沖の親子型固有地震（第1,2図）

2009年1月3日に福島県いわき沖のプレート境界で発生したM4.8の地震（最大震度4、本巻※2参照）の震源付近の地震活動について調査した結果、1998年以降、M4.5程度の地震が5回繰り返し発生していることを確認した（グループA：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）、2009年1月3日（M4.8））。これらの地震は、波形の相関が高く（第1図左）、同じところ（精度0.5km以内）を震源として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。

さらに、この地震群の近傍では、ひと回り大きいM5.7程度の繰り返し地震が発生している（1997年5月12日（M5.7）と2005年10月22日（M5.6）の波形を第1図右下に示す。後述するM5.7程度で平均8.5年間隔の固有地震）ほか、波形の相似なひと回り小さい繰り返し地震が2グループ発生している（M4.2のグループB，M3.8程度のグループC）ことを確認した。それにもかかわらず、グループAの地震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。

ひと回り大きいM5.7程度の繰り返し地震は、1923年以降、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・発生間隔ともほぼ一定であることから固有地震の可能性があると指摘²⁾されている地震群である。そこで、この地震群（M5.7程度）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（第2図、1958年以降の6回の地震）を比較すると位相はよく一致しており（相似波形）、波源は同じ場所（精度1km以内）であると考えられる（第1図右下，第2図）。また、M5.7程度の地震のすべり量（50～80cm程度^{5),6)}は、この付近の太平洋プレートの沈み込み速度（8cm/年⁷⁾）に発生間隔（8.5年）を乗じた値にほぼ一致している。これらから、この地震群（M5.7程度，8.5年間隔）はプレート境界上の同一の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。

2. 岩手県種市沖の双子型固有地震（第3, 4図）

2009年2月15日に岩手県種市沖のプレート境界で発生したM5.9の地震（最大震度4，本巻※2参照）の震源付近の地震活動について調査した結果、1940年以降、M6.0程度の地震が平均13.8年の間隔で6回発生していることを確認した（グループA：1940年2月9日，1955年6月5日，1968年11月25日(M6.0)，1981年10月15日(M6.0)，1995年1月7日(M6.2)，2009年2月15日(M5.9)）。

さらに、この地震群のごく近傍には、別の繰り返し地震として、1940年以降、M6.0程度の地震が平均16.3年の間隔で4回発生していることを確認した（グループB：1944年3月10日，1960年8月13日(M6.2)，1976年7月8日(M5.9)，1993年2月25日(M5.9)）。

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（第3図左，第4図），それぞれ同じ場所を震源として発生している（M6.0以上の相似地震が確認されたのはこれが初めてである）。また、近傍では別グループの地震のみならず、「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）が発生しているにもかかわらず、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、これらは、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ることにより発生する固有地震であると考えられる。

グループB（M6.0程度，発生間隔16.3年）の繰り返し地震については、前回発生（1993年2月）からすでに16年経過したところである。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2021年9月～2024年3月の間に、グループBの地震が2009年12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、2020年5月～2026年1月と、基準日から2011年4月までである。

（山田安之・石垣祐三・高木康伸・溜瀨功史・中村雅基・前田憲二・岡田正実・丹下豪）

※1：「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」（気象庁）

※2：「東北地方とその周辺の地震活動（2008年11月～2009年4月）」（気象庁）

参 考 文 献

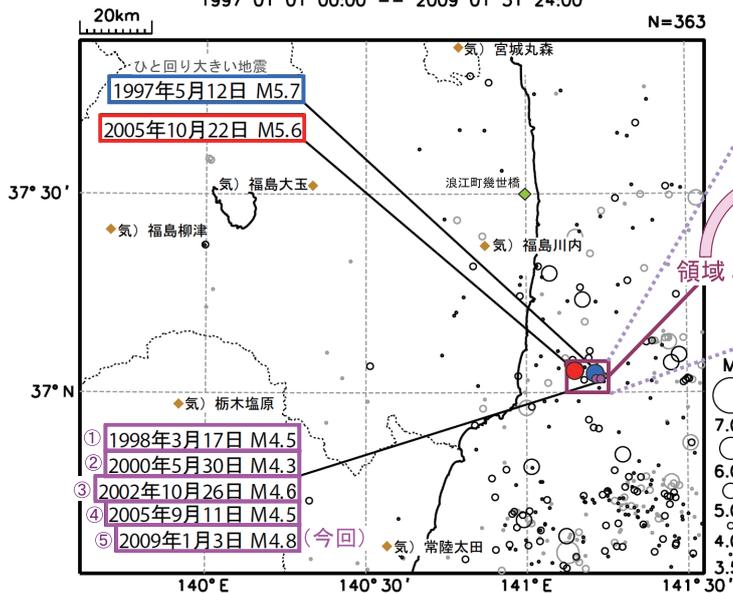
- 1) 気象庁沖縄気象台ほか，宮古島近海の固有地震的地震活動，連絡会報，81，2009.
- 2) 長谷川安秀・橋本徹夫・草野富二雄・吉川一光・大西星司：東北地方における中規模地震の固有地震的地震活動の検出，地震，58，67-70，2005.
- 3) Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, T. Okada, and A. Hasegawa, Source parameters of a M4.8 and its accompanying repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: 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, *Bull. 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.

1月3日 福島県沖（いわき沖）の固有地震

今回のM4.8は2～3年ごとの繰り返し地震、近傍にはひと回り大・小の相似地震が3グループ

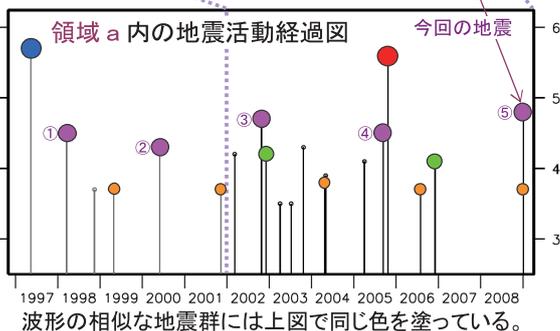
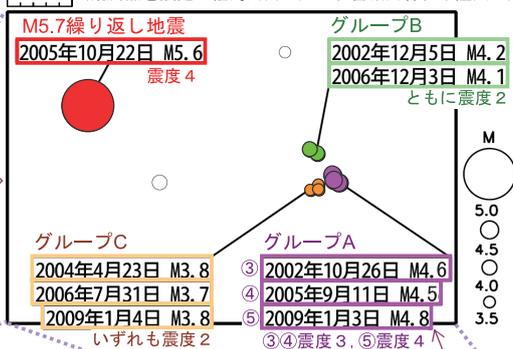
震央分布図（1997年1月以降、深さ120km以浅、M≥3.5）

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



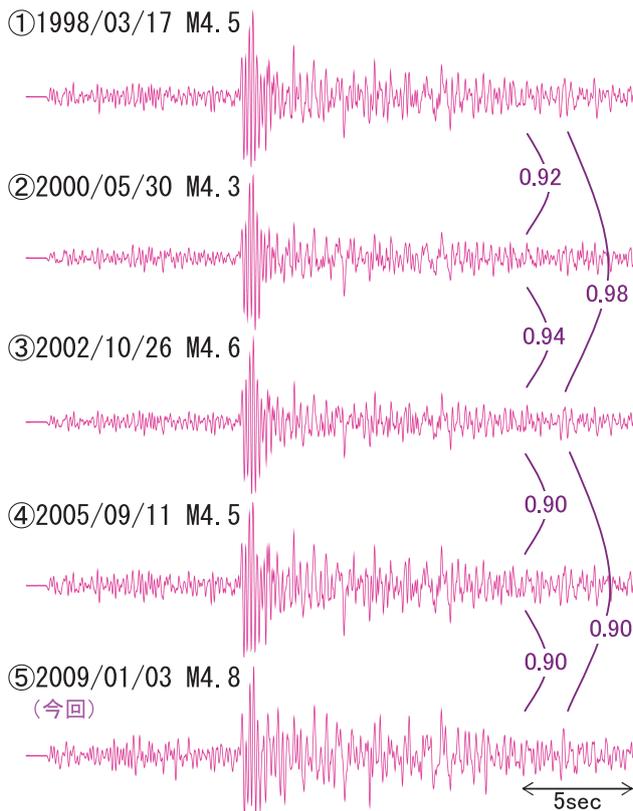
領域a内(2002年以降)を再計算した結果

(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)

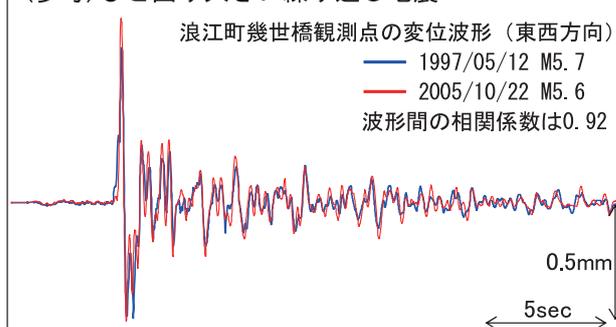
波形にはバンドパスフィルタ(1~5Hz)をかけている。



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

(参考)ひと回り大きい繰り返し地震



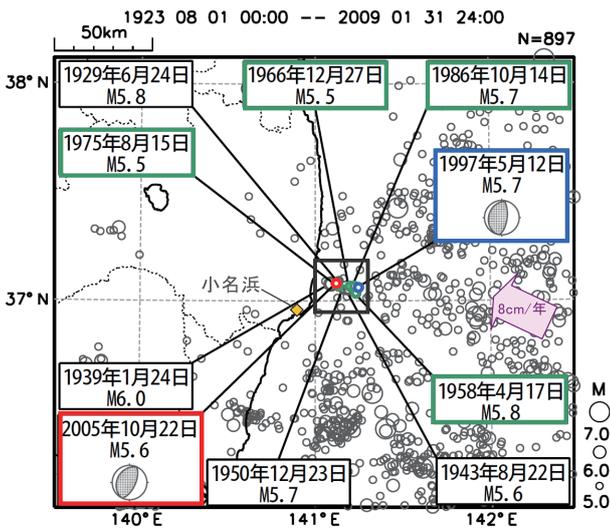
第1図 福島県いわき沖の固有地震（繰り返し地震）

Fig.1 Characteristic earthquake sequences off Iwaki, Fukushima Prefecture.

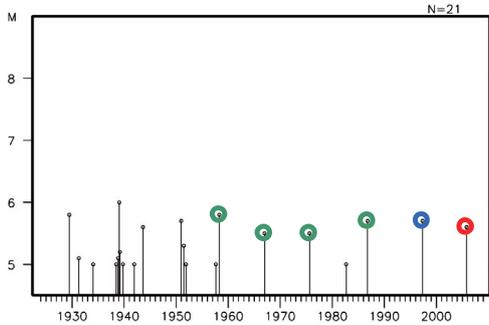
福島県沖（いわき沖）のひと回り大きい固有地震（M5.7程度、8.5年間隔）

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）

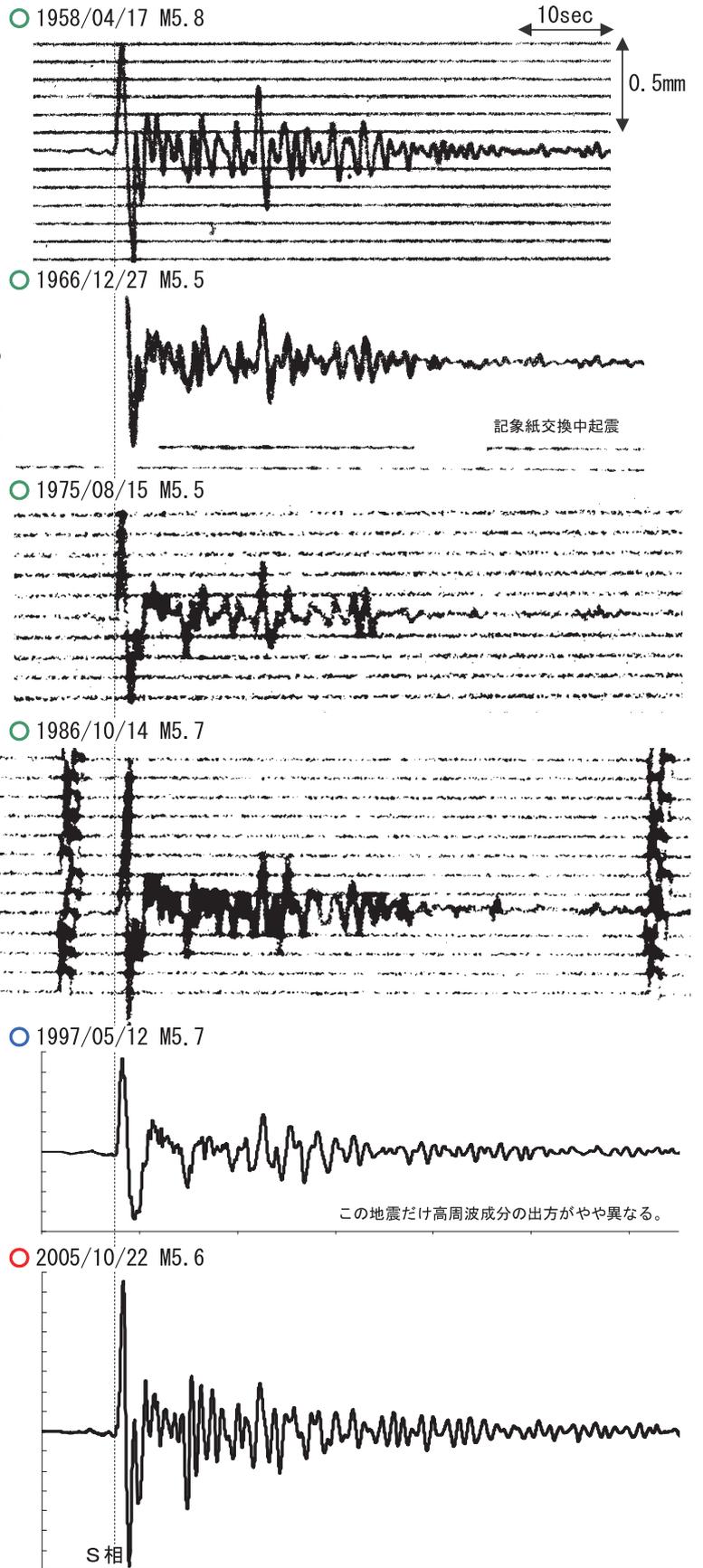


上図矩形領域内の地震活動経過図



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）



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*1。

*1:長谷川安秀・橋本徹夫・草野富二雄・吉川一光・大西星司(仙台管区气象台):「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 (2005).

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*2。

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。

*2: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。

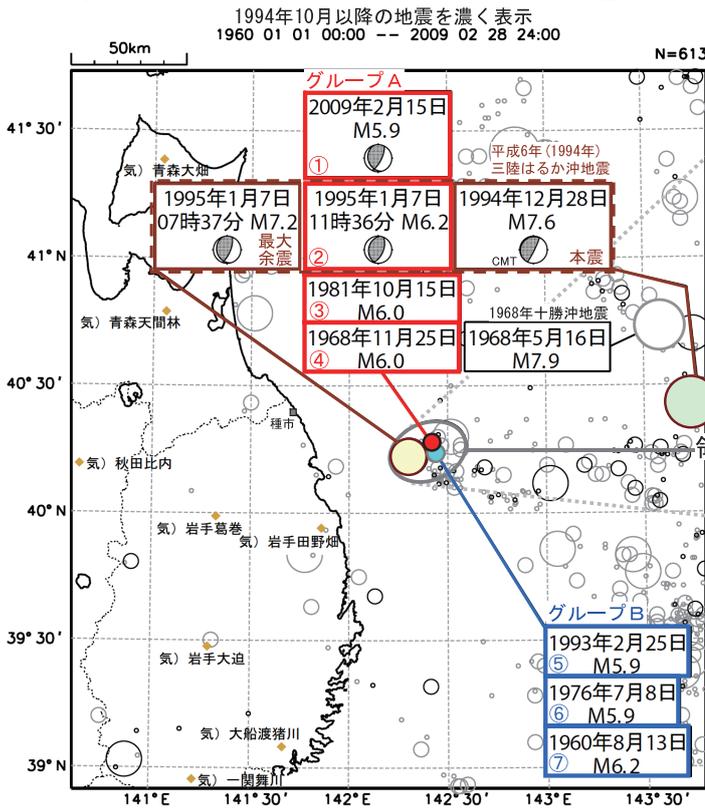
第2図 福島県いわき沖のひと回り大きい固有地震（繰り返し地震）

Fig.2 Large-scale characteristic earthquake sequence off Iwaki, Fukushima Prefecture.

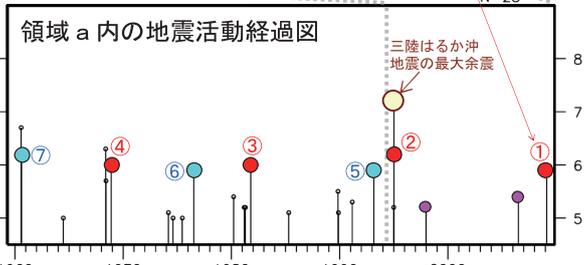
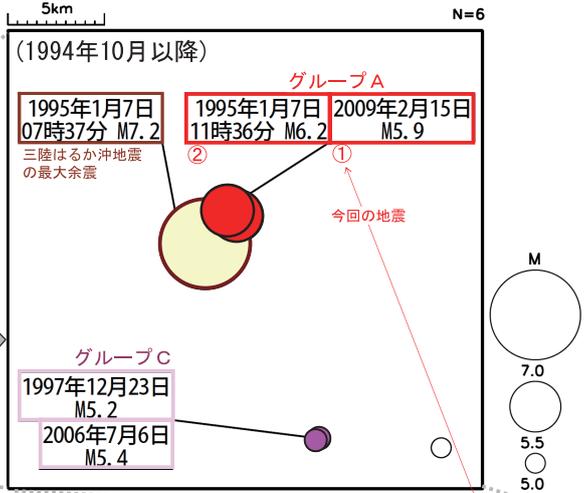
岩手県沖（種市沖）の固有地震

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

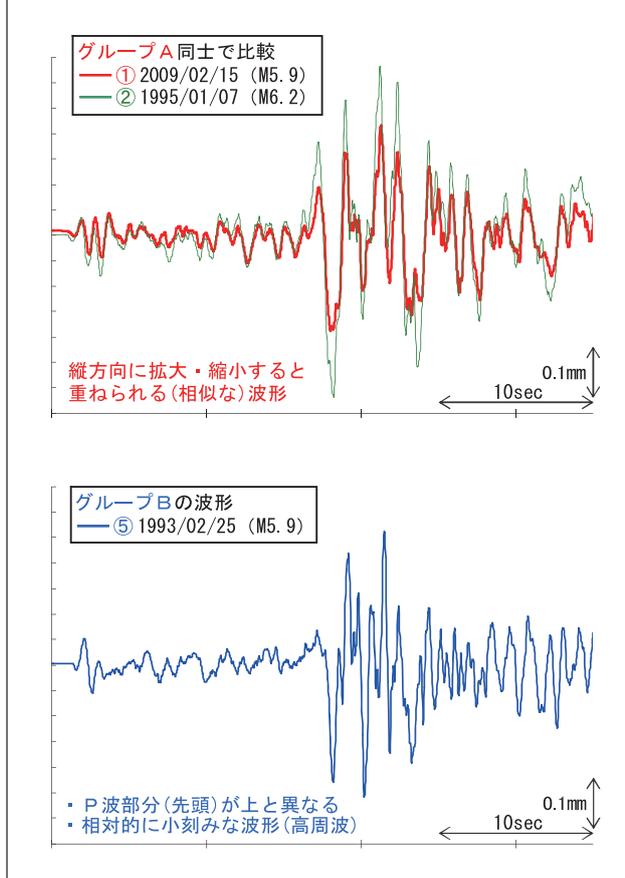
震央分布図（1960年以降、深さ0~100km、M≥5.0）



領域a内を再検測(観測点限定)した結果



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）。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いる）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16年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2009/05/01）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2009年12月までに（70%の確率で）発生すると推定できる。

第3図 岩手県種市沖の固有地震（繰り返し地震）

Fig.3 Characteristic earthquake sequences off Taneichi, Iwate Prefecture.

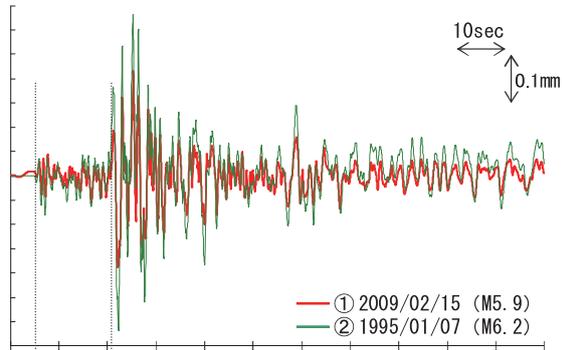
岩手県沖（種市沖）の固有地震（波形）

M6という規模の大きい相似地震が2グループ発生していることを確認

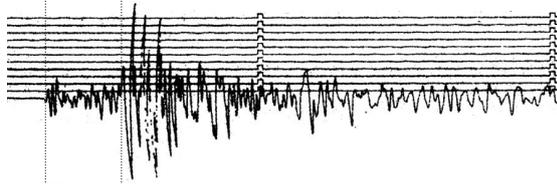
グループA

①～④ 大船渡観測点の変位波形（上下方向）

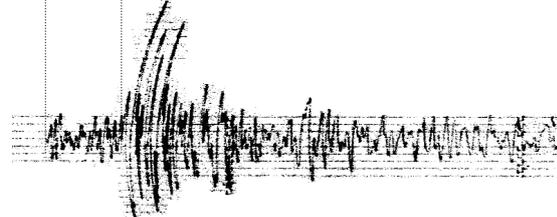
- ①2009/02/15 (M5.9)
- ②1995/01/07 (M6.2)



③1981/10/15 (M6.0)



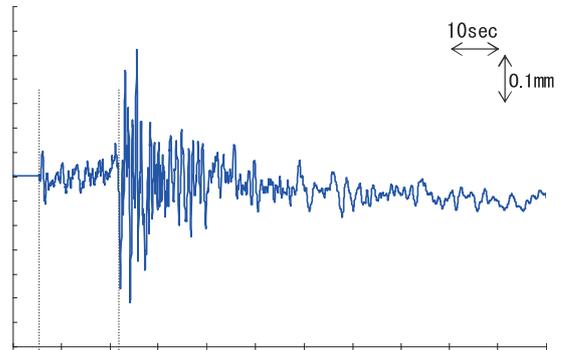
④1968/11/25 (M6.0)



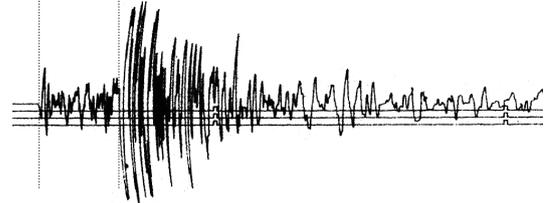
グループB

⑤, ⑥大船渡観測点の変位波形（上下方向）

- ⑤1993/02/25 (M5.9)



⑥1976/07/08 (M5.9)

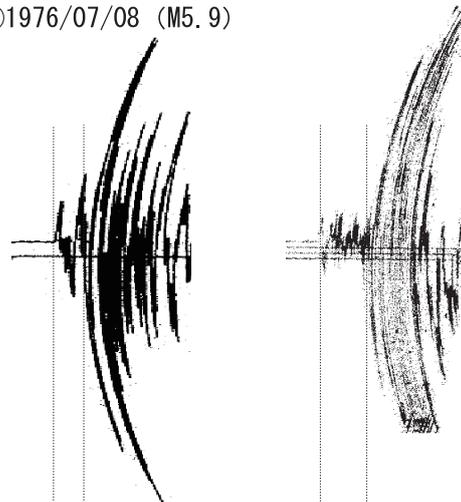


⑥, ⑦

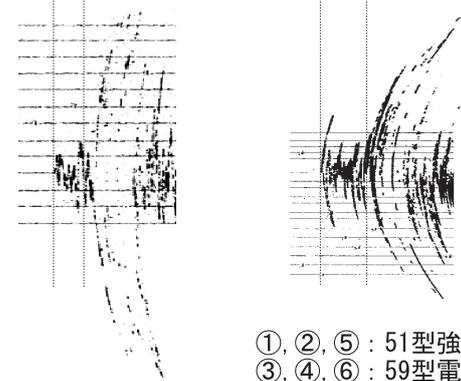
(左) 宮古観測点の変位波形（南北方向）

(右) 盛岡観測点の変位波形（東西方向）

⑥1976/07/08 (M5.9)



⑦1960/08/13 (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4図 岩手県種市沖の固有地震（繰り返し地震）の波形比較

Fig.4 Comparison of waveforms for repeating earthquakes off Taneichi, Iwate Prefecture.