10-3 宮古島近海の固有地震的地震活動 Characteristic Earthquake Sequence near Miyakojima Island

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

1. 固有地震¹⁾的地震活動(繰り返し地震)の概要

宮古島近海でM5.1程度の地震が平均5.9年の間隔で周期的に過去8回繰り返し発生していること を以下のとおり確認した.なお、本稿では、固有地震(繰り返し地震)という語を、プレート境 界等に存在するアスペリティが周辺の滑りにより繰り返し破壊されることで一定の周期をもって 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.

1994年10月以降の宮古島近海の地震活動を見ると、この地震の震源付近(第1図領域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(M5.1,最大震度4),2002年6月5 日(M5.2,最大震度3),2007年9月22日(M5.1,最大震度3))(第1図左上).これらの地震の 発震機構(Global CMT解)は、北西-南東に圧力軸を持つ逆断層型であり(第1図右上)、フィ リピン海プレートとユーラシアプレートの境界で発生した地震であると考えられる.

これらのM5クラスの地震(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(第1図左下).さらに、宮古島周辺の地震を過去にさかのぼると、波形が互いによく似た地 震は、1991年7月17日(M5.0,最大震度3)、1985年4月30日(M5.1,最大震度2)、1978年8月29 日(M5.0,最大震度3)、1971年10月21日(M:未決定,最大震度3)、1966年7月11日(M:未決定, 最大震度3)にも発生していることが分かった(第2図).これらの地震は、気象庁震源では精度 よく求められていないものが含まれるが、ISC震源でさかのぼると、1966年~2002年までの7回に ついて、ほぼ同じところに同程度の規模(mb5.2~mb5.4)の震源が求められており、これらはこ の領域で最大規模の地震である(第3図).

このように宮古島近海では、1966年7月以降,平均5.9年の間隔でM5.1程度の地震が深さ約50km のところで周期的に8回発生しており、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.

2. 固有地震(繰り返し地震)を支持する特徴

このM5クラスの地震が、固有地震であることは、以下の特徴からも支持される.

第一に,前述のとおり波形が互いによく似ている.1997年6月,2002年6月,2007年9月の地震に ついては,波形間の相関係数(1分間程度の波形について計算)が0.92以上である一方,2008年4 月の地震(M5.2,北東-南西方向に張力軸を持つ正断層型の発震機構)や,2008年9月の地震(M4.5, 固有地震の近傍で発生)に対しては,波形の様相は異なっており,相関係数も0.75以下となって いる(第4図).

第二に,地震のすべり量とプレートの移動速度に整合性がある.M5程度の地震のすべり量(30~50cm程度^{2),3})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7cm⁴⁾)に平均 発生間隔(5.9年)を乗じた値と同程度である.

3. M4クラスのひと回り小さい地震

2001年10月以降,宮古島近傍の深さ約50kmの領域付近では、上記のM5クラスの固有地震(以下,M5クラスの地震)よりひと回り小さいM4クラスの地震が年1~2回程度発生している.これらM4クラスの地震について,M5クラスの地震との震源の位置関係や波形の相関について調査した.

2002年6月(M5.2),2007年9月(M5.1)の固有地震と2008年9月22日(M4.5)のひと回り小さ い地震のP波到達時間差を比較すると、2002年6月と2007年9月のM5クラスの地震は周辺の観測点 について時間差がほぼゼロになることから、同じ場所で発生していると推定される一方、2008年9 月のひと回り小さいM4クラスの地震は時間差が0.2~0.3秒程度となることから、別の場所で発生 している可能性が高いことが分かる(第5図).このことから、三次元速度構造⁵⁾とDouble-Difference 法⁶⁾を用いた震源再計算を行ってさらに調査したところ、M5クラスの地震と、M4.5前後の地震は 別のクラスターである(M4.5前後の地震は南側にわずかに約3~5km離れたところに別のクラスタ ーを成している)ことが分かった(第6図).これは、M5クラスの地震を引き起こすアスペリテ ィから数km離れた近傍に、M4クラスの地震を引き起こすアスペリティが存在していることを示 している.

さらに、これらのひと回り小さいM4クラスの地震の中にも波形の互いによく似たものが3系統 含まれていることを確認しており、これらはそれぞれ別のアスペリティを持つ相似地震群である と考えられる.これらの相似地震群(第6図のグループA~C)は、M5クラスの地震の近傍で発生 しているにもかかわらず、2001年10月以降の地震活動を見る限りでは、比較的周期を乱されるこ となく、それぞれ固有な周期で繰り返し発生してきている可能性があり、今後さらに過去の地震 も含めた調査を進める必要がある.

2002年6月5日(M5.2),2007年9月22日(M5.1)の固有地震発生前後のM-T図を見ると,目立った前震はなく(第7図),余震活動は極めて低調である.一方で,M5クラスの地震発生から1 週間以内に約2km離れたところでM4クラスの地震が発生している(2002年6月7日,2007年9月29日,ともにM4.2).したがって,M5クラスの地震によって,上記M4クラスの地震を引き起こす アスペリティの破壊が誘発され,地震の発生が早められた可能性がある.

4. 次回の宮古島近海のM5クラスの固有地震の発生

1966年以降,宮古島近海の深さ約50kmでは,平均5.9年の間隔でM5.1程度の地震が発生していることから,次のM5クラスの地震はBPT分布⁷⁾を仮定すると,2012年5月から2015年1月までの間に95%程度の確率で発生すると考えられる.さらに,過去の地震発生状況を踏まえると,本震発生から数日以内に近傍のアスペリティの破壊を誘発することにより,M4クラスの余震を伴う可能性が考えられる.なお,この領域でM5.1程度の地震が発生した場合,過去には宮古島で最大震度4~3を,M4クラスでは最大震度3~2を観測している.

なお,沖縄地方ではこの他に,沖縄本島近海でもM4.1程度の地震が平均2.5年の間隔で周期的に 深さ約30kmのところで発生していることを見出している(第8図).このことから,東北地方⁸⁾ と同様に沖縄地方にも多くの固有地震的地震活動が存在する可能性がある.

(溜渕功史・山田安之・石垣祐三・高木康伸・中村雅基)

参考文献

- 1) Shimazaki, K. and Nakata, T.: Time-predictable recurrence model for large earthquakes, Geophys. Res. Lett., 7, 279-298 (1980).
- 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).
- 3) 宇津徳治:地震学(第3版),共立出版株式会社, P279 (2001).
- 4) 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).
- 5) 勝間田明男:震源計算のための三次元速度構造,日本地震学会2006年秋季大会予稿集,C034 (2006).
- 6) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth : A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California, Bill. Seism. Soc. Am., 90, 1353-1368 (2000).
- 7) 島崎邦彦: 大地震発生の長期予測, 地学雑誌, 110(6), 816-827 (2001).
- 8) 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).

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

Μ



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.



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.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 レートの移動速度(年間約7cm)に発生間隔(5.9 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, BPT分布を仮定する と、当該領域で次のM5クラスの地震は2012年5月~ 2015年1月の間に(95%程度の確率で)発生すると 考えられる.

第1図 宮古島近海の繰り返し地震(固有地震)の概要 Fig.1 Outline of characteristic earthquake sequence near Miyakojima Island 石垣島における変位波形(上下方向)



第2図 石垣島における強震波形の比較 Fig.2 Comparison of strong motion seismogram in Ishigakijima Island 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3図 宮古島近海の過去の地震活動(ISC震源) Fig.3 Past seismic activity near Miyakojima Island (ISC catalog)



	0.49	0.51	0.49	0.41	1.00
_	man			$\sim \Lambda \sim \infty$	 m
5				and a second	

第4図 宮古島における強震波形の波形相関

Fig.4 Cross correlation of strong motion seismogram in Miyakojima Island

宮古島近海の繰り返し地震

(ひとまわり小さい地震との P 波到達時間差の比較)

2007年と2002年の繰り返し地震は同じ場所,2008年9月の小さい地震は別の場所

● 各観測点(震源に近いほうから5点)のP波到達時間の差

読み取り誤差が少ないと思われる,震源に近いほうから5点(沖縄城辺,宮古島2,池 間臨時,多良間島,石垣島2)のP波到達時間の差が一致していれば,同じ場所が破壊開 始点であると推定される.したがって,2007年9月22日(M5.1)の地震と,2008年9月 10日(M4.5),2002年6月5日(M5.2)の地震のP波到達時間の差を比較する.

(1)2007.9.22(M5.1)と2008.9.10(M4.5)の比較

		2007/9/22	2008/9/10	差			
Α	В	B-A(秒)	B-A(秒)	緑-黄			
	宮古島2	0.04	0.05	0.01			
汕组北汀	池間臨時	0.43	0.47	0.04			
7年 和电力线 22	多良間島	5.84	5.58	-0.26			
	石垣島2	13.49	13.20	-0.29			
	池間臨時	0.39	0.42	0.03			
宮古島2	多良間島	5.80	5.53	-0.27			
	石垣島2	13.45	13.15	-0.30			
洲即防哄	多良間島	5.41	5.11	-0.30			
心间临时	石垣島2	13.06	12.73	-0.33			
多良間島	石垣島2	7.65	7.62	-0.03			



(2)2007.9.22(M5.1)と2002.6.5(M5.2)の比較

		2007/9/22	2002/6/5	差			
Α	В	B-A(秒)	B-A(秒)	青-黄			
	宮古島2	0.04	0.04	0.00			
油細城辺	池間臨時	0.43	0.42	-0.01			
ノヤ 小电力火 ノン	多良間島	5.84	5.80	-0.04			
	石垣島2	13.49	13.44	-0.05			
	池間臨時	0.39	0.38	-0.01			
宮古島2	多良間島	5.80	5.76	-0.04			
	石垣島2	13.45	13.40	-0.05			
洲即吃哄	多良間島	5.41	5.38	-0.03			
心间临时	石垣島2	13.06	13.02	-0.04			
多良間島	石垣島2	7.65	7.64	-0.01			

※表のみかた

B 観測点における P 波到達時間と A 観測点 における P 波到達時間の差を, 3 列目と 4 列目に示す.

5 列目は、それぞれの地震における P 波到 達時間差の差. すなわち、5 列目がほぼ0 であれば、震源計算結果に依存せず、2 つの震源はほぼ同じ場所であると考える ことができる.

2007 年 9 月 22 日 (M5.1) と 2002 年 6 月 5 日 (M5.2) の地震は, P 波到達時間差の差が 0.1 秒未満である一方, 2008 年 9 月 10 日 (M4.5) は 0.2~0.3 秒とそれなりに差がある. つま り, 2008 年の震源は, 2002 年や 2007 年の震源とは位置が異なっている可能性が高い.

宮古島近海の繰り返し地震

(M4クラスのひとまわり小さい地震との位置比較)

三次元速度構造※+DD法による震源,M5繰り返し地震とM4クラスの地震は別クラスター

宮古島近海の地震活動(2001年10月以降)について,DD法によって再計算した震源*からは,M5.1 程度の繰り返し地震(赤)と,その前後に発生している,ひと回り小さいM4クラスの地震とは別の クラスター(地震群)に属していることが分かる.さらに,M4クラスの地震は少なくとも3つのグ ループに別れて分布している.



第6図 三次元速度構造とDouble-Difference法を用いた震源再計算 Fig.6 Relocation of hypocenters using 3-D velocity structure and Double-Difference Method

宮古島近海の繰り返し地震(前震・余震) 2002 年, 2007 年ともに目立った前震なし, 余震あり



本震(M5.2,最大震度3)発生から2日後にM4.2の地震(最大震度2)が発生しているが, その他の地震はほぼ検知されていない.

2007年9月22日(M5.1)



本震(M5.1,最大震度3)発生から7日後にM4.2の地震(最大震度2)が発生している.

※安定して検知できるMの下限はM2.5程度

第7図 宮古島近海の地震のM-T図

Fig.7 M-T diagrams for earthquakes near Miyakojima Island



1994年10月以降の沖縄本島近海の深さ約30km(上図の領域b)では、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(1994年11月30日 M3.9, 1997年5月16日 M3.8, 1999年9月8日 M4.1, 2002年4 月2日 M4.1, 2004年11月26日 M4.2, 2007年8月12日 M4.1, 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)).これらの地震群は波形が互いによく似ており(1997年 と2002年の地震波形の相関係数は0.93),この地域の地震活動(少なくとも1994年10月以降)において 最大規模である.1999,2002,2004年の地震の発震機構((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逆断層型であり、そのほかの地震もほぼ同じ場所で発生していることか ら、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た地震であると考えられる.

このように1994年以降,領域 b でM4.1程度の地震が平均2.5年の間隔で周期的に6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.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,BPT分布を仮定すると、当該領域では次のM4クラスの地震が2009年11 月からの2010年6月までの間に(95%程度の確率で)発生すると考えられる.

第8図 沖縄本島近海の繰り返し地震(固有地震)

Fig.8 Characteristic earthquake sequence near Okinawajima Island