

12 - 4 沖縄地方の繰り返し地震及び東北地方太平洋沖地震の余震活動（予測と実際の発生状況の比較検証）

Test of probability estimation of occurrences of the repeating earthquakes in Okinawa district and aftershocks of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

気象庁地震火山部地震予知情報課 橋本徹夫

Earthquake Prediction Information Division, Seismology and Volcanology Department

Japan Meteorological Agency

（現 気象研究所，presently Meteorological Research Institute）

前回報告¹⁾に続き、予測と実際の発生状況の比較検証として以下を報告する。なお、2016年11月に福島県沖でM7.4の地震が発生したため、沖縄地方の繰り返し地震に加えて、東北地方太平洋沖地震の余震活動についても報告する。

(1) 宮古島付近の繰り返し地震

前回報告以降、同島付近の4グループの繰り返し地震²⁾のうち、グループC（平均M3.9、平均発生間隔1.8年）において、発生確率70%（地震発生間隔がBPT分布モデルに基づく予測）と予測されていた期間内に新たな繰り返し地震が1回発生した（第1図、第1表）。また、2017年2月17日にも、グループAに分類されるM4.4の地震が発生した。これは、2016年10月～2018年1月の予測期間内に発生したものである（適中率は9/9となる）。なお、今回の地震で、グループCの適中率は6/8となった。

(2) 沖縄本島近海（国頭村東方沖）の繰り返し地震

これまで地震予知連絡会では、上記(1)の繰り返し地震だけを報告していたが、沖縄本島近海においても、沖縄気象台によって同様の繰り返し地震の発生状況が公表されていることから、事例紹介として報告する。沖縄本島近海では、M3～4程度の3グループの繰り返し地震が知られている。^{例えは³⁾}（第2図）。これらの過去の発生時系列に対して、地震発生間隔がBPT分布モデルに基づく予測を逐次実行した際の当否を検証した。発生確率70%の予測期間内に繰り返し地震が発生した割合（適中率）は2/6～7/8であった（第2表）。なお、いずれも事例を重ねて発生間隔のばらつきが大きな値に落ち着くことで、幅のある予測となり、適中率が向上する結果となっている。

(3) 東北地方太平洋沖地震の余震活動（余震域全体：M7.0以上の地震）

東北地方太平洋沖地震の余震域内では、2016年11月22日に福島県沖でM7.4が発生するなど、2012年以降M7.0以上の地震が年1回程度発生している（第3図）。2015年末までの余震域内のM5.0以上の地震発生状況を大森・宇津モデルやETASモデル⁴⁾にあてはめ、2016年にM7.0以上の余震が発生する確率及び回数を計算したところ、モデルから求められた確率は30%程度、予測回数は0～1回程度であった（第4図）。同様に、モデルへのあてはめを本震発生直後から1年ずつ延ばして次の1年間の確率及び回数を計算した（第3表）。表には、1年毎のM7.0以上の発生状況を、予測との比較のため併せて示している。常時の地震活動の項(μ)を加味した大森・宇津モデル⁵⁾に適用した場合、徐々にM7.0以上の地震発生予測の確率や予測数は小さくなっていくものの、2016年1年間の予測個数は0.5となっており、そのような状況の中で、今回の地震が発生しているといえる。なお、ポアソン過程を仮定すると、M7.0以上の地震の発生確率は、東北地方太平洋沖

地震の発生前では、1年確率で26%であり、元来この地域の地震活動は活発であるが、現在でもなお、東北地方太平洋沖地震の影響で、従来よりも発生確率が高い状況（30%）にある。

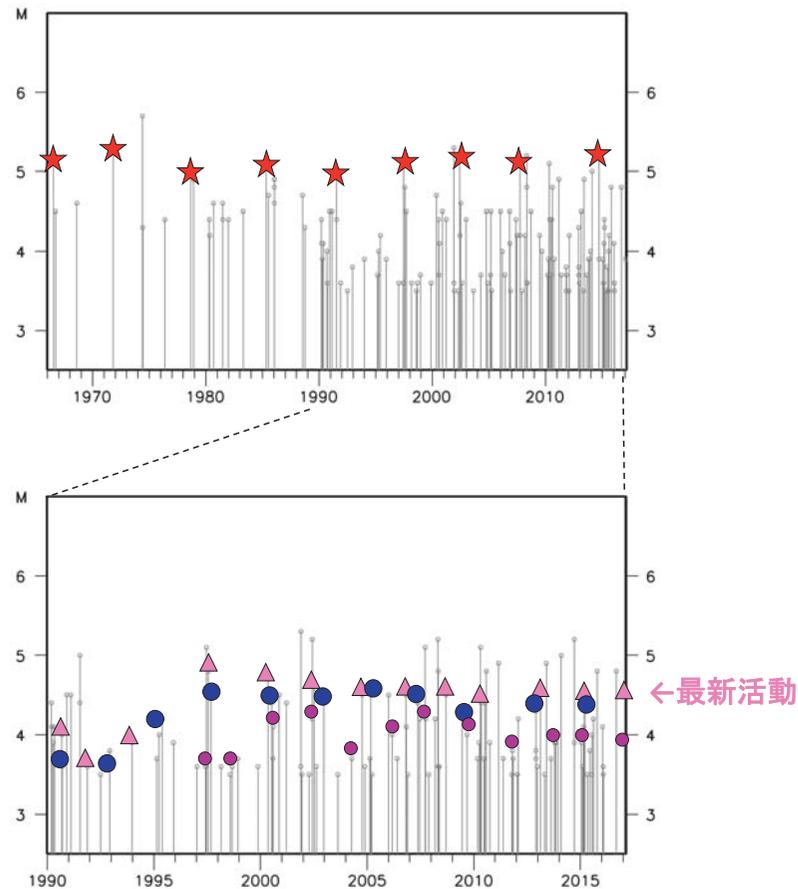
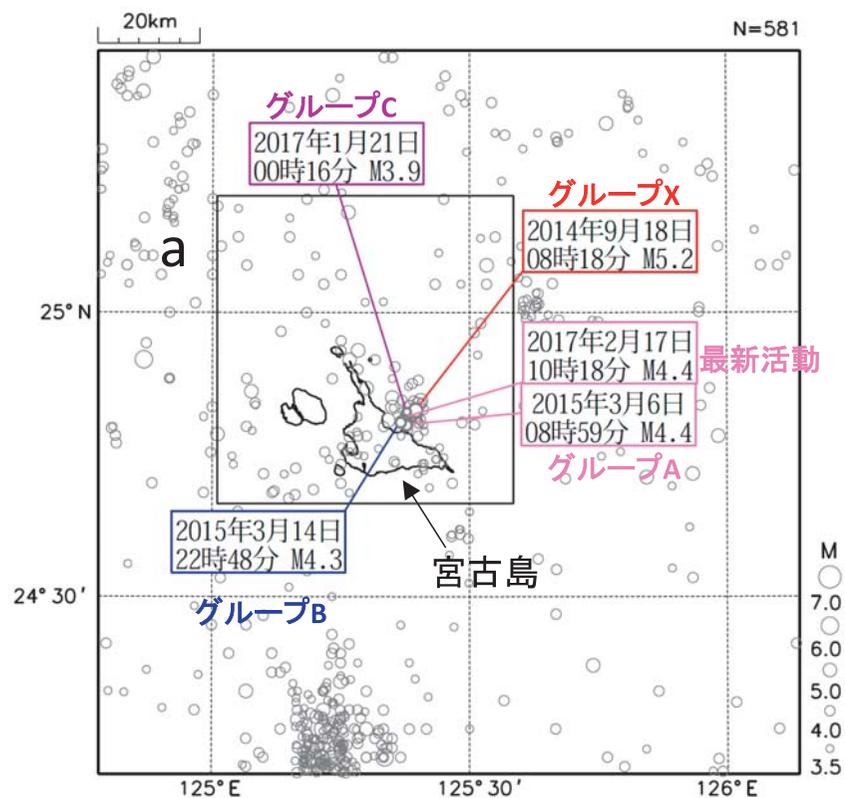
（4）東北地方太平洋沖地震の余震活動（領域別：M6.0以上の地震）

余震域内の領域別（沿岸・沖合・海溝付近）では、2016年にM6.0以上の地震が、沿岸領域と沖合領域でそれぞれ2回ずつ発生している（海溝付近では0回）（第5図）。2015年末までのM5.0以上の地震発生状況を領域別に大森・宇津モデルにあてはめ、2016年にM6.0以上の余震が発生する確率及び回数を計算したところ、沿岸領域は約70～80%（1～2回）、沖合領域は約50～70%（1回前後）、海溝付近で約20～30%（0回程度）となった（第6図）。モデルへのあてはめをみると、沿岸領域に比べて、沖合領域と海溝付近では合いがよくなり（第7図）、これは活動特性の違いに起因することが考えられる。

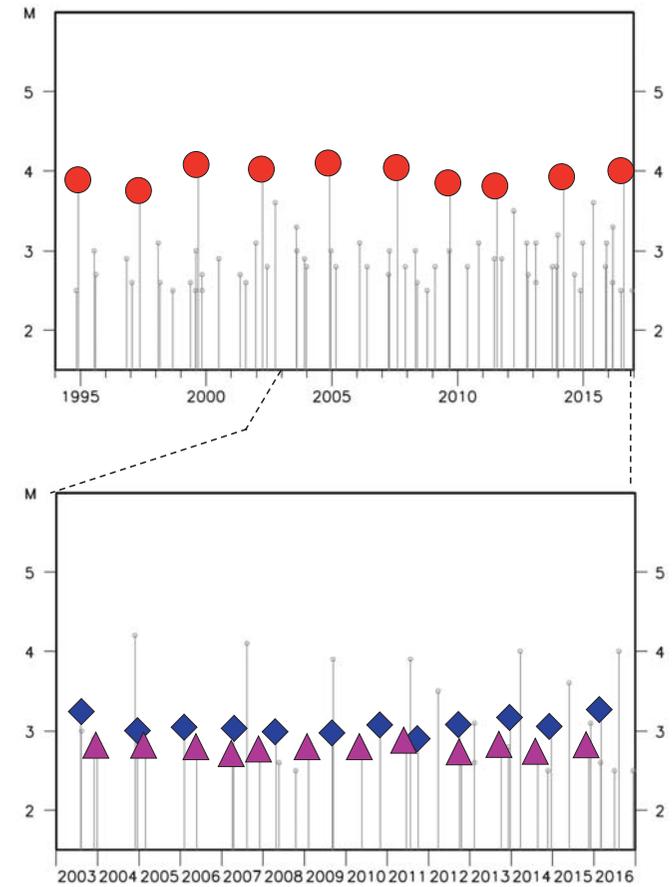
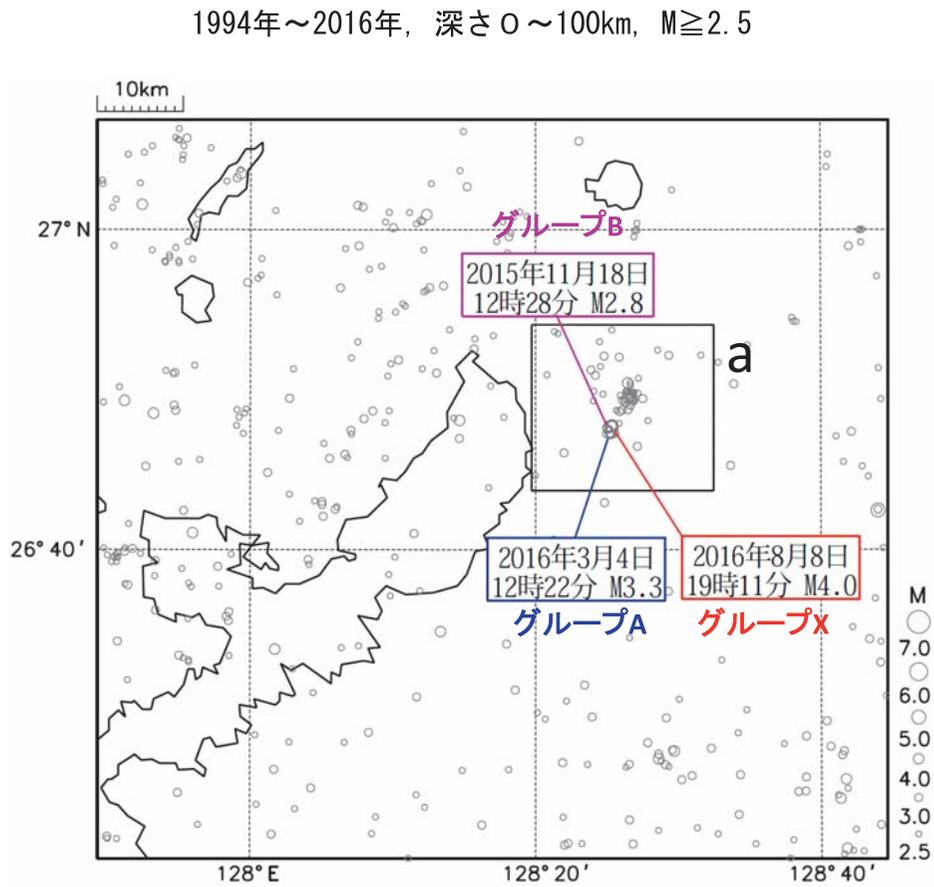
参考文献

- 1) 橋本徹夫, 2016, 沖縄地方の繰り返し地震の確率論的発生予測手法：予測と実際の発生状況の比較検証, 地震予知連会会報, **96**, 471-475.
- 2) 溜瀨功史・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2, **62**, 193-207.
- 3) 城間康司・古謝秀和・川門義治, 2014, 沖縄地方の繰り返し相似地震, 気象研究所報告, **72**, 126-139.
- 4) Ogata, Y., 1988, Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes, *Journal of the American Statistical Association*, **83**, 9-27.
- 5) 宇津徳治, 1999, 地震活動総覧, 東京大学出版会, 876pp.

1966年～2017年2月17日10時18分、深さ0～100km、 $M \geq 3.0$
 ※～1997年10月1日はISC震源を、1997年10月1日～は一元化震源を使用

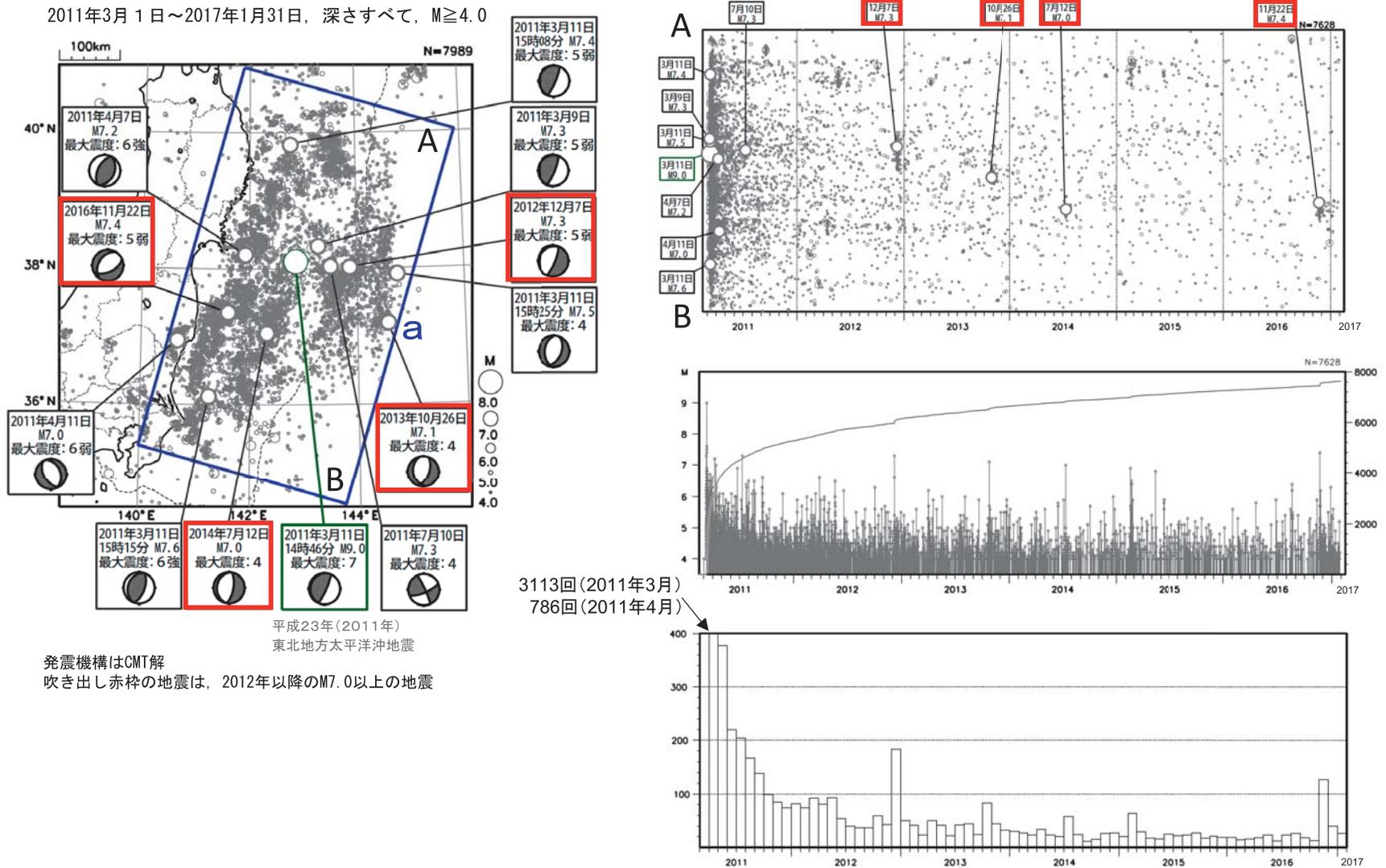


第1図 宮古島付近の繰り返し地震の震央分布図と矩形領域内のM-T図. 赤星はグループX, 桃三角はグループA, 青丸はグループB, 紫丸はグループCを示す.
 Fig.1 Epicenter distribution (upper) and M-T diagram (lower) of Repeating earthquakes near Miyakojima island. Red stars, yellow triangles, blue circles and purple circles show group X, A, B, and C, respectively.

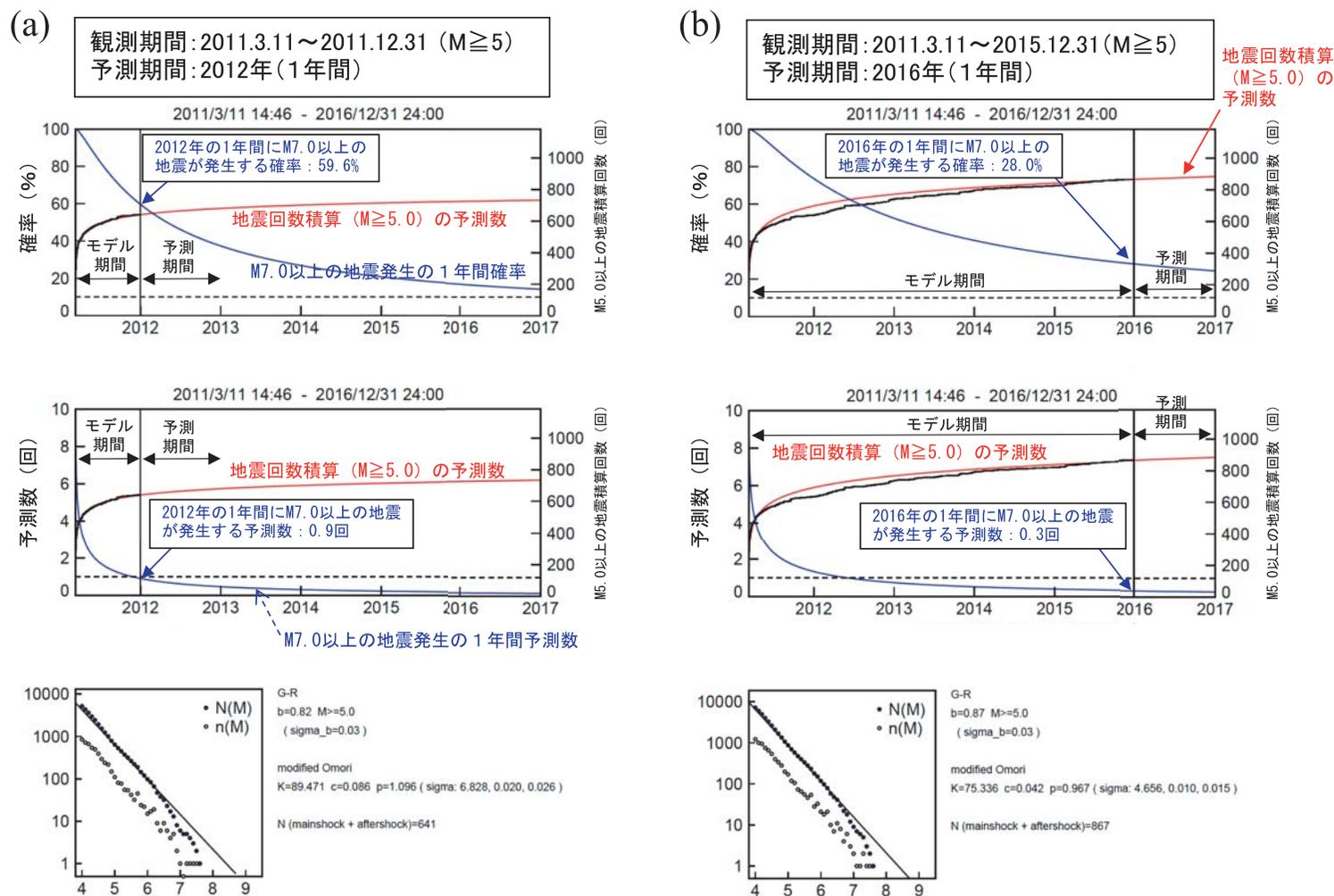


第2図 沖縄本島近海の繰り返し地震の震央分布図と矩形領域内の M-T 図. 赤星はグループ X, 青菱形はグループ A, 紫三角はグループ B を示す.

Fig.2 Epicenter distribution (upper) and M-T diagram (lower) of Repeating earthquakes near Okinawajima island. Red circles, blue diamonds and purple triangles show group X, A, and B, respectively.

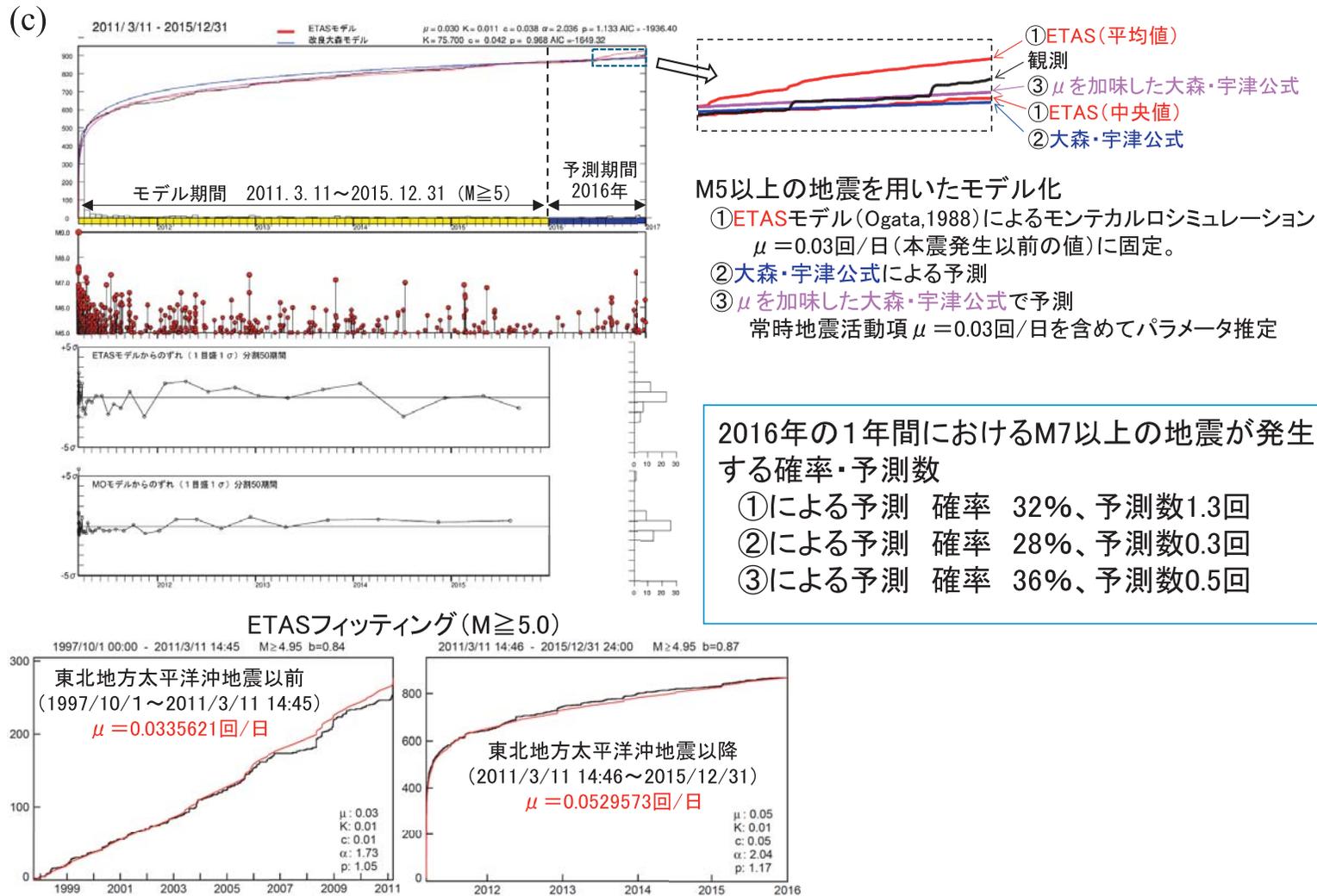


第3図 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」発生後の地震の震央分布図，時空間分布図(A-B投影)，M-T図及び回数積算図，月別地震回数。
Fig.3 Epicenter distribution, time-space distribution (projected onto line A-B shown in epicenter distribution), M-T diagram with cumulative number and Histogram of aftershocks of the The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.



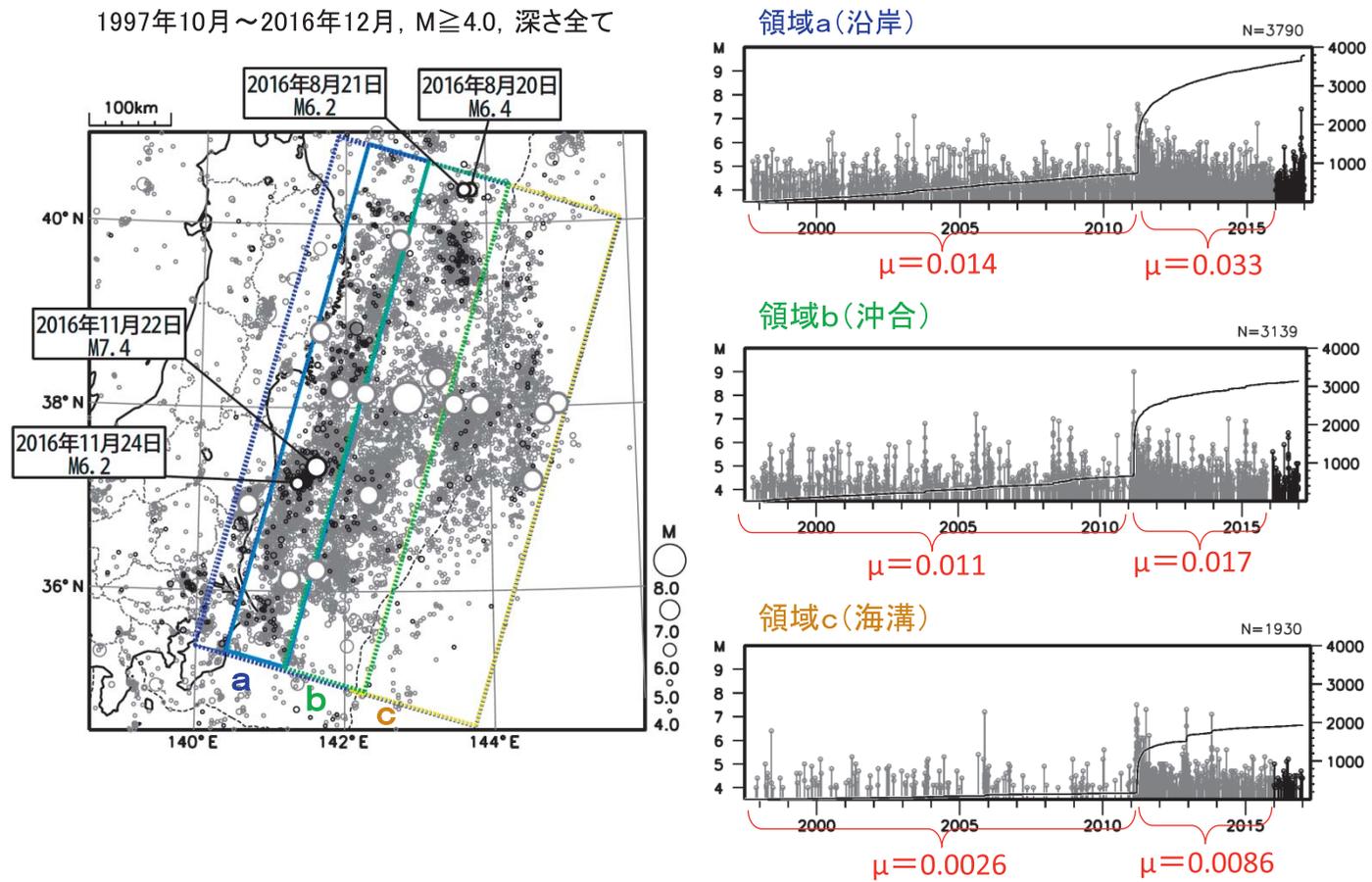
第4図 (a) 東北地方太平洋沖で発生した地震を大森・宇津公式に適用した結果(2011年3月11日から2011年12月31日までに発生した $M5.0$ 以上の地震)。 (b) 同(2011年3月11日から2015年12月31日までに発生した $M5.0$ 以上の地震)。 (c) 大森・宇津公式とETASモデルに適用した結果。 2011年3月11日から2015年12月31日までに発生した $M5.0$ 以上の地震を使用した。

Fig.4 The Omori-Utsu law fitted to $M \geq 5.0$ aftershocks of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake occurred (a) between March 11, 2011 and December 31, 2011, and (b) between March 11, 2011 and December 31, 2015. (c) The Omori-Utsu law and ETAS model fitted to $M \geq 5.0$ earthquakes occurred between March 11, 2011 and December 31, 2015 off Pacific coast of Tohoku.



第4図 (a) 東北地方太平洋沖で発生した地震を大森・宇津公式に適用した結果(2011年3月11日から2011年12月31日までに発生したM5.0以上の地震)。 (b) 同(2011年3月11日から2015年12月31日までに発生したM5.0以上の地震)。 (c) 大森・宇津公式とETASモデルに適用した結果。2011年3月11日から2015年12月31日までに発生したM5.0以上の地震を使用した。

Fig.4 The Omori-Utsu law fitted to M \geq 5.0 aftershocks of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake occurred (a) between March 11, 2011 and December 31, 2011, and (b) between March 11, 2011 and December 31, 2015. (c) The Omori-Utsu law and ETAS model fitted to M \geq 5.0 earthquakes occurred between March 11, 2011 and December 31, 2015 off Pacific coast of Tohoku.



第5図 1997年10月以降の東北地方太平洋沖における地震の震央分布図と領域a-cのM-T図及び回数積算図。

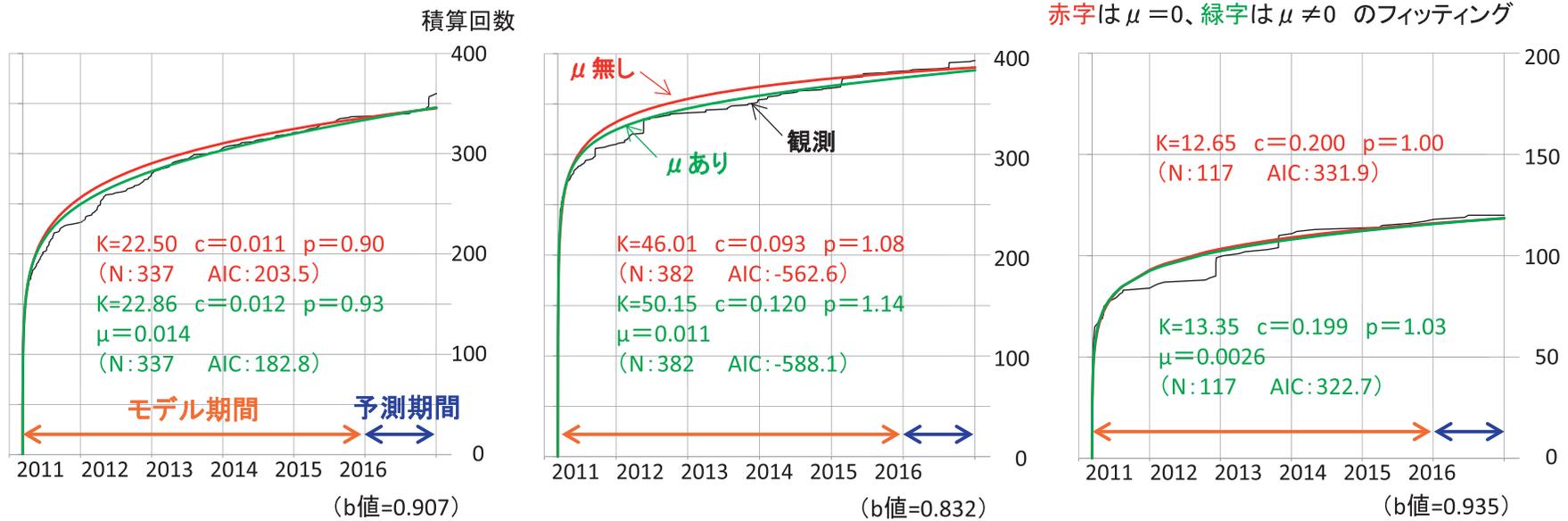
Fig.5 Epicenter distribution and M-T diagrams with cumulative number for each region a-c shown in epicenter distribution of earthquakes occurred after October 1, 1997 off Pacific coast of Tohoku.

領域a(沿岸)

領域b(沖合)

領域c(海溝)

大森・宇津モデルへのフィッティング(2011.3.11~2015.12.31、Mth5.0)



2016年(1年間)にM6.0以上の地震が発生する確率・予測数

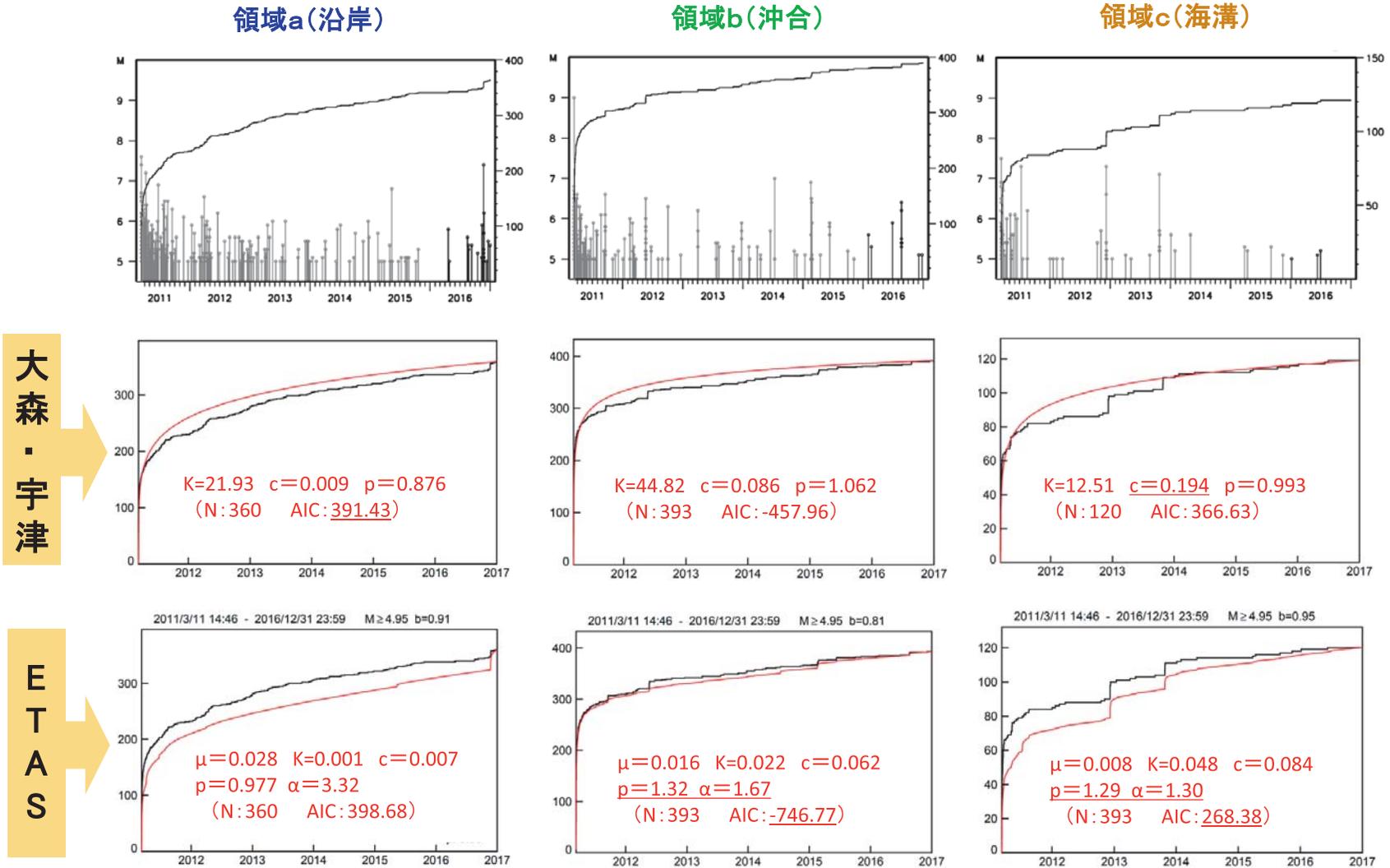
68.7% (予測数1.16回) → 実際 2回
 78.4% (予測数1.53回)

51.1% (予測数0.72回) → 実際 2回
 66.0% (予測数1.08回)

24.8% (予測数0.29回) → 実際 0回
 29.0% (予測数0.34回)

第6図 東北地方太平洋沖の地震を各領域 a-c (第5図) について大森・宇津公式に適用した結果. 2011年3月11日から2015年12月31日までに発生したM5.0以上の地震を使用した.

Fig.6 The Omori-Utsu law fitted to $M \geq 5.0$ earthquakes occurred between March 11, 2011 and December 31, 2015 for each region a-c shown in fig. 5.



第7図 東北地方太平洋沖の地震を各領域 a-c (第5図) について大森・宇津公式と ETAS モデルに適用した結果. 2011年3月11日から2016年12月31日までに発生したM5.0以上の地震を使用した.

Fig.7 The Omori-Utsu law and the ETAS model fitted to $M \geq 5.0$ earthquakes occurred between March 11, 2011 and December 31, 2016 for each region a-c shown in fig. 5.

第1表 宮古島付近における各グループの地震発生確率.

Table 1 Probability of earthquake occurrence for each group near Miyakojima island.

相似地震グループ	平均M	過去の地震で観測された震度	μ^*	α^{**}	最新活動日	次の地震が70%の確率で発生すると予測される期間	70%予測期間的中率
★ グループX	M5.1	震度4～3	6	0.12	2014年9月18日	2019年12月～2021年7月	3/5
▲ グループA	M4.4	震度3程度	2.2	0.27	2017/2/17 (2015年3月6日)	2018年10月～2019年12月 (2016年10月～2018年1月)	9/9 (8/8)
● グループB	M4.2	震度3～2	2.5	0.16	2015年3月14日	2017年4月～2018年1月	4/7
● グループC	M3.9	震度2程度	1.8	0.18	2017/1/21 (2015年1月16日)	2018年7月～2019年3月 (2016年6月～2017年2月)	6/8 (5/7)

* μ : 平均発生間隔 (年)

** α : 発生間隔のばらつき

第2表 沖縄本島近海における各グループの地震発生確率.

Table 2 Probability of earthquake occurrence for each group near Okinawajima island.

相似地震グループ	平均M	過去の地震で観測された震度	μ^*	α^{**}	最新活動日	次の地震が70%の確率で発生すると予測される期間	70%予測期間的中率
● グループX	M4.0	震度2程度	2.4	0.12	2016年8月8日	2018年9月～2019年4月	2/6
◆ グループA	M3.1	震度1程度	1.1	0.12	2016年3月4日	2017年3月～2017年6月	5/8
▲ グループB	M2.8	無感	1.1	0.21	2015年11月18日	2016年9月～2017年3月	7/8

* μ : 平均発生間隔 (年)

** α : 発生間隔のばらつき

第3表 大森・宇津公式による東北地方太平洋沖におけるM7.0以上の地震発生予測と観測状況の比較.

Table 3 Comparison between estimations of the Omori-Utsu law and overvations.

モデル期間	予測期間	大森・宇津公式		μ を加味した大森・宇津公式		観測数 (回)
		確率 (%)	予測数 (回)	確率 (%)	予測数 (回)	
本震後～2011年12月31日	2012年	60	0.9	67	1.1	1
本震後～2012年12月31日	2013年	48	0.7	54	0.8	1
本震後～2013年12月31日	2014年	39	0.5	46	0.6	1
本震後～2014年12月31日	2015年	32	0.4	39	0.5	0
本震後～2015年12月31日	2016年	28	0.3	36	0.5	1