

1 1 - 2 ユーラシア南東部プレート境界付近の長期地震活動と 2008年5月12日中国四川省の地震 Mw7.9

Long-term seismic activity along the southeastern Eurasian plate boundaries and the May 12, 2008 Sichuan earthquake Mw7.9

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2008年5月12日の中国四川省の地震 Mw7.9 と関係して、ユーラシア南東部プレート境界付近の長期地震活動、及び2004年12月16日スマトラ沖地震 Mw9.3 の前の広域地震活動の特徴について報告する。

第1図は1900年以降の世界の $M \geq 7.5$ の地震の震央の緯度と時間の関係を示している。最近では、1990年代半ば頃から広範囲に活発化の傾向がみられ、特に低緯度地帯の活動が目立っている。第2図は、プレート境界に沿う3つの領域 A, B, C の $M \geq 7.5$ の地震について、1900年～2008年5月20日の期間の M-t 図である。2008年5月12日の中国四川省の地震 Mw7.9 は、領域 C のインド・ヒマラヤ・チベット衝突帯の東端に位置する。この領域 C では活動期と静穏期の違いが著しく、1958年～1996年の39年間に $M \geq 7.5$ は発生していないが、1997年～2008年5月現在の約11年間に、今回の中国四川省の地震を含めて5個が発生した。領域 B のスマトラ・アンダマン沈み込み帯の2004年12月16日スマトラ沖地震 Mw9.3 は、1900年以降の $M_w \geq 9$ の5個の中で唯一インド洋に最近発生した(第1図)。この M-t 図の1980年以降に着目すると、全体に活動域の A→B→C への移動傾向がみられる。

第3図は1900年以降の領域 A, B, C の M の度数分布を示す。この間の各領域の最大地震 M1 のうち、領域 B の2004年スマトラ沖地震 Mw9.3 が飛びぬけて大きいこと、 $M \geq 7$ の度数分布から求めた b 値は、領域 B と C はほぼ同じ値であるが、度数分布は M の大きな方で領域 B は凹型、領域 C は凸型を示すことが特徴的である。

第4図は、2004年スマトラ沖地震の震源を中心とする半径 $R=3000\text{km}$ の領域、及びインド・ヒマラヤプレート境界の中央部を中心とする半径 $R=2000\text{km}$ の領域について、1977年以降の $M \geq 6.5$ の M-t 図、及び M の度数分布の時間変化を示している。2004年スマトラ沖地震の周辺 $R=3000\text{km}$ の領域は、大地震の M とその臨界域の関係¹⁾を参照して採ったものである。この $R \leq 3000\text{km}$ の領域の M-t 図から、2004年スマトラ沖地震の前、時間とともに周辺の地震活動が活発化し、かつ M が大きくなる傾向が明瞭である。M の度数分布でみると、時間的に M 7クラスの度数が増し、その分布形は、凸型からより M の大きな範囲まで G-R の関係が成り立つ直線形へ変化している(第4図左下の、—○—の記号の分布形から、直前までの期間の一□—の記号の分布形への変化)。

一方、第4図のインド・ヒマラヤプレート境界の中央部を中心とする半径 2000km の領域は、概ね第2図の領域 C に対応し、またヒマラヤ衝突帯のサイスミシティギャップ²⁾付近を中心に採った。この $R \leq 2000\text{km}$ の領域の M-t 図と M の度数分布の時間変化は、上記スマトラ沖地震を中心とする $R \leq 3000\text{km}$ のスマトラ沖地震前のそれらの特徴と似たような特徴を持つ。すなわち、M が時間的に大きくなり、M のより大きな範囲まで G-R 式が成り立つ変化傾向にある(第4図右下の一○—の分布形から、一□—の分布形への変化)。しかし、今回の2008年5月12日の Mw7.9 は、1977年以降のこの $R \leq 2000\text{km}$ の領域で最大の地震であるが、この地震を含め M の度数分布は M の大きい方で依然として凸型である(第4図右下—▽—の分布形)。

第5図は、第4図の M-t 図から、いわゆる累積ベニオフ歪を求め、その加速傾向に time-to-failure モデル^{3), 4)}を適用した例を示している。(a)は、第4図の $R \leq 3000\text{km}$ の領域の2004年スマトラ沖地震 Mw9.3 の前までの期間、(b)と(c)は、第4図の $R \leq 2000\text{km}$ の領域の2007年9月末まで、及び2008年5月20日までの期間の地震についてである。Time-to-failure モデルとして、第5図左上の二つの式のように、(1)時間のべき乗則、(2)時間のべき乗則+対数周期性、の関数形を各々適用し、非線形最小二乗法で最終破壊時間 tf 及びその他のパラメータを求めた。(2)式はパラメータ数が多いため、特に初期値に依存して最終解は

必ずしも安定でない。第5図には、パラメータの妥当な範囲で観測値の分布傾向を良く表す結果の例を示した。(a)のスマトラ沖地震前の累積ベニオフ歪に対して、(1)、(2)のtfは、各々2006.8年及び2005.1年が得られた。(2)によるtf=2005.1年は実際の発生時間2004年12月26日に近い値を示している。

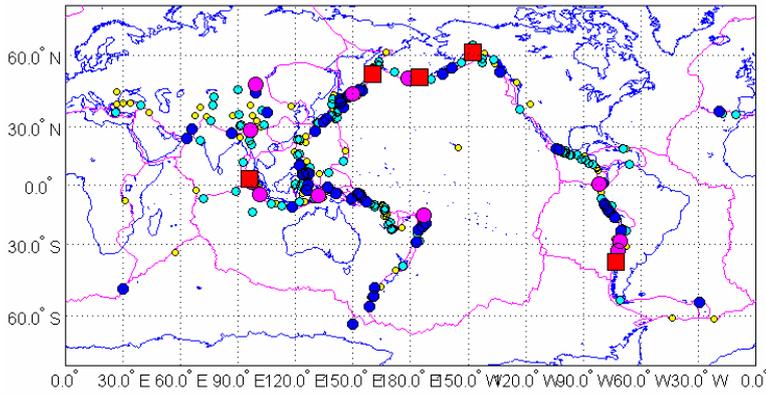
一方、ヒマラヤ中央部を中心とする $R \leq 2000\text{km}$ の領域では、(b)の2007年9月末までの観測値に対して、(1)と(2)のtfは、各々2010.6年、2008.7年で、(2)のtf=2008.7年は今回の2008年5月12日の四川省の地震に近い値である。これに対し、その後発生した2個の地震(2008年3月21日中国新疆ウイグル自治区Mw7.1及び今回の地震5月12日Mw7.9)を含む2008年5月20日までの累積ベニオフ歪は、(c)のように依然加速傾向があるようにみえる。この累積歪に対する(1)、(2)のtfとして、各々2016.1年、2013.8年が得られた。

以上、第2図～第5図の領域C、及びヒマラヤ中央部を中心とする広範囲(ここでは $R \leq 2000\text{km}$)の地震活動の特徴から、インド・ヒマラヤ・チベット衝突帯で加速的な活発化傾向がみられる。過去にも長大なプレート境界に沿う明瞭な活動期と静穏期の繰り返し、地震活動の移動が調査されている^{5) 6) 7)}。これらの広域の地震活動の推移を注視し、定量的解析とモデルの適用、評価等が重要である。

(野口伸一)

参考文献

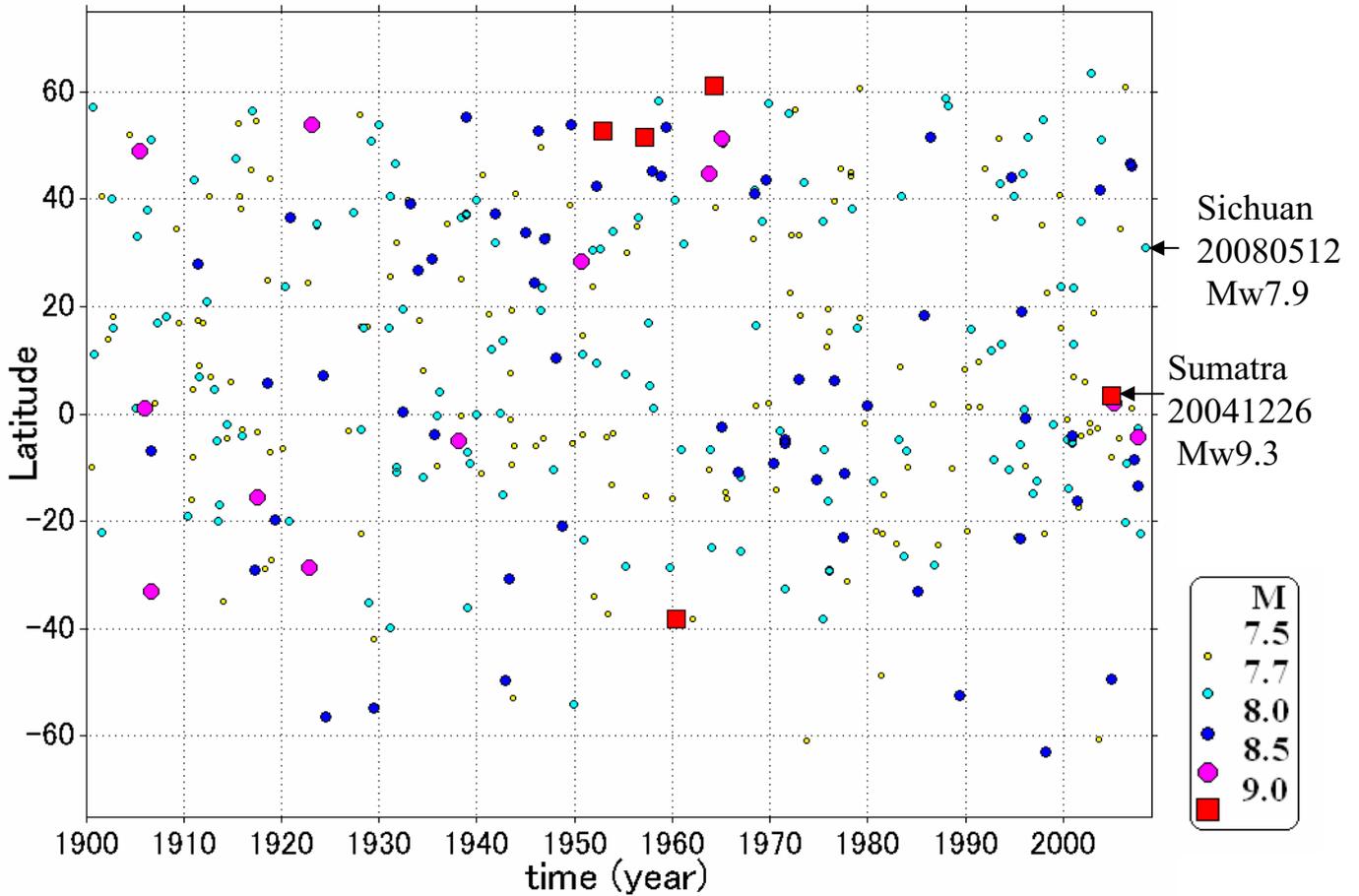
- 1) Bowman, D. D., G. Ouillon, C. G. Sammis, A. Sornette, D. Sornette, 1998. An observational test of the critical earthquake concept, *J. Geophys. Res.*, 103, 24359-24372.
- 2) Bilham, R., N. Ambraseys, 2005. Apparent Himalayan slip deficit from the summation of seismic moments for Himalayan earthquakes, 1500-2000, *Current Science*, 88, 1658-1663.
- 3) Buffe, C. G., D. J. Varnes, 1993. Predictive modeling of the seismic cycle of the Greater San Francisco Bay region, *J. Geophys. Res.*, 98(B6), 9871-9884.
- 4) Sornette, D., C. G. Sammis, 1995. Complex Critical Exponents from Renormalization Group Theory of Earthquakes: Implications for Earthquake Predictions, *J. Phys. I France* 5, 607-619.
- 5) Mogi, K., 1974. Active periods in the world's chief seismic belts, *Tectonophysics*, 22, 265-282.
- 6) Mogi, K., 1979. Global variation of seismic activity, *Tectonophysics*, 57, T43-T50.
- 7) 茂木清夫, 1981. 地震—その本性をさぐる, 東京大学出版会, 164pp.



1900 1 1-2008 520 $M \geq 7.5$
 Dep:0-100 N=368

References

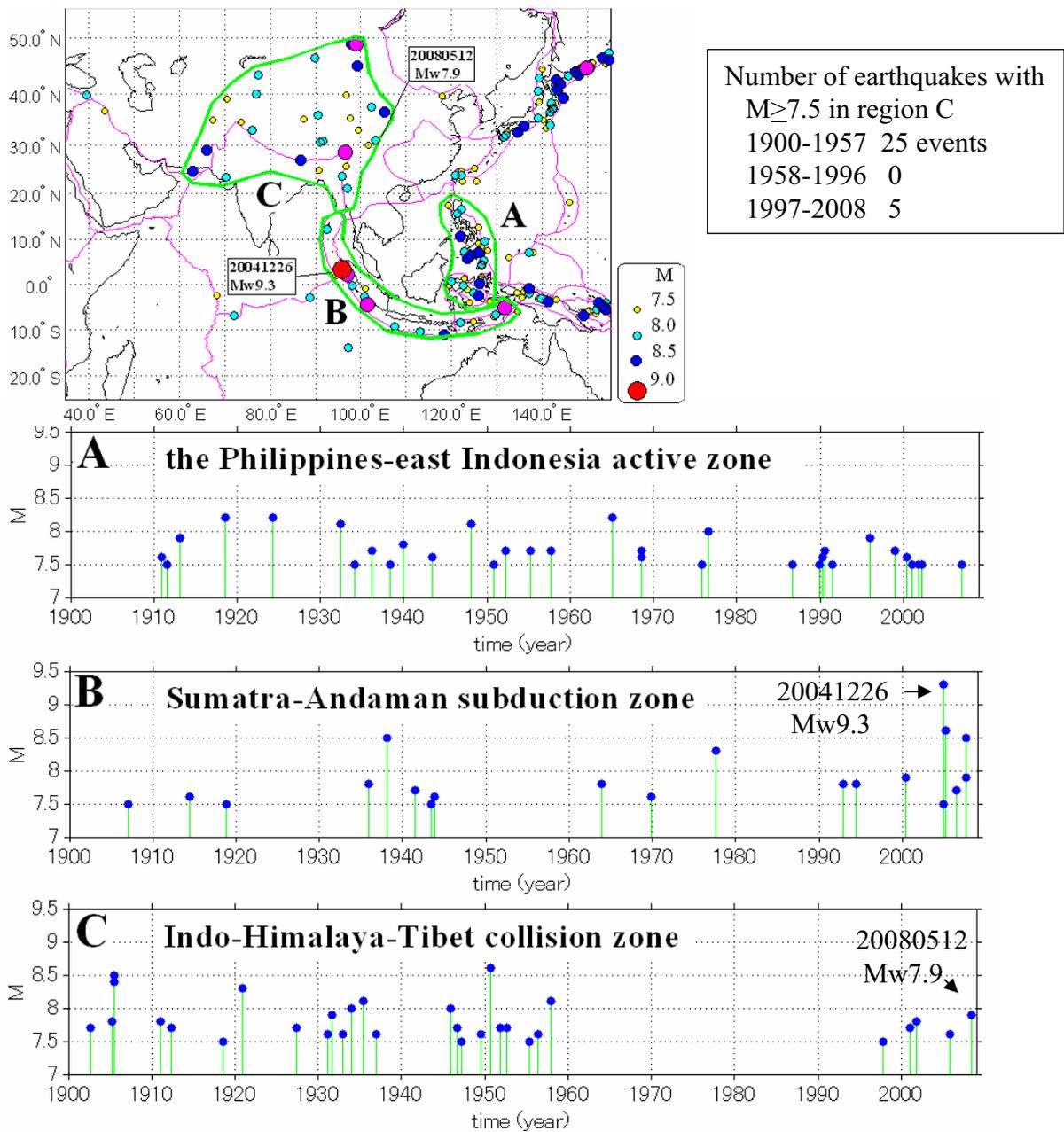
Catalogs: Engdahl, E. R. & Villasenor (2002),
 Utsu, T. (1999), Harvard Global moment
 tensor catalog, USGS/NEIS PDE catalog.
 Plate boundaries: Bird, P. (2003).



第1図 1900年1月1日~2008年5月20の世界の $M \geq 7.5$ の地震の緯度と時間の関係. 2004年12月26日のスマトラ沖地震Mw9.3, 2008年5月12日の中国四川省の地震Mw7.9の位置を図中に示す.

Fig.1 Latitude-time distribution of large earthquakes with $M \geq 7.5$ for the time period 19000101-20080520. Arrows show the Sumatra earthquake of 26 December 2004 and the Sichuan earthquake of 12 May 2008, respectively.

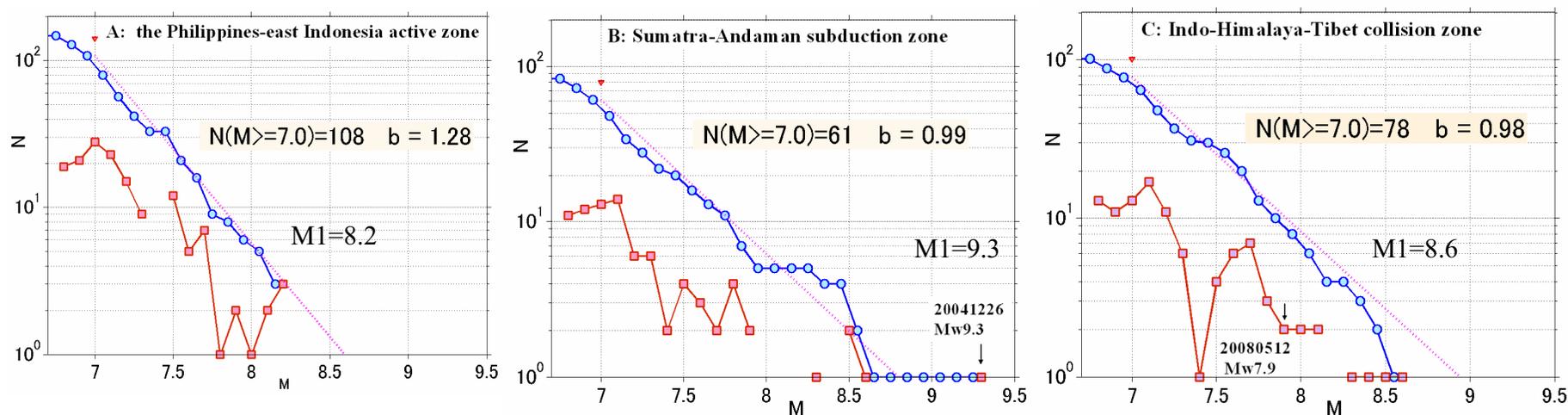
M-t plot in regions A, B, and C with $M \geq 7.5$ and depth ≤ 60 km during 1900/1/1-2008/5/20



第2図 ユーラシア南東部のプレート境界に沿う3つの領域A, B, Cの $M \geq 7.5$ のM-t図。期間は1900年～2008年5月20日。2008年5月12日の中国四川省の地震 $M_w 7.9$ は、領域Cの東端に位置する。領域Cでは長期的な活動期と静穏期の繰り返しが著しい。最近では1997年以降5個の $M \geq 7.5$ が発生している。

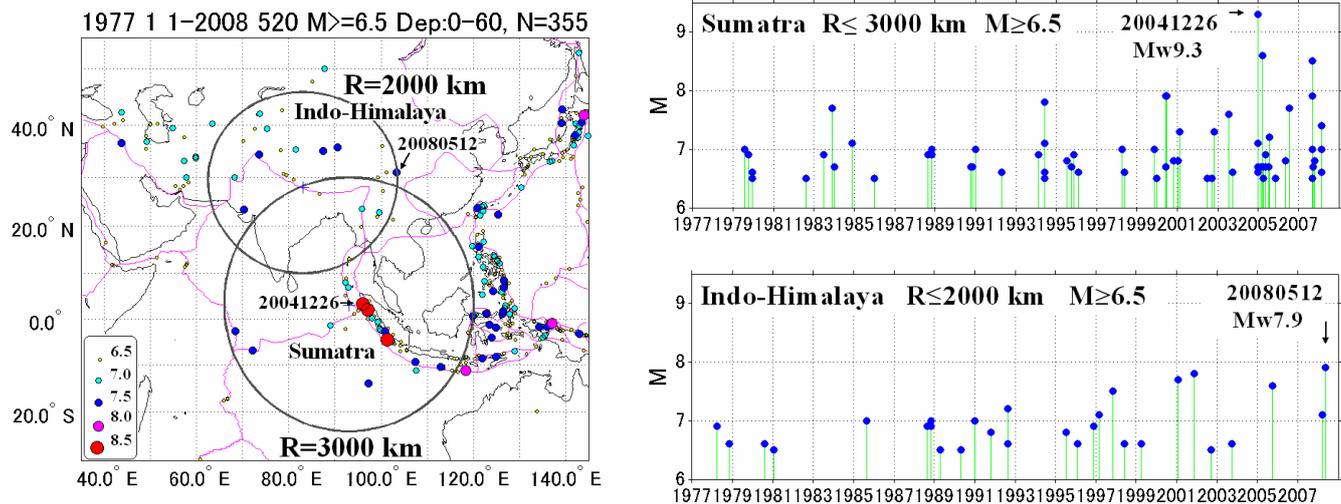
Fig.2 M-t plot of earthquakes with $M \geq 7.5$ in the regions A, B and C along the southeastern Eurasian plate boundaries for the time period 19000101-20080520. The 12 May 2008 Sichuan earthquake $M_w 7.9$ locates in the eastern edge of region C. Long-term active and quiescent periodicity is remarkable in region C. Recent active period shows the occurrence of five events with $M \geq 7.5$ since 1997 including the 2008 Sichuan earthquake.

Frequency-magnitude relations in regions A, B, C 19000101-20080520 $M \geq 6.8$ $dep \leq 60\text{km}$

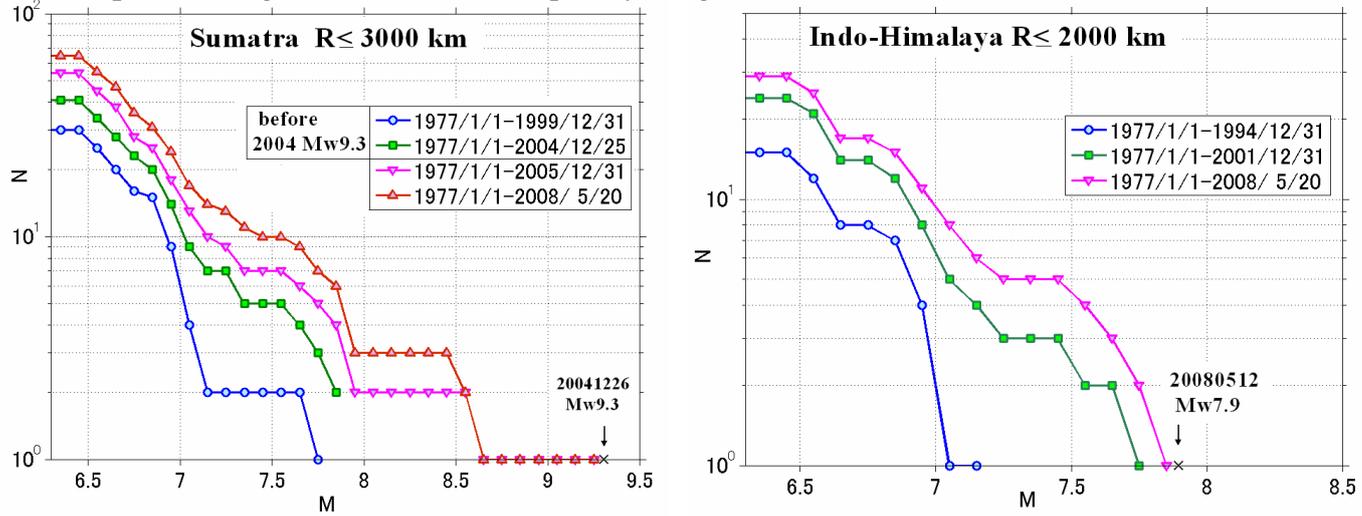


第3図 第2図の領域A, B, Cの $M \geq 6.8$ の地震の度数分布. 期間は1900年~2008年5月20日. $M1$ は各領域の最大地震のマグニチュード, b 値は $M \geq 7$ の分布から求めた値を示す.

Fig.3 Frequency-magnitude distribution of earthquakes with $M > 6.8$ in regions A, B and C for the period 19000101-20080520. $M1$ is the maximum magnitude in each area. b -values are calculated for earthquakes with $M > 7.0$.



Temporal change of cumulative frequency-magnitude relation



第 4 図 2004 年スマトラ沖地震の震源を中心とする半径 $R=3000\text{km}$ の領域, 及びインド・ヒマラヤプレート境界の中央部を中心とする半径 $R=2000\text{km}$ の領域の $M-t$ 図, 及び M の度数分布の時間変化. 1977 年以降の $M \geq 6.5$ の地震について示す. スマトラ沖地震周辺の $R \leq 3000\text{km}$ の地震の $M-t$ 図と M の度数分布は, 2004 年スマトラ沖地震の前, 大きな地震が時間的に増し, M の分布形が凸型から $G-R$ の関係が成り立つ直線形への変化を示している. インド・ヒマラヤプレート境界の中央部を中心とする $R \leq 2000\text{km}$ の地震の $M-t$ 図と M の度数分布にも, 2004 年スマトラ沖地震前と似た特徴がみられる.

Fig.4 $M-t$ plot and frequency-magnitude (F-M) distribution of earthquakes in the circular region radius $R=3000\text{km}$ centered at the 20004 Sumatra earthquake, and in the circular region radius $R=2000\text{km}$ centered at the central Himalaya collision zone, respectively. Earthquakes since 1977 and $M \geq 6.5$ are plotted. $M-t$ plot and F-M distribution before the 20004 Sumatra earthquake show the temporal increase of large earthquakes and the temporal change of F-M distribution from convex to rather straight form fitting for the G-R relation in larger M range. $M-t$ plot and F-M distribution of earthquakes in the circular region radius $R=2000\text{km}$ centered at the central Himalaya collision zone also show a tendency resembling the activity before the 2004 Sumatra earthquake.

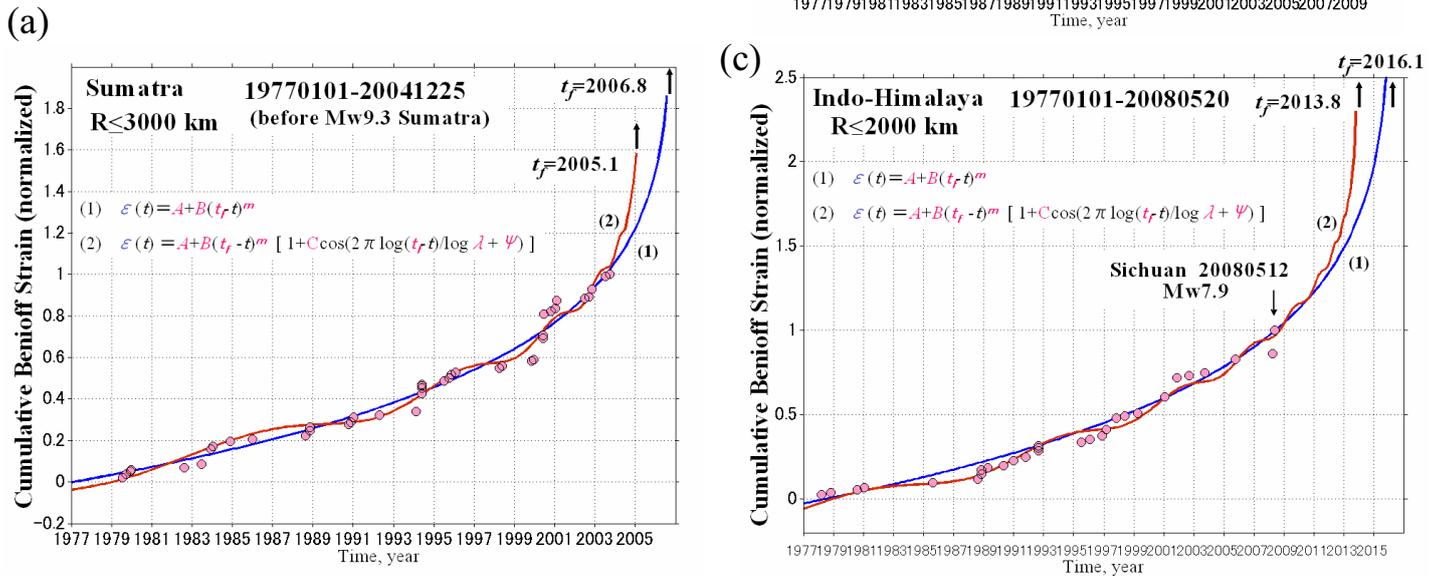
Two models of time-to-failure analysis applied for earthquakes in Sumatra area and in the Indo-Himalaya region.

(1) a power law function (Bufe and Varnes, 1993):

$$\varepsilon(t) = A + B(t_f - t)^m$$

(2) a log-periodic function (Sornette & Sammis, 1995):

$$\varepsilon(t) = A + B(t_f - t)^m [1 + C \cos(2\pi \log(t_f - t) / \log \lambda + \Psi)]$$



第 5 図 2004 年スマトラ沖地震の震源を中心とする半径 $R=3000\text{km}$ の領域、及びインド・ヒマラヤプレート境界の中央部を中心とする半径 $R=2000\text{km}$ の領域の $M-t$ 図(第 4 図)から、累積ベニオフ歪を求め、その加速傾向にふたつの time-to-failure モデル^{3), 4)}を適用した例. 非線形最小二乗法で最終破壊時間 t_f 及びその他のパラメータを求めた. (a)は、第 4 図の $R \leq 3000\text{km}$ の領域の 2004 年スマトラ沖地震 $M_w 9.3$ の前までの期間、(b)と(c)は、第 4 図の $R \leq 2000\text{km}$ の領域の 2007 年 9 月末まで、及び 2008 年 5 月 20 日までの期間. (a)の 2004 年 12 月 26 日のスマトラ沖地震前までのデータに(2)式を適用すると、 $t_f=2005.1$ 年となり実際の発生時間に近い値が得られた.

Fig.5 Cumulative Benioff strain release normalized for earthquakes in the two circular areas shown in Fig. 4. Two time-to-failure models are applied^{3),4)}. (a) Cumulative Benioff strain and the calculated curves of two time-to-failure functions, by applying a non-linear least-square method, respectively, for earthquakes before the 2004 Sumatra earthquake in the circular region radius $R=3000\text{ km}$. (b), (c) Cumulative Benioff strain and the calculated curves for earthquakes in the circular region radius $R=2000\text{ km}$ centered at the central Himalaya collision zone for the period 19770101-20070930 and 19770101-20080520, respectively. The final rupture time t_f calculated from formula (2) applied to the cumulative Benioff strain before the 26 December 2004 Sumatra earthquake in (b) is $t_f=2005.1$ which is rather close to the actual occurrence time of the 2004 Sumatra event.