

日本周辺の巨大地震に伴った大きな余震

宮岡一樹*・吉田明夫*²

Large aftershocks of great earthquakes around the Japanese Islands

by

Kazuki MIYAOKA* and Akio YOSHIDA*²

Abstract

The number of large aftershocks for great earthquakes with magnitude 7.6 or larger around the Japanese Islands is investigated. In 13 great earthquakes since 1900, 8 were interplate earthquakes caused by the subduction of the Pacific plate, 3 were related to the subduction of the Philippine Sea plate, and 2 were located in the eastern boundary zone of the Japan Sea. It is shown that the number of large aftershocks following the 1923 Kanto earthquake was prominent except for the 2011 off-Tohoku Pacific earthquake. On the other hand, relatively few large aftershocks were observed for the 1944 Tonankai and 1946 Nankai earthquakes which were also caused by the subduction of the Philippine Sea plate. A weak linear relationship is recognized between the number of aftershocks with magnitude 6.0 or larger and the moment magnitude of main shocks. Occurrence of many large shocks after the 1923 Kanto earthquake is considered to reflect complexity of its fault motion.

1. はじめに

1900 年以降に日本列島周辺で発生したマグニチュード (M) 7.6 以上の 13 個の巨大地震に伴った大きな余震の発生数を調べた。13 個中 8 個は、太平洋プレートの沈み込みによって北海道から東北日本の太平洋側で発生した地震で、この中には M9.0 の 2011 年東北地方太平洋沖地震が含まれる。あとの 5 個のうち、3 個はフィリピン海プレートの沈み込みに関連した地震、そして残り 2 個は日本海東縁の地震である。M7.6 以上の巨大地震を対象としたのは、それぞれの海域におけるテクトニクスを特徴づける地震であることと、被害を生じる大きな余震を伴う確率が高いことによる。なお、2011 年東北地方太平洋沖地震の直後に茨城県沖で M7.6 の地震が発生しているが、それは余震として除いた。

2. 解析結果

大きな余震の発生状況を調査した 13 個の巨大地震を表 1 及び図 1 に示す。図 2-1 から図 2-13 は、これらの地震後 1 年間にその震源付近で発生した M5.0 以上の地震の震央分布を示したものである。余震数を算定するにあたっては、震源断層の周辺で発生した地震も含めた。そのときの領域の取り方が多少、数に影響を与えるのは、

1923 年関東地震と 1968 年十勝沖地震である（図 2-1、2-6 を参照）。1923 年関東地震の場合、直後の 1 年間に茨城県の沖合で M6.0 以上の地震が多数発生した。この領域で発生した地震のうちどこまで関東地震の余震とみなすかについては、ここではフィリピン海プレートがその直下に存在するかどうかを判断の基準にした。茨城県沖のフィリピン海プレートの北東限については Uchida *et al.* (2010) を参考にした。1968 年十勝沖地震については、宮城県牡鹿半島沖で発生した地震は、別の“特徴的地震”のアスペリティが時期をおかずに壊れたものとみなして入れなかった。また、2011 年東北地方太平洋沖地震直後に震源域から遠方の長野県北部や静岡県東部で誘発された地震も数に加えなかった。

調査した M7.6 以上の 13 個の巨大地震に伴った M6.0 以上の余震数は表 1 に示す通りである。圧倒的に多数の 99 個を数える東北地方太平洋沖地震を別とすると、少ないものは 1993 年北海道南西沖地震の 3 個から、多いものは 1923 年関東地震の 31 個まで散らばっている。図 3 は縦軸に余震数を対数目盛でとり、横軸にモーメント・マグニチュードをとってプロットしたものである。図 2 などでは気象庁カタログを用いているが、余震数は断層面積と相関が高いと考えられることから、図 3 にはモー

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

*² 静岡大学防災総合センター 〒422-8017 静岡県静岡市駿河区大谷 836

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 45 巻, 9-16, 2013

表 1 調査対象とした地震のリスト

Table 1. List of great earthquakes with magnitude 7.6 or larger which occurred around the Japanese Islands since 1900.

	name	date	Mj	Number	Mw
1	1923 Kanto	1923/09/01 11:58	7.9	31	7.9 *1
2	1933 Sanriku-oki	1933/03/03 02:30	8.1	12	8.4 *1
3	1944 Tonankai	1944/12/07 13:35	7.9	5	8.1 *1
4	1946 Nankai	1946/12/21 04:19	8.0	5	8.1 *1
5	1952 Tokachi-oki	1952/03/04 10:22	8.2	14	8.1 *1
6	1968 Tokachi-oki	1968/05/16 09:48	7.9	16	8.2 *1
7	1969 off Shikotan island	1969/08/12 06:27	7.8	4	8.2 *1
8	1983 central Japan Sea	1983/05/26 11:59	7.7	4	7.7 *2
9	1993 off southwestern Hokkaido	1993/07/12 22:17	7.8	3	7.7 *2
10	1994 east-off Hokkaido	1994/10/04 22:22	8.2	15	8.3 *2
11	1994 far-off Sanriku	1994/12/28 21:19	7.6	8	7.7 *2
12	2003 Tokachi-oki	2003/09/26 04:50	8.0	7	8.3 *2
13	2011 off-Tohoku Pacific	2011/03/11 14:46	9.0	99	9.1 *2

*1 Chronological Scientific Tables (National Astronomical Observatory, 2011).

*2 Global-CMT catalog (The Global Central Moment Tensor Project).

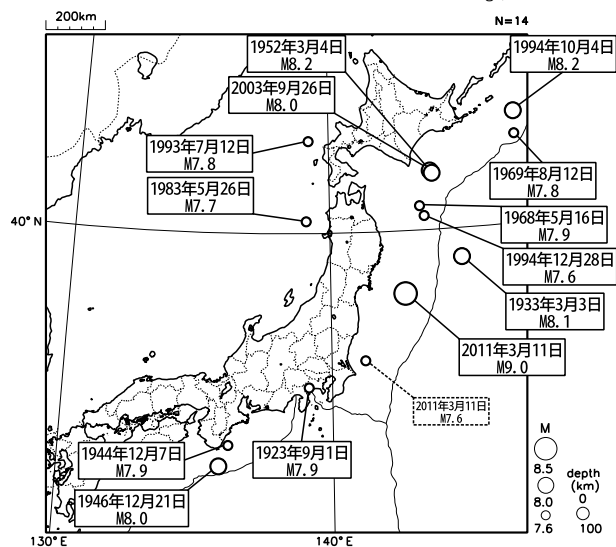


図 1 1900 年以降、日本列島周辺で発生した M7.6 以上の地震の震央分布。

Fig. 1. Epicentral distribution of great earthquakes with magnitude 7.6 or larger which occurred around the Japanese Islands since 1900.

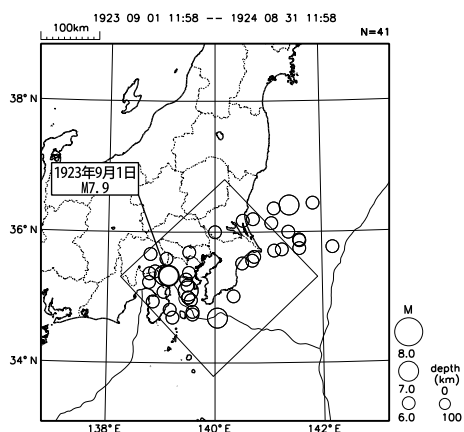


図 2-1 1923 年関東地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-1. Epicentral distribution of large earthquakes with magnitude 6.0 or larger that occurred around the focal region of the 1923 Kanto earthquake within a year. Earthquakes in the rectangular area are counted as aftershocks.

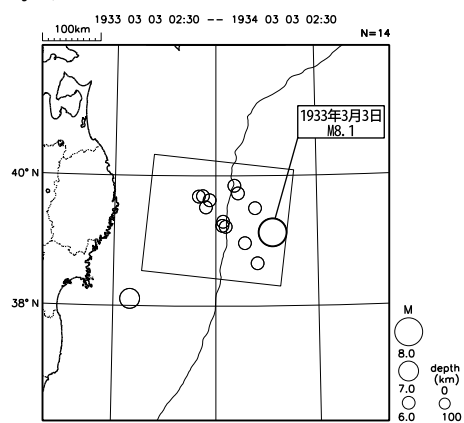


図 2-2 1933 年三陸沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-2. Same as Figure 2-1 except for the 1933 Sanriku earthquake.

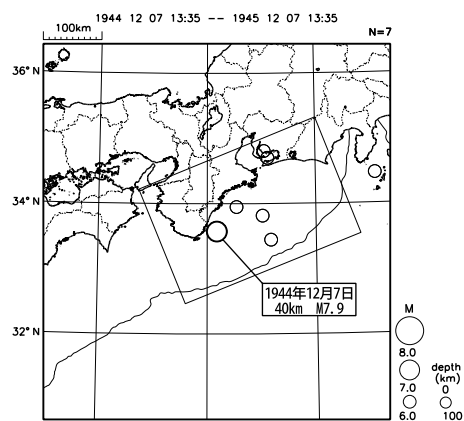


図 2-3 1944 年東南海地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-3. Same as Figure 2-1 except for the 1944 Tonankai earthquake.

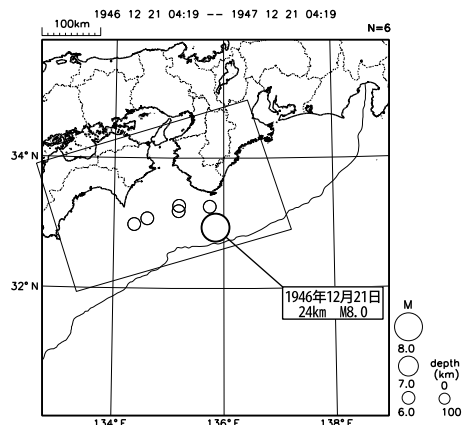


図 2-4 1946 年南海地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-4. Same as Figure 2-1 except for the 1946 Nankai earthquake.

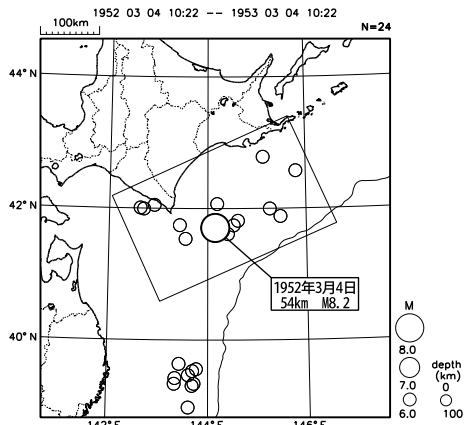


図 2-5 1952 年十勝沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-5. Same as Figure 2-1 except for the 1952 Tokachi-oki earthquake.

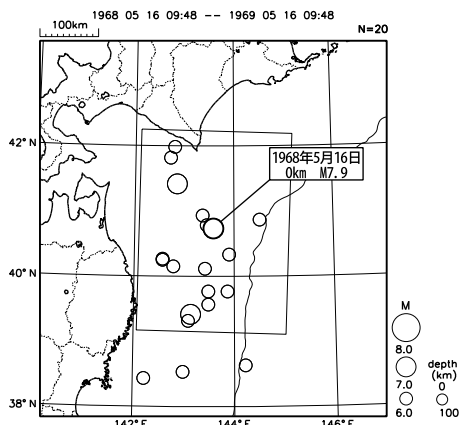


図 2-6 1968 年十勝沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-6. Same as Figure 2-1 except for the 1968 Tokachi-oki earthquake.

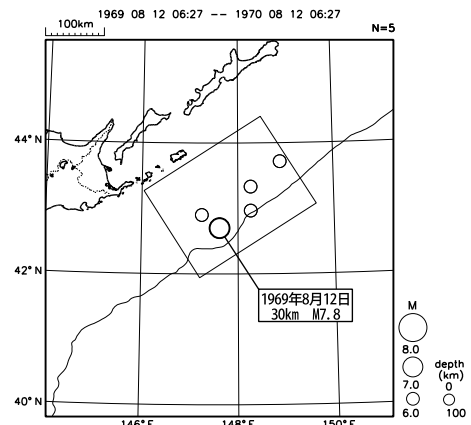


図 2-7 1969 年色丹島沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-7. Same as Figure 2-1 except for the 1969 off Shikotan island earthquake.

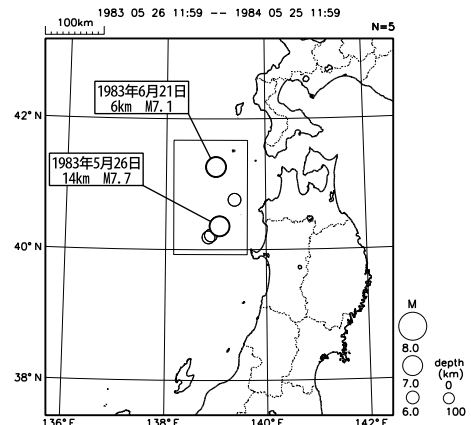


図 2-8 1983 年日本海中部地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-8. Same as Figure 2-1 except for the 1983 central Japan Sea earthquake.

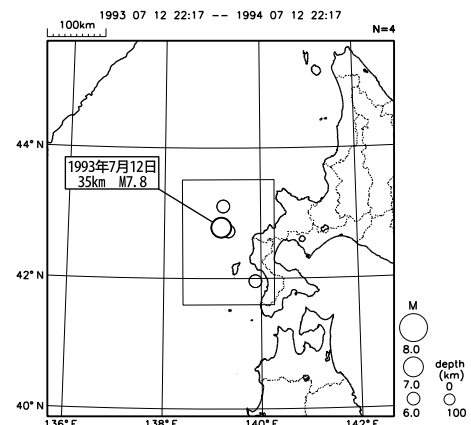


図 2-9 1993 年北海道南西沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-9. Same as Figure 2-1 except for the 1993 off southwestern Hokkaido earthquake.

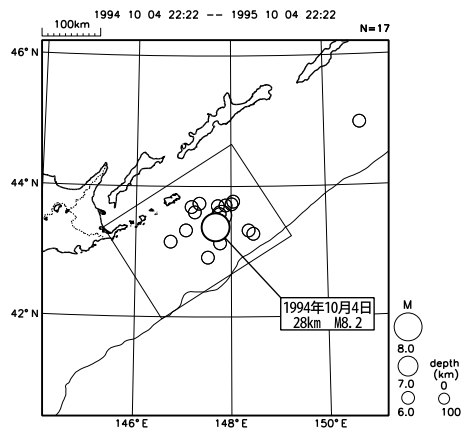


図 2-10 1994 年北海道東方沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-10. Same as Figure 2-1 except for the 1994 east-off Hokkaido earthquake.

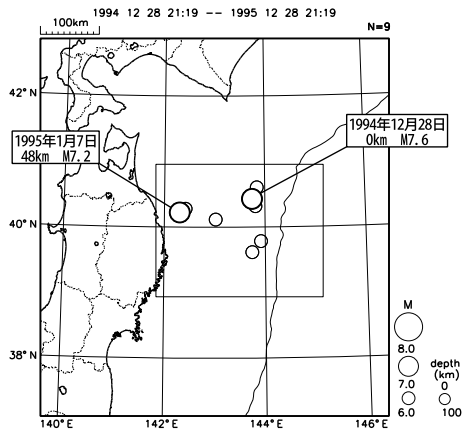


図 2-11 1994 年三陸はるか沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-11. Same as Figure 2-1 except for the 1994 far-off Sanriku earthquake.

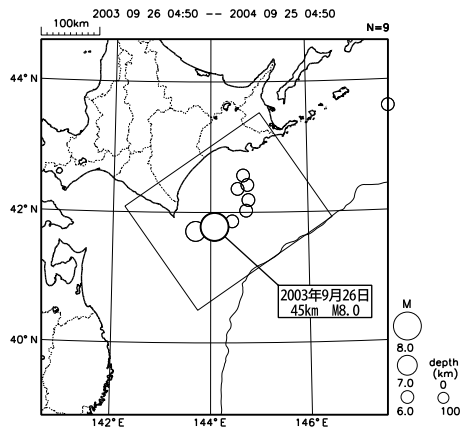


図 2-12 2003 年十勝沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-12. Same as Figure 2-1 except for the 2003 Tokachi-oki earthquake.

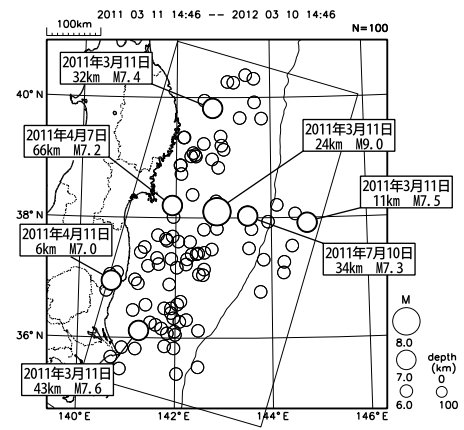


図 2-13 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域とその周辺の M6.0 以上の地震の震央分布。枠で囲った範囲の地震を余震とした。

Fig. 2-13. Same as Figure 2-1 except for the 2011 off-Tohoku Pacific earthquake.

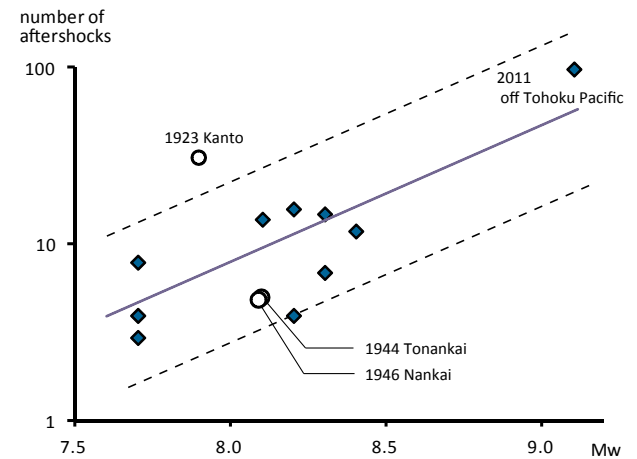


図 3 M6.0 以上の余震数とモーメント・マグニチュードの関係。実線と破線はそれぞれ、最小二乗回帰直線、標準偏差の 2 倍を表す。1923 関東地震には多くの大きな余震が伴った一方、同じフィリピン海プレートの沈み込みに起因する 1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の余震数は少ない。

Fig. 3. Scatter plot between number of large aftershocks with magnitude 6.0 or larger and the moment magnitude of main shocks. Solid and dashed lines represent the least-square regression and 2 times of the standard deviation, respectively. Note that the 1923 Kanto earthquake accompanied exceptionally many large aftershocks. Numbers of large aftershocks were rather small for the 1944 Tonankai and 1946 Nankai earthquakes that were caused by the subduction of the Philippine Sea plate similarly to the 1923 Kanto earthquake.

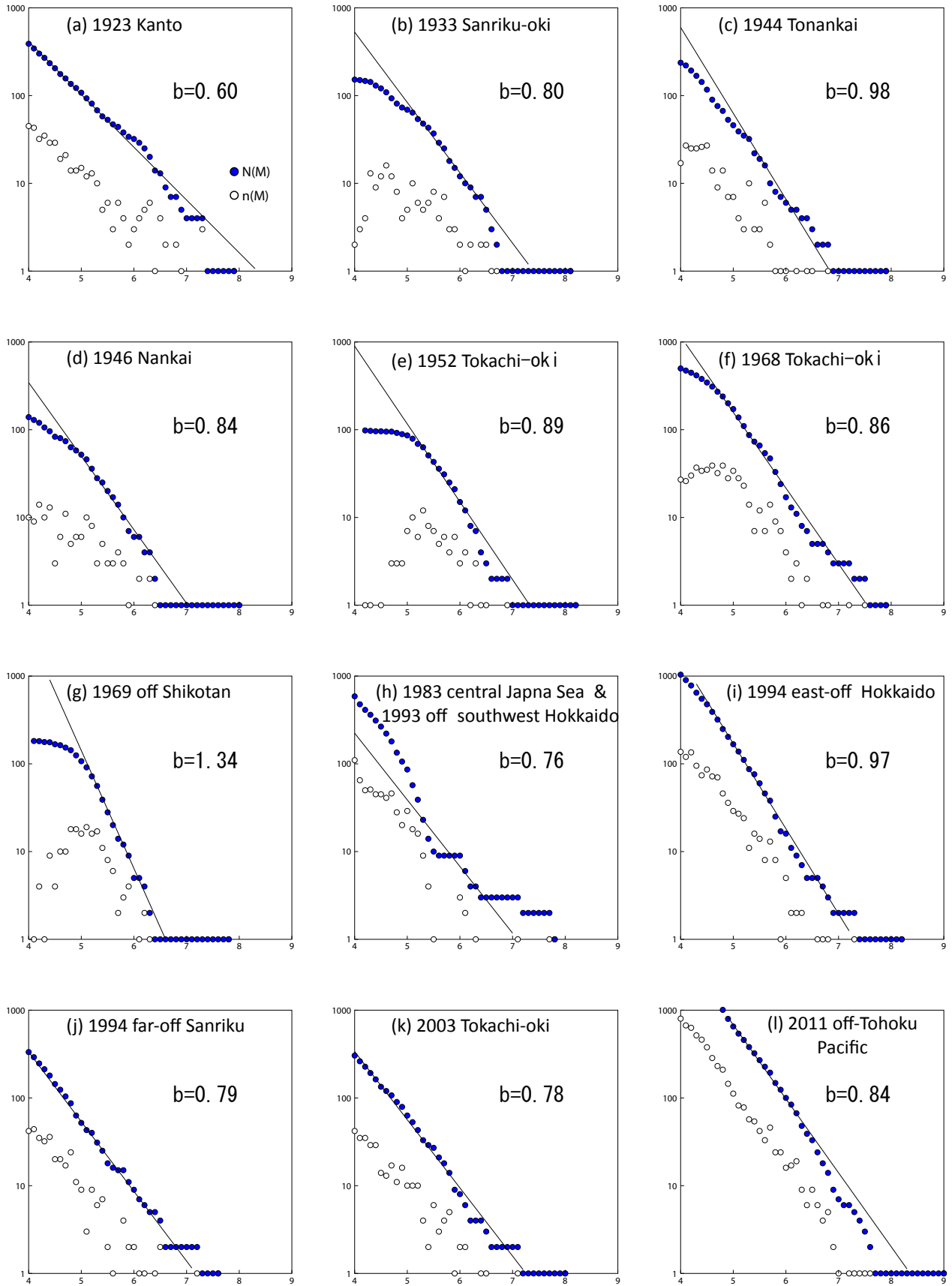


図4 それぞれの巨大地震の直後1年以内に発生したM4.0以上の地震のM—度数分布。範囲は図2と同じ。図中の直線はM5.3以上の地震の積算分布に対する最小二乗直線。

Fig. 4. Magnitude-frequency distribution of aftershocks for each great earthquakes within a year. The area is the same as that in Figure 2. A solid line represents the least-square regression line obtained by using cumulative number of earthquakes with M5.3 or larger.

メント・マグニチュードとの関係を示した。Yamanaka and Shimazaki (1990) は、日本周辺の地震について M4.5 以上の余震数の対数とモーメント・マグニチュードとの間に相関関係が見られることを指摘している。図3から、M6.0 以上の余震数とモーメント・マグニチュード（国立天文台編，2011、The Global Centroid Moment Tensor Project）との間にも、弱いながら相関関係が認められることがわかる（相関係数は 0.69。関東地震をはずした場合は 0.83）。図3の直線は最小自乗回帰直線、また破線は標準偏差の2倍を示したもので、これから、関東地震の余震数は、そのモーメント・マグニチュードとしては異常に多かったことがわかる。1923 年関東地震と対照的に、同じフィリピン海プレート沈み込みに起因する 1944 年東南海地震、1946 年南海地震は、共に 5 個と、そのモーメント・マグニチュードの大きさの割に余震数は少ない。

ここで M6.0 以上の余震数に着目したのは、海岸近くで発生した場合に被害を生じる可能性があることを考えたからであるが、単に一定規模以上の余震数の比較だけでなく、マグニチュード度数分布を基に、それぞれの余震群の統計的な性質の違いを見てみる。図4は、各地震の M4.0 以上の余震（本震発生後1年間）についてみたマグニチュード度数分布である。このうち、数の少ない日本海東縁沿いの 1983 年日本海中部地震と 1994 年

北海道東方沖地震は一つにまとめて図示した。各図には、ほぼ検知できている M5.3 以上の地震を用いて求めたマグニチュード度数分布の傾き、すなわち b 値を示しているが、関東地震の b 値は 0.60 と、他の巨大地震に比べて顕著に小さいことが見てとれる。このことは、関東地震では、小さな余震に対する大きな余震の割合が相対的に高かったことを示しており、先に述べた M6.0 以上の余震が異常に多かったという事実と符合する。なお、 b 値の計算に用いた回帰直線と横軸が交わる点は、関東地震のみ、本震のマグニチュードよりも右側に来ることに注意したい。同様な特徴は、最大地震のマグニチュードが 6.8 で本小論の解析の対象から外れるが、複雑な断層破壊をしたことで知られる 2004 年新潟県中越地震でも見られた（吉田・他, 2006）。

関東地震の余震活動が異常に活発だったことが明らかになったのは、濱田ほか (2001) の精細な調査によるところが大きい。そのことをここに特記しておきたい。なお、武村 (1994) は 1944 年東南海、1946 年南海、1952 年十勝沖、1968 年十勝沖の各巨大地震の直後 2 日間の余震活動を比較して、関東地震の場合に M6.0 以上の余震数が異常に多かったことを指摘している。

何故、関東地震に伴って大きな余震が多数発生したのだろうか？ 吉田ほか (2012) は、地震波や地殻変動の解析から求められた 1923 年関東地震の震源断層モデル

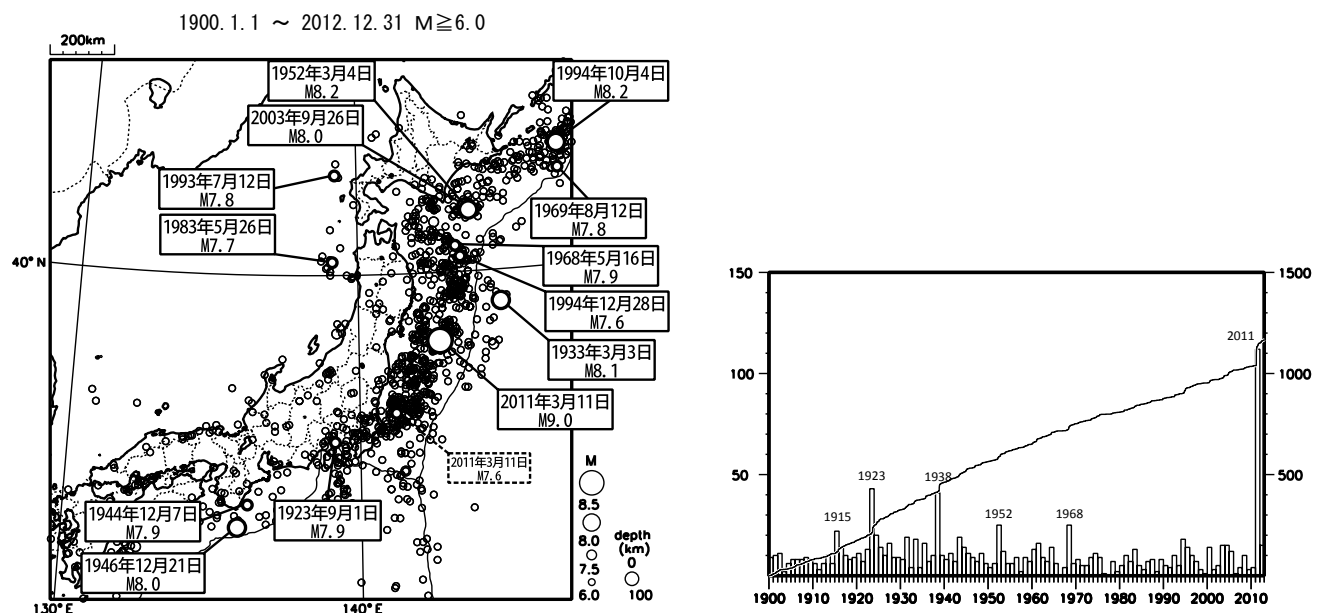


図5 (上) 1900 年から 2012 年の 113 年間に日本列島とその周辺海域に発生した M6.0 以上の地震の震央分布。(下) M6.0 以上の地震の各年の発生数とその積算。

Fig. 5. Top: Epicentral distribution of large earthquakes with magnitude 6.0 or larger which occurred in and around the Japanese Islands during the period from 1900 through 2012. Bottom: Number of large earthquakes with magnitude 6.0 or larger in each year (bar) and their cumulative number (solid curve).

は、推定されている沈み込んだフィリピン海スラブの形状や相模トラフ周辺の海底地形と整合的でないことを指摘して、関東地震は過去何度も繰り返して発生してきた、プレート間カップリングのアスペリティの破壊による”characteristic earthquake”ではなく、そのときの断層運動の偶々の成り行きに従って不規則な壊れ方をしたのではないかと推定している。関東地震に伴って大きな余震が多数発生したのは、そうした断層運動の特異性、言い換えるなら相模トラフにおけるフィリピン海プレートの沈み込みの特異性と関係しているのではないかと考えられる。

図5は、日本列島及びその周辺海域に発生したM6.0以上の地震の各年の数とその積算を示した図で、関東地震が発生した1923年の他に、1915年、1938年、1952年、1968年に数が多かったことがみてとれる。このうち、1915年は宮城県沖から三陸沖で地震活動が活発化し、また、1938年は福島県沖でM7.3からM7.5の地震3個を含むクラスター活動があった年である。いずれも特定の一つの巨大地震に伴った余震活動ではない。1952年、1968年にはそれぞれ、十勝沖地震が発生している。先述したように、1968年十勝沖地震もM6.0以上の余震が多く発生したが、興味深いのは1952年十勝沖地震の直後に1968年十勝沖地震の震源域の南端部の三陸沖でやや活発な地震活動が見られたことである（図2-5）。図6

に示すように、1968年十勝沖地震は、その三陸沖の活動と1952年十勝沖地震の余震域の間の領域をちょうど埋めるように発生した。このことは、多少想像を逞しくするなら、1952年十勝沖地震が発生した際に1968年十勝沖地震の震源域もいっしょに壊れていた可能性もあったのではないかということを示唆するように思われる。もし、そうになっていたなら、2011年東北地方太平洋沖地震の約60年前に、M9級の巨大地震の発生を目にしていたかもしれない。

3. まとめ

1900年以降に日本列島周辺で発生したM7.6以上の巨大地震に伴ったM6.0以上の大きな余震の発生数を調べた。2011年東北地方太平洋沖地震を含めてM6.0以上の余震数の対数と本震のモーメント・マグニチュードとの間には弱い相関関係が認められ、その中で1923年関東地震の場合に大きな余震が突出して多く発生していることがわかった。一方、同じフィリピン海プレートの沈み込みに起因する1944年東南海地震、1946年南海地震は、そのマグニチュードの割に余震は少ない。関東地震に伴って大きな余震が多数発生したのは、その断層運動が複雑であった（吉田ほか、2012）ことを反映していると考えられる。

謝辞

原稿を読んで有益なコメントを下さった、山科健一郎氏と瀬野徹三氏に感謝します。2名の査読者のコメントも原稿の改善に役立ちました。

参考文献

- 濱田信生・吉川一光・西脇誠・阿部正雄・草野富二雄，
2001, 1923年関東地震の余震活動の総合的調査，地震2，54, 251-265.
- 国立天文台編，2011, 理科年表平成24年版，丸善．
- 武村雅之，1994, 1923年関東地震の本震直後の余震活動 — 岐阜測候所の今村式二倍強震計記録の解析 —，地震2，46, 439-455.
- The Global Centroid Moment Tensor Project, <http://www.globalcmt.org/>.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima, and A. Hasegawa, 2010, Subduction of a wedge-shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, J. Geophys. Res., 115, B07309, doi:10.1029/2009JB006962.
- Yamanaka, Y. and K. Shimazaki, 1990, Scaling relationship

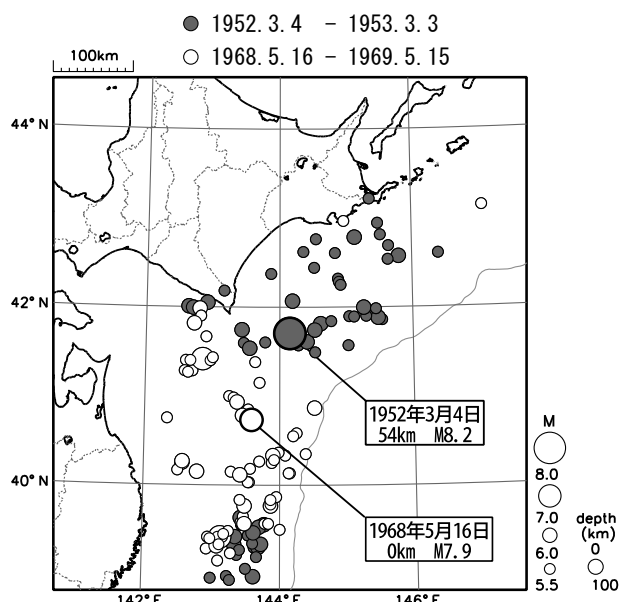


図6 1952年と1968年十勝沖地震のそれぞれの本震から1年間の余震分布（M ≥ 5.5）。

Fig. 6. Epicentral distribution of large aftershocks with magnitude 5.5 or larger which occurred within a year after main-shocks of the 1952(gray) and 1968(white) Tokachi-oki earthquakes.

between the number of aftershocks and the size of the main shock, J. Phys. Earth., 38, 305-324.

吉田明夫・原田昌武・小田原啓・宮岡一樹・小林昭夫・野口伸一, 2012, 関東地震は”caharacteristic earthquake”か?, 神奈川県温泉地学研究所研究報告

, 44, 1-7.

吉田明夫・塚越利光・細野耕司, 2006, 新潟県中越地震の余震活動の特異性, 地球惑星科学連合 2006 年大会, S110-P016.