1990年代の太平洋西縁域における地震活動の異常な活発化

吉 田 明 夫*

Anomalous Seismic Activity in the Western Peripheral Region of the Pacific Ocean in 1990s

Akio YOSHIDA *

Abstract

Seismic activity in and around the Japanese islands was conspicuously high in the mid-1990s. Further, a number of large earthquakes occurred around the Philippine islands in the early 1990s, and then, around Kalimantan, Sulawesi, Java, and western New Guinea islands. We show that the seismic activity in the western peripheral region of the Pacific Ocean in 1990s was so remarkable that it contributed substantially to the notable increase of seismic energy released in 1995-1996 worldwide. The activity seems to have started in the region near the Philippine islands. It is improbable, however, that the successive occurrence of large earthquakes in the western peripheral region of the Pacific Ocean was triggered by the impact of one particularly big event such as the 1990 Philippine earthquake or the huge 1991 eruption of Mt. Pinatubo. Instead, we think that the activity might be produced by a slow tectonic event that lasted for a few years and had a spatial scale of several thousands of kilometers.

Key words : anomalous seismic activity, 1990s, western peripheral region of the Pacific Ocean

キーワード : 異常地震活動, 1990年代, 太平洋西縁域

I. はじめに

1990年代半ば, 日本周辺では巨大地震の発生が続いた。例えば, 1993年1月の釧路沖地震 ($M7.8$, 以下, 何も添え字のない M はすべて気象庁マグニチュードを表す), 1993年7月の北海道南西沖地震 ($M7.8$), 1994年10月の北海道東方沖地震 ($M8.2$), 同年12月の三陸はるか沖地震 ($M7.6$), それから1995年のエトロフ島沖地震 ($M7.2$, ハーバード解ではモーメントマグニチュード (以下, M_w と表記する) が $M_w7.9$ と求

められている) 等が, 北日本の海域で相次いで発生している。このことから, 地震活動はとりわけ北日本において活発だったように見えるが, 実は1923年関東大地震以来という多数の犠牲者をだした1995年1月の兵庫県南部地震 ($M7.3$) を始め, 1993年の能登半島沖地震 ($M6.6$), 1995年10月の奄美大島近海の地震 ($M6.6$ と $M6.5$), 1996年10月と12月の二つの日向灘地震 ($M6.9$ と $M6.7$), 1997年3月の鹿児島県北西部の地震 ($M6.5$), 同年6月の山口・島根県境の地震 ($M6.6$), 1998年5月の石垣島近海の地震 ($M7.6$)

* 気象庁地磁気観測所

* Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency

図 1 1990-1999 年の 10 年間に、日本とその周辺の海域に発生した $M_w 6.5$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布 (上左) と時空間分布 (上右) 及び数の積算 (下)。
ハーバードのモーメントテンソル解 (Dziewonski *et al.*, 2000) に基づく。以下、図 5-10 も同様。

Fig. 1 Epicentral distribution (top left), space-time distribution (top right), and cumulative number (bottom) of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M_w 6.5$ or larger that occurred in and around the Japanese islands during the period from 1990 through 1999.
This figure and Figs. 5-10 are based on the Harvard catalogue of centroid-moment tensor solutions for large earthquakes (Dziewonski *et al.*, 2000).

など、西南日本でも同時期に大きな地震が多発している。数年の間にこれだけ多くの大地震が日本周辺で発生したのは、機械的な地震観測が全国的な規模で行われるようになった 1926 年以降の長期間を通して見た場合でも異例である。ここで更に視野を広げて東南アジアに目を向けてみると、1990 年代初めフィリピン周辺で、また、その後スラウェシからニューギニアにかけて巨大地震が続発しており、1990 年代における地震活動の活発化は太平洋西縁域一帯にわたっていたことがわかる。今のところ、この日本周辺と東南アジアの活

動が相互に関係していたことを示す直接的な証拠はない。しかし、著者は、太平洋西縁域の広い範囲で応力が増大するような、長大な空間的スケールの何らかのテクトニックなイベントが、1990 年代に生じた可能性があると考えている。

II. 1995 年前後の日本周辺の地震活動

図 1 は、1990-1999 年の 10 年間に日本とその周辺の海域に発生した $M_w 6.5$ 以上の地震の震央分布と時空間分布、数の積算である。図 1 から直ちに見てとれることは、1994-1996 年にこれら大地

震の発生数が著しく増加したこと、また、その発生域は、巨大地震が目立った北海道周辺だけでなく、西南日本を含む全域にわたっていたことである。ここではハーバード・カタログ（例えば、Dziewonski *et al.*, 2000）に基づく図を示したが、まったく同様の特徴が気象庁地震カタログ（例えば、気象庁, 2001）や国際地震センター（ISC）の地震カタログ、米国地質調査所（USGS）の地震カタログを用いても認められる。これら複数の地震カタログのすべてで同じ特徴が見られることは、それが信頼性の高い事実であることを示している。

もっと長期間で見た場合にも、日本周辺の地震活動が1990年代半ばに異常に活発であったことは、中央气象台による地震計観測網が全国的に展開された1926年以降の $M6$ 以上の地震数の積算図（図2）からも明瞭に見ることができる。図2では、1933年頃と1938年頃、それから1952年と1968年にも $M6$ 以上の大きな地震の発生数が一時的に多かった時期のあることがわかるが、後二者はそれぞれ1952年と1968年の十勝沖地震の余震活動を表しており、また1933年は太平洋プレートを切ったと考えられている三陸沖巨大地震（ $M8.1$ ）が発生した年、そして1938年は福島県沖で $M7$ 以上の地震4個を含む群発的な活動が発生した時にあたっている。これらは特定の巨大地震、もしくは群発活動に対応したもので、その活発な期間は $M6$ 以上の地震で見た時、例えば1933年の場合はほぼ半年、1938年の場合は2ヶ月と短く、活発だった領域も震源域とその周辺に限定される（図3及び図4）。これに対して1990年代半ばの活発化は、先に見たように北海道周辺で目立ったものの日本全国に及んでおり、期間も約3年と比較的長く続いた。こうしたことから、1990年代半ばの活発化は上述の他の二つの期間における大地震の多発とは明らかに性質の異なるものであったと考えられる。

では、この日本全域にわたって見られた1990年代半ばの地震活動の活発化は、たまたま生じた偶然の出来事だったのだろうか。それとも、何らかの原因があって現れた地学的に意味のある現象だったのだろうか。この問いを先に進める前に、

図2 1926–1999年の期間に、日本とその周辺の海域に発生した $M6.0$ 以上、深さ60 km以浅の地震の震央分布と数の積算。地震数が増加しているところを矢印で示す。気象庁地震カタログ（気象庁, 2001）に基づく。以下、図3–4も同様。

Fig. 2 Epicentral distribution and cumulative number of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M6.0$ or larger that occurred in and around the Japanese islands during the period from 1926 through 1999. Arrows in the bottom map indicate places where the number of earthquakes increased. This figure and Figs. 3–4 are based on the JMA catalogue (JMA, 2001).

目を日本周辺から南方の東南アジアに向けてみよう。

III. 1990年代における東南アジアでの地震活動の活発化

図5は最近20年間に日本からフィリピンにかけての西太平洋域に発生した大地震の震央分布と、その南北方向の時空間分布をハーバード・カタロ

図 3 1932 年 1 月-1933 年 12 月の期間に、日本とその周辺の海域に発生した $M6.0$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布と時空間分布。

Fig. 3 Epicentral distribution and space-time distribution of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M6.0$ or larger that occurred in and around the Japanese islands during the period from Jan. 1932 through Dec. 1933.

図 4 1938 年 1 月-1939 年 12 月の期間に、日本とその周辺の海域に発生した $M6.0$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布と時空間分布。

Fig. 4 Epicentral distribution and space-time distribution of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M6.0$ or larger that occurred in and around the Japanese islands during the period from Jan. 1938 through Dec. 1939.

図 5 1980-1999 年の 20 年間に日本からフィリピンにかけての太平洋西縁域で発生した $M_w 7.2$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布と、それを南北方向に見た時空間分布。

Fig. 5 Epicentral distribution and space-time distribution of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes with $M_w 7.2$ or larger that occurred in the western peripheral region of the Pacific Ocean from the Japanese islands to the Philippine islands during the 20 years from 1980.

グで見たものである。時空間分布図で注目されるのは、日本周辺での地震活動の活発化に先行して、1990 年代初めにフィリピン付近で大地震が頻発していたことで、このことは米国地質調査所 (USGS) や国際地震センター (ISC) の地震カタログで見て同様に認められる。なお、フィリピンのルソン島内では 1990 年に長さ 100 km 以上に及ぶ大断層を出現させたフィリピン地震 ($M_{USGS} 7.8$, 米国地質調査所 (USGS) の地震データに基づく) が発生しており、また、その翌年にはピナツボ火山が大噴火を起こしている。図 6 はフィリピン諸島付近で 1980 年以降に発生した $M_w 7$ 以上の地震の数及びエネルギー解放量の積算を示したもので、この地域の地震活動が 1990 年代に入って活発化したことがこれから明瞭に見てとれよう (地震のエネルギーは $\log E_s = 1.5M_w + 4.8$ の式を用いて計算した。なお、地震モーメント M_o は M_w と $M_o = 1.5M_w + 9.1$ の関係があるので、数値的に E_s を $10^{4.3}$ 倍すれば地震モーメントに換算される)。更に南のカリマンタンからスラウェシ・ニューギニア西部・ジャワ・ティモール島周辺に発生した地震の数及びエネルギー解放量の積

算図 (図 7) からは、同域でも 1990 年代になって大きな地震が続発したことがわかる。この中で最大の地震は 1996 年 2 月に西ニューギニアで発生したイリアンジャヤの地震 ($M_w 8.2$) である。また、図 6 と図 7 を比べると、スラウェシ・西ニューギニア域の地震活動の活発化はフィリピン付近での活発化より時期が少し遅れていた様子も見られる。これに対して、ここには図を示さないが、図 7 の矩形領域の更に東側、ニューギニア東部からビスマルク諸島、ソロモン諸島にかけての地域では、1990 年代に入ってから特に地震活動が活発化したという明瞭な特徴は認められない。

それでは、以上示した 1990 年代における日本周辺から東南アジアにかけての地震活動の活発化は、全世界的に見た時にも異常といえるほど規模の大きなものだったのだろうか。図 8 は 1980 年以降に全世界で発生した $M_w 7.0$ 以上の地震数とエネルギー解放量の積算を示したものである。これを見ると、数、エネルギー解放量のいずれをとっても、1995 年から 1996 年にかけて顕著に増加していることがわかる。この異常な増加に関して 1990 年代における太平洋西縁域の地震活動の活

図 6 フィリピン付近に発生した $M_w 7$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布 (左) と、数の積算 (右上) 及びエネルギー解放量の積算 (右下)。

Fig. 6 Epicentral distribution (left), cumulative number (right: top), and sum of seismic energy (right: bottom) for shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M_w 7.0$ or larger that occurred around the Philippine islands.

図 7 カリマンタンからスラウェシ、ジャワ、ニューギニア西部域に発生した $M_w 7$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布 (左) と、数の積算 (右上) 及びエネルギー解放量の積算 (右下)。

Fig. 7 Epicentral distribution (left), cumulative number (right: top), and sum of seismic energy (right: bottom) for shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M_w 7.0$ or larger that occurred around Kalimantan, Sulawesi, Java, and western New Guinea islands.

図 8 1980 年以降に全世界で発生した $M_w 7$ 以上、深さ 60 km 以浅の地震の震央分布 (左) と、数の積算 (右上) 及びエネルギー解放量の積算 (右下)。

Fig. 8 Epicentral distribution (left), cumulative number (right: top), and sum of seismic energy (right: bottom) for shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M_w 7.0$ or larger that occurred throughout the world from 1980.

活発化がどの程度寄与したかを見積もるために、同域と、それを除く世界の他の地域に分けて地震数及びエネルギー解放量の積算をとったものを図 9, 10 にそれぞれ示す。図 10 から、太平洋西縁域を除いた他地域においても、1995 年にこれらの積算、特にエネルギー解放量が増加している様子が見えるが、それは南米のチリと中米のメキシコで、それぞれ $M_w 8.0$ の巨大地震が発生したことによってある。ただしこの 1995 年の活発化は、その前に数年間続いた低下傾向を回復する活動であったようにも見え、直前が相対的に静かだったためにより目立って見えているという面もある。それに対して太平洋西縁域における 1990 年代に入ってから活発化は極めて明瞭で、それは 1990 年代前半の他地域での不活発さを十分補っているだけでなく、全世界的に見た時の 1995–1996 年の地震エネルギー解放量の増大に大きく寄与したといえることができる。

IV. 議 論

1990 年代半ばに日本周辺で地震活動が異常に活発化したという事実から話を始めて、その活発化に少し先行するように南方のフィリピン付近で大地震が多発していたこと、また、その南のカリマンタンからスラウエシ・ニューギニア西部・ジャワ・ティモール島周辺でも、フィリピン付近の活動にやや遅れて巨大地震が続発したことを示し、この太平洋西縁域の地震活動の活発化は世界的に見ても異常であったことを指摘した。太平洋西縁域における 1990 年代の地震活動の活発化が最も早く見られたのはフィリピン付近の活動であるが、例えば 1990 年のフィリピン地震や 1991 年のピナツボ火山の大噴火が、1990 年代半ばの日本周辺における地震活動の活発化の直接の引き金になったと考えるのは難しいように思われる。たとえ、それらの地学的事象が最大級のものであったとしても、それによって直接もたらされる応力変化は、日本周辺においてはまったく無視できる

図 9 $M_w 7$ 以上の地震の震央分布 (左) と、太平洋西縁域 (台形領域) に発生した地震の数の積算 (右上) 及びエネルギー解放量の積算 (右下)。

Fig. 9 Epicentral distribution of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M_w 7.0$ or larger (left), and cumulative number (right: top) and sum of seismic energy (right: bottom) for earthquakes that occurred in the western Pacific region (within the trapezoid).

図 10 $M_w 7$ 以上の地震の震央分布 (左) と、太平洋西縁域を除いた世界の他の全地域に発生した地震の数の積算 (右上) 及びエネルギー解放量の積算 (右下)。

Fig. 10 Epicentral distribution of shallow (depth ≤ 60 km) earthquakes of $M_w 7.0$ or larger (left), and cumulative number (right: top) and sum of seismic energy (right: bottom) for earthquakes that occurred throughout the world except the western Pacific region.

くらい小さいからである。図1に見るように、日本周辺について見れば、活動の活発化はフィリピンに近い南側でなく、むしろ北側の方で先行していることにも注意したい。

著者は、1990年代における日本周辺とフィリピン近海から西ニューギニアにかけての地震活動の活発化は、個々の地震発生に伴う応力の変化が次々に大地震を誘発していったというような現象ではなく、もっと大きなスケールで、例えば太平洋西縁の全域でテクトニックな応力がほぼ同時に増加するような何らかのプロセスが進行したことによるものではなかったかと考えている。Mogi (1974) は、プレート境界に沿う長大な領域で地震活動が10-20年という比較的短期間に活発化した例をいくつか紹介している。また、全世界における地震エネルギー解放量が1950-1960年代に際立って大きかったことがKanamori (1977) によって示され、Mogi (1979) はその時期の活動が高緯度地方において顕著であったことを指摘している。こうした広域地震活動の活発化の原因としては、例えばプレート運動の加速や、プレート境界に沿って超巨大なサイレント地震が発生したことなどが考えられる。今のところ、そのような現象の存在を支持する地震活動以外からの地学的データは知られていないが、現在、様々な手段によって全地球的な規模での地殻活動が捉えられるようになって来ていることから、近い将来、そうした大スケールの地学現象に関する実態の解明も一段と進むものと期待される。

V. ま と め

1990年代半ば、日本周辺の北から南まで全域にわたって大地震の発生が相次いだ。この地震活動の活発化は、実は日本付近だけに限られた現象

ではなく、フィリピンからスラウェシ、ジャワ、ニューギニア西部という南西太平洋の各地域に及んでいた。それは全世界の地震活動を合わせて見た場合にも、その活動に伴うエネルギー解放量の増大が有意に認められるくらい顕著なものであった。太平洋西縁域における地震活動の活発化で最も先行したと見られるフィリピン付近では、1990年にフィリピン地震が発生し、翌1991年にピナツボ火山が大噴火を起こしている。しかし、フィリピンにおけるこの大地震発生、火山の大噴火が、太平洋西縁の広い地域に及んだ1990年代の地震活動の活発化の直接の引き金となったと考えるのは適当でないように思われる。著者はこの広域にわたる地震活動の活発化の原因として、例えば太平洋西縁の全域でテクトニックな応力がほぼ同時に増大するようなプロセスが進行したのではないかと考えている。そうした推測を支持する地震活動以外からの地学的データは現在知られていないが、近い将来、GPS観測等によって数年から10年という長周期で変動する、波長数1000 kmに及ぶ大スケールの地学現象の存在もやがて明らかになってくるのではないかと期待している。

文 献

- Dziewonski, A.M., Ekstrom, G., and Maternovakaya, N.N. (2000): Centroid-moment tensor solutions for October-December, 1999. *Phys. Earth Plan. Int.*, **121**, 205-221.
- Kanamori, H. (1977): The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.*, **82**, 2981-2987.
- 気象庁 (2001): 気象庁地震・火山月報 (カタログ編), 平成13年1月. 134p.
- Mogi, K. (1974): Active periods in the world's chief seismic belts. *Tectonophysics*, **22**, 265-282.
- Mogi, K. (1979): Global variation of seismic activity. *Tectonophysics*, **57**, T43-T50.

(2001年11月6日受付, 2002年1月21日受理)