

# 内陸地震活動の統計的性質

活動期と静穏期及び大地震の続発性

青木 元\* 吉田 明夫\*

## Statistical Characteristics of Inland Seismicity in Japan: Alternation of Active and Quiet Periods and Successiveness of Large Earthquakes

Gen AOKI \* and Akio YOSHIDA \*

### Abstract

We investigated statistical characteristics in a space-time distribution of large shallow inland earthquakes in Japan during the period from 1600 through 2000 using data from the following three catalogues: Chronological Scientific Tables (National Astronomical Observatory, 2001) for 1600-1884, Utsu (1979, 1982, 1985) for 1885-1925 and the catalogue of the Japan Meteorological Agency for 1926-2000. It is shown that an alternation of active and quiet periods is commonly observed for each district: inland seismicity tends to be active in the periods before and after great interplate earthquakes. Further, we show that another large earthquake is likely to occur after one during the period of 10-20 years within a distance of several tens of kilometers. We think this feature of the successiveness of large earthquakes is significant and we can utilize it for assessing seismic hazards.

**Key words** : inland large earthquake , active and quiet periods , successiveness

**キーワード** : 内陸大地震 , 活動期と静穏期 , 続発性

### I. はじめに

災害は忘れた頃にやってくると言われる。大地震についても、ある日突然襲ってくるという印象を、例えば、1995年兵庫県南部地震や2000年鳥取県西部地震の発生などから受ける。しかし、一方で、実は近畿・中国地方は活動期に入っているであり、これらの地震の発生は予測されたものであるということも聞く。この場合に予測されたというのは、神戸や鳥取のその場所でその日時に地震が発生すると予測されていたのではなく、その地方のどこかで地震が発生する確率が長期間の

平均的な発生率より高くなっていると指摘されていたことを表している。時間・空間的に狭く絞り込んだ予測ではない。しかし、そのような幅を持った確率的な予測であっても、防災上の意義はあると考えられる。これを時間・空間的に更に狭めていくことは可能だろうか？

1940～1990年のデータに基づいて、日本の内陸に発生したM6.5以上の地震の後、ほとんどすべての場合に10年以内、震央距離100km以内にM6以上の地震が発生していることが指摘されている(吉田・伊藤, 1995)。また、M6.5以上の地震の前後の期間にその周辺に発生したM6以上の

\* 気象研究所地震火山研究部

\* Seismology and Volcanology Research Department Meteorological Research Institute

地震について調べた吉田・高山（1993）は、地震発生域の拡散傾向が見られることを指摘している。特定の地震の発生時及び震央から、10年、100kmという条件のついた予測は、例えば近畿・中国地方で今後30年間にという予測と比べて、情報の価値は高いと言って良いだろう。ここではそうした観点から、日本の内陸の400年間にわたる地震記録を基に、大地震の続発性について統計的な検討を試みようと思う。

使用した地震資料は、1600～1884年は理科年表（国立天文台，2001），1885～1925年は宇津（1979，1982，1985）のうち深さVS（陸側プレート内の地震）とS（プレート境界面付近の地震で深さ0～100kmの範囲と見られるもの）の地震、1926～2000年は気象庁カタログの深さ40km以下の浅い地震で、直後の余震の影響を取り除くために、震央距離50km以内100日以内に発生したM5以上の地震群について最大地震を残すようにリンク法によりデクラスター処理を行った。実際に除かれた地震（余震）は、数例を除いて5日以内の直後に発生したものである。なお、北海道及び沖縄地方については、19世紀以前の震源データがほとんどないために本論文では扱わなかった。

まず、日本全体の400年間にわたる活動の変遷と、カタログの特徴を見るために、図1に1600年以降に本州、四国、九州の内陸部及び日本海沿岸で発生したM6以上、M6.5以上、M7以上の地震の数の積算を示す。どの積算図でも、1891年濃尾地震の前の静穏化とその直後の活発化が顕著であるが、静穏化が始まる直前にも数が増えている様子が見られる。この他に共通して認められる変化は18世紀半ばの活動の低下である。20世紀に入ってから増加は、検知力が上がったことを示していると考えて良いだろう。ただし、M7程度以上の地震については、18世紀半ば以降はほぼ検知されていると推定される。

以上の長期間における内陸部の地震活動の変化、あるいはカタログの特徴は日本全域をまとめて見た場合のもので、地域毎には、またそれぞれ特徴が見られる。次章では、各地域毎に活動期、静穏期に注意しながら活動の変遷について概観し、そ

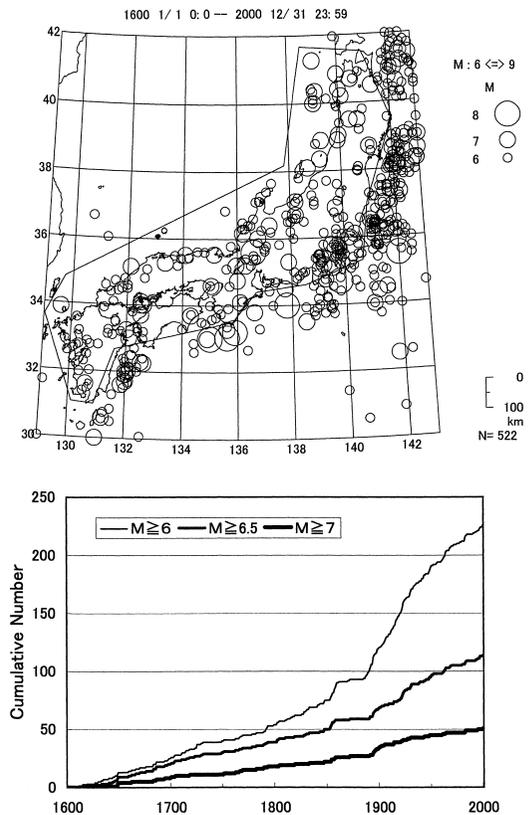


図1 日本付近で1600～2000年に発生したM6以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域（枠内）に発生した地震回数の積算。使用した震源データの詳細については本文参照。地震回数の積算は、M6以上（細線）、M6.5以上（中太線）、M7以上（太線）の地震について示した。図2～図7も同様。

Fig. 1 Epicentral distribution of shallow earthquakes with M6 or larger that occurred in Japan during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map). See the text about the Earthquake Catalogue. The thin, medium and thick lines indicate the cumulative curve of earthquakes with M6, M6.5 and M7 or larger, respectively.

の後で個々の地震間の時空間的な発生分布の統計的性質について検討を行う。

## II. 各地域毎に見た活動の変遷 活動期と静穏期

### 1) 東北地方

図2は、1600年以降に発生した $M6$ 以上の地震の震央分布と、日本海東縁部を含む東北地方内陸部（小枠内）の地震活動の時間変化（ $M \geq 6, 6.5, 7$ の地震回数積算）を示したものである。積算図で最も注目されるのは、19世紀後半の静穏化とその直後の活発化である。 $M6.5$ 以上の地震について見ると、これだけ長い期間静穏だったのは1600年以降ではこの時期だけであり、 $M6$ 以上の地震も約30年間発生していない。この静穏期間の直後は、1894年庄内地震（ $M7.0$ ）、1896年陸羽地震（ $M7.2$ ）、1897年秋田沖の地震（ $M7.5$ ）、1900年宮城県北部地震（ $M7.0$ ）など、 $M7$ 以上の地震が続発し、1600年以降では最も活動的であった。東北地方の内陸の地震活動は、三陸沖のプレート間巨大地震の前後で活発になる傾向が見られることが指摘されており（Shimazaki, 1978; Seno, 1979a; 中禮, 2002）、そうした視点からは上述の地震群と1896年三陸津波地震（ $M8.5$ ）との関連が注目される。しかし、これらの地震群が発生する前の19世紀後半の静穏化は歴史地震の記録漏れにも注意しなければならないが、後述するように、実は東北地方のみでなく中部・近畿・中国地方の広域にわたって生じていた。この広域静穏化及び1890年代の東北地方の地震活動の活発化については、著者らは1891年濃尾地震（ $M8.0$ ）の発生と関係があったのではないかと考えている（吉田・青木, 2002）。

この他には、1960年代に $M6$ 以上の地震が活発であったことが目立つ。特に1964年には、日本海東縁部で6月に新潟地震（ $M7.5$ ）、5月と12月に男鹿半島沖で、それぞれ $M6.9$ と $M6.3$ の地震が発生している。

これら以外の期間については、18世紀半ばがやや低調であったものの、 $M6.5$ 以上の地震はほぼ一定の割合（約15年に1回）で発生していることが見てとれる。

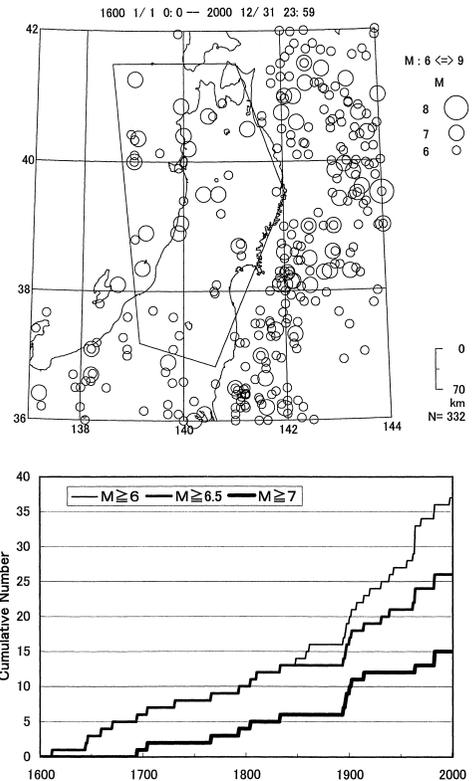


図2 東北地方で1600～2000年に発生した $M6$ 以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域（枠内）に発生した地震回数の積算。

Fig. 2 Epicentral distribution of shallow earthquakes with  $M6$  or larger that occurred in Tohoku during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map).

### 2) 関東地方

関東地方の下では、それぞれ、日本海溝と相模トラフから沈み込む太平洋スラブとフィリピン海スラブが接触・衝突しており、それに伴って内陸のやや深いところ（40～100 km）で地震活動が活発である。また、このうち相模トラフは陸域に近く、プレート間地震の震源域が内陸にも及ぶことから、特に昔の地震については、陸側プレート内で発生する地殻内地震とプレート間地震あるいはスラブ内地震との分離が容易ではない。したがって、図3の積算図には、プレート間やスラブ

内の地震が含まれている可能性が高いことを考慮する必要がある。

図3の積算図で最も注目されるのは、1923年関東地震前後の活発化である。図3には1923年関東地震とその余震と思われる地震も3～4個含まれているが、関東地震の震源域周辺では1922年浦賀水道の地震( $M6.8$ )が発生し、茨城県南西部でも1921年龍ヶ崎付近の地震( $M7.0$ )をはじめとした $M6\sim7$ の地震が4回発生している。これらの地震は、宇津(1979, 1982, 1985)ではSに分類されており、近年の精度のよい震源分布から見ても、やや深い地震であったと考えられる。なお、1930年北伊豆地震( $M7.3$ )、1931年西埼玉地震( $M6.9$ )が発生した後は、関東地方の地震活動はそれまでと比べて相対的に静穏に経過したように見える。1926年以降の震源データとして40 km以浅を用いているためにやや深い地震は図示されていないことを考慮する必要があるが、その期間の深さ100 kmまでの震源データで見ても、 $M6.5$ 以上の地震は1931年西埼玉地震以降、1987年千葉県東方沖地震( $M6.7$ , 深さ58 km)しか発生していないので、1930年代以降は実際に地震活動が関東地震前後と比べて低くなっていると考えられる。また、 $M5$ クラス以上の地震活動で見ると、1950年代半ば以降の南関東での活動低下が著しい(吉田, 2001)。

この他、18世紀はやや低活動であったこと、19世紀の中頃と末にやや活発化したことなどが見てとれる。19世紀半ばには1855年安政江戸地震( $M6.9$ )、また19世紀末には1894年明治東京地震( $M7.0$ )などが発生している。安政江戸地震は地殻内地震ではなくフィリピン海スラブ上面の地震という見方もあり、また、明治東京地震は太平洋スラブ内の地震と考えられている(いずれも、総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会, 1999)。

このように、19世紀以降の活動期に発生した地震は、関東地方の下に沈み込むスラブに関係したやや深い地震が多い。これらの地震の発生は、関東地震に先行して当該地域の応力が高まっていたことを反映していたと考えると理解しやすい。

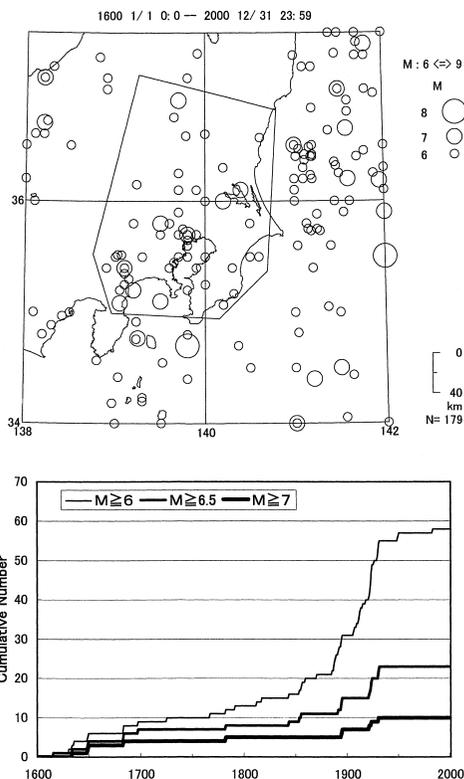


図3 関東地方で1600～2000年に発生した $M6$ 以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域(枠内)に発生した地震回数の積算。

Fig. 3 Epicentral distribution of shallow earthquakes with  $M6$  or larger that occurred in Kanto during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map).

### 3) 中部地方

図4の積算図で最も注目されるのは、特に $M6$ 以上の地震について見られる19世紀後半の静穏化とその直後の活発化である。静穏期は1858年飛越地震( $M7.0$ )以降約30年間続き、 $M6$ 以上の地震はこの間発生していない。それに対して1891年濃尾地震( $M8.0$ )の前年の1890年からの約10年間には $M6$ 以上の地震が6回起きている。著者らは、濃尾地震の前の静穏化は濃尾地震の準備過程と関係があったのではないかと推測している(吉田・青木, 2002)。その後の活発化につい

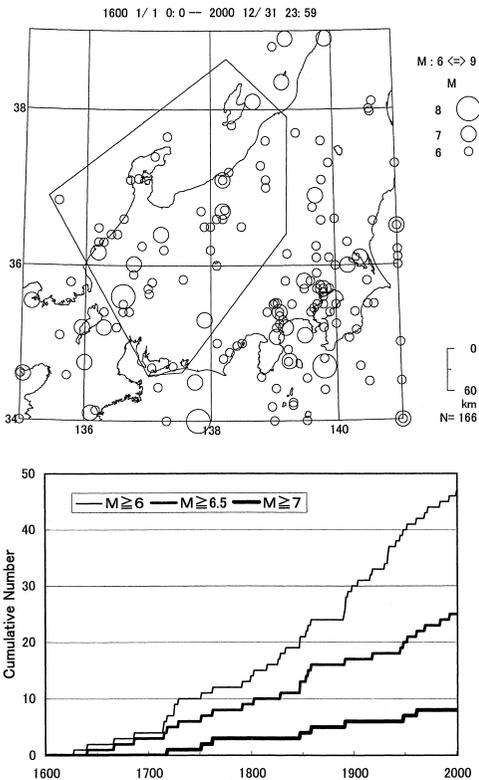


図 4 中部地方で 1600 ~ 2000 年に発生した  $M6$  以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域( 枠内 ) に発生した地震回数の積算。

Fig. 4 Epicentral distribution of shallow earthquakes with  $M6$  or larger that occurred in Chubu during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map).

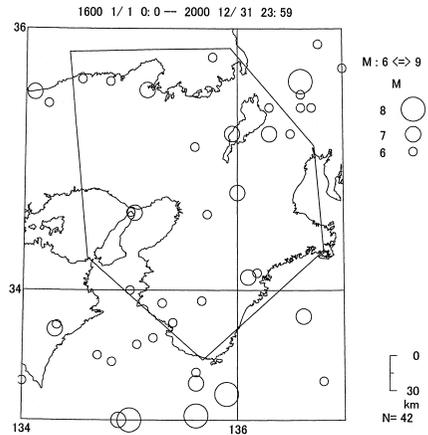


図 5 近畿地方で 1600 ~ 2000 年に発生した  $M6$  以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域( 枠内 ) に発生した地震回数の積算。

Fig. 5 Epicentral distribution of shallow earthquakes with  $M6$  or larger that occurred in Kinki during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map).

ては濃尾地震の発生に伴う CFF の増加も一因と見られるが (Pollitz and Sacks, 1995; 安藤ほか, 1999), 前述したように東北地方でも活発化しており, ブロック境界に沿う応力の拡散・伝播を考慮する必要もあると考えられる。

なお, 西南日本 (糸魚川 静岡構造線以西) では, 南海トラフ沿いで発生する巨大地震の前後に内陸の地震活動が活発化する傾向があることが示されている (Shimazaki, 1976; Seno, 1979b; Hori and Oike, 1996)。実際, 図 4 の積算図からも, 1707 年宝永地震, 1854 年安政南海地震, 1944 年

東南海地震の前後で地震活動が活発になっている様子が見てとれる。

#### 4) 近畿地方

図 5 で 17 ~ 18 世紀にカウントされているのは 1662 年寛文の地震 ( $M7.4$ ) だけである。しかし, 京都周辺ではそれ以前から地震の発生が多数記録されており (例えば, 戦乱期を含む 15 ~ 16 世紀でも 1596 年慶長伏見地震 ( $M7.5$ ) をはじめ  $M6$  クラスの地震を含めて 6 回記録されている), 社会の落ち着いた 17 ~ 18 世紀に, それ以前と比べて見落とされた地震が多いとは考えにくいので, こ

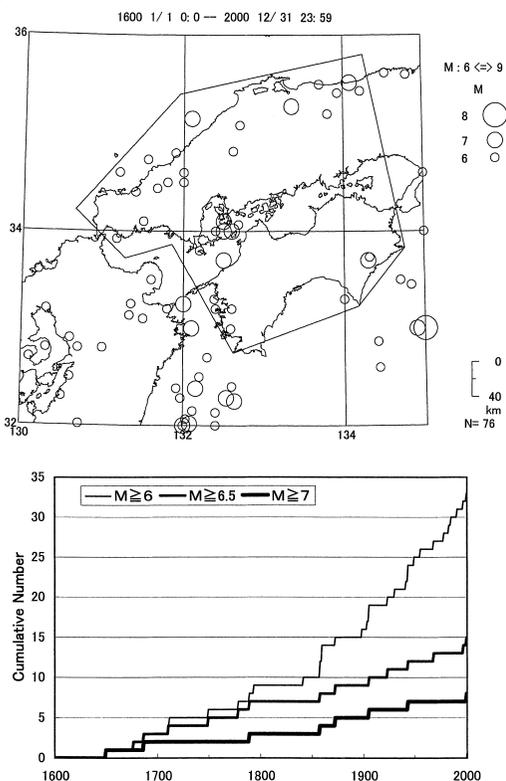


図 6 中国・四国地方で 1600 ~ 2000 年に発生した  $M6$  以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域（枠内）に発生した地震回数の積算。

Fig. 6 Epicentral distribution of shallow earthquakes with  $M6$  or larger that occurred in Chugoku and Shikoku during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map).

の間、近畿地方での地震活動は実際に低調であったと推定される。これに対して、京都周辺以外の地域では 18 世紀以前の地震は数えるほどしか記録されていない。19 世紀における地震回数の微増、20 世紀における  $M6$  以上の地震の急増は、京都周辺以外の地域で検知力が上がったためと見られるが、次に述べるようにプレート間巨大地震の影響も考えられる。

Hori and Oike (1996) は、南海トラフ沿いで発生するプレート間巨大地震の前後に内陸地震の活動期があり、近畿北部ではプレート間地震の発

生より前にその活動のピークが来ると指摘している。図 5 の積算図には近畿南部の地震データも含まれているが、1854 年及び 1944・1946 年のプレート間巨大地震の前後で Hori and Oike (1996) の指摘と調和的な地震活動の変化が見てとれる。また、プレート間地震発生後に内陸地震活動が低下してからは、しばらく（安政と昭和の例では 30 年以上）静穏な期間が続いたこともわかる。最近では、1995 年に兵庫県南部地震 ( $M7.3$ ) が発生しており、中国地方における 2000 年鳥取県西部地震 ( $M7.3$ ) と合わせて、次のプレート間地震の発生に向けて西南日本の内陸地震活動は活動期に入ったと推定される（例えば、茂木、1995；Hori and Oike, 1996）。

### 5) 中国・四国地方

図 6 の震央分布で特徴的なことは、内陸浅発地震のほとんどが山陰地方に分布していることである。1905 年芸予地震 ( $M7.2$ ) など、安芸灘付近にプロットされている地震は、フィリピン海スラブ内のやや深い地震を表している。

積算図からは、19 世紀前半が静穏であったことと、その直後に  $M6$  以上の地震数が増えていることが見てとれる。1940 年代にも 1943 年鳥取地震 ( $M7.2$ ) を含んで活発化した様子が見られるが、この活発化は Hori and Oike (1996) などによって指摘されているように、1946 年南海地震の発生と関連していたと考えられる。なお、20 世紀初頭に見られる地震回数の増加は、1905 年芸予地震の後に安芸灘付近で発生した地震によるものである。

### 6) 九州地方

図 7 の積算図では、1700 年前後と 1900 年前後の二つの活動期が見てとれる。特に、1900 年前後の著しい活発化が目目される。震央分布を見ると、別府 島原地溝帯に沿って  $M6$  クラスの地震が多く分布していることがわかる。例えば 1700 年前後の活動期には、1700 年に壱岐地方で  $M7.0$  の地震が起きたほか、1698 年と 1703 年に大分地方でそれぞれ  $M6.0$  と  $M6.5$  の地震が、また 1723 年には熊本地方で  $M6.5$  の地震が発生している。1900 年前後の活動期にも、1914 年桜島地震 ( $M7.1$ ) などはあるが、大部分の地震は別府 島原地溝帯の

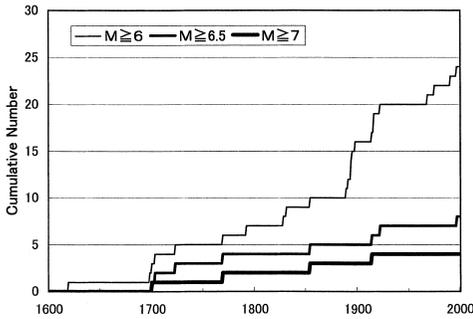
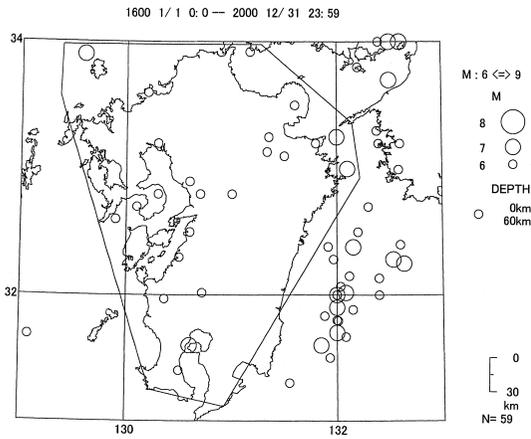


図 7 九州地方で 1600 ~ 2000 年に発生した  $M6$  以上の浅い地震の震央分布と、内陸地域(枠内)に発生した地震回数の積算。

Fig. 7 Epicentral distribution of shallow earthquakes with  $M6$  or larger that occurred in Kyushu during the period from 1600 through 2000, and cumulative number of inland earthquakes (within the polygon in the top map).

中で起きている。

### III. 続 発 性

前章で見たように、各地域の内陸地震活動にはそれぞれ活動期と静穏期が見られる。その一つの要因としては、プレート間カップリングによるテクトニックな応力の蓄積と解放が考えられるが、その他に、日本海東縁部などのテクトニックなブロック境界に沿って広域で応力が高まるような事象が生じたと思われる場合もある(例えば、1891

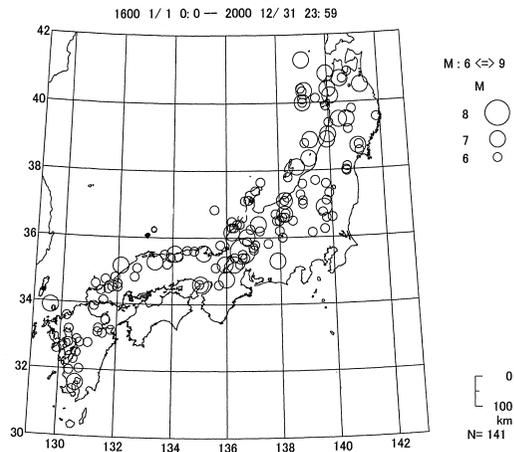


図 8 日本の内陸で 1600 ~ 2000 年に発生した  $M6$  以上の浅い地震の震央分布。

Fig. 8 Epicentral distribution of inland earthquakes with  $M6$  or larger that occurred during the period from 1600 through 2000.

年濃尾地震の後の日本海沿岸での地震活動の活性化)。このような活動期には、地震が近接して次々と続発したように見えることもある。

やや長期的に見たときの各地域における地震活動の上のような特徴から、地震発生の時間・空間的相関を単純な統計的処理によって評価するのは、まったく問題がないというわけではない。しかし、少なくともそれが地震活動についての一つの見方であることは間違いないので、本章では日本列島内陸の大きな地震の続発性について、どの程度の距離のところまで、どの程度の間隔で発生しているだろうかという視点で、テクトニックな地域区分に特にこだわらずに検討してみることにする。なお、本章では陸側プレート内部の地殻内で発生したいわゆる内陸地震を考察するという趣旨から、前章で用いた 1600 ~ 2000 年のデクラスター震源データからスラブ内地震あるいはプレート間地震が混ざっている可能性のある関東地方及び太平洋沿岸地域の地震を除いた震源データを用いた(図 8)。

図 9 は、この震源データを用いて、一つの大きな地震が発生した後に続発地震がどの程度の距離で発生したか、最初の地震の発生から 10 年毎の期

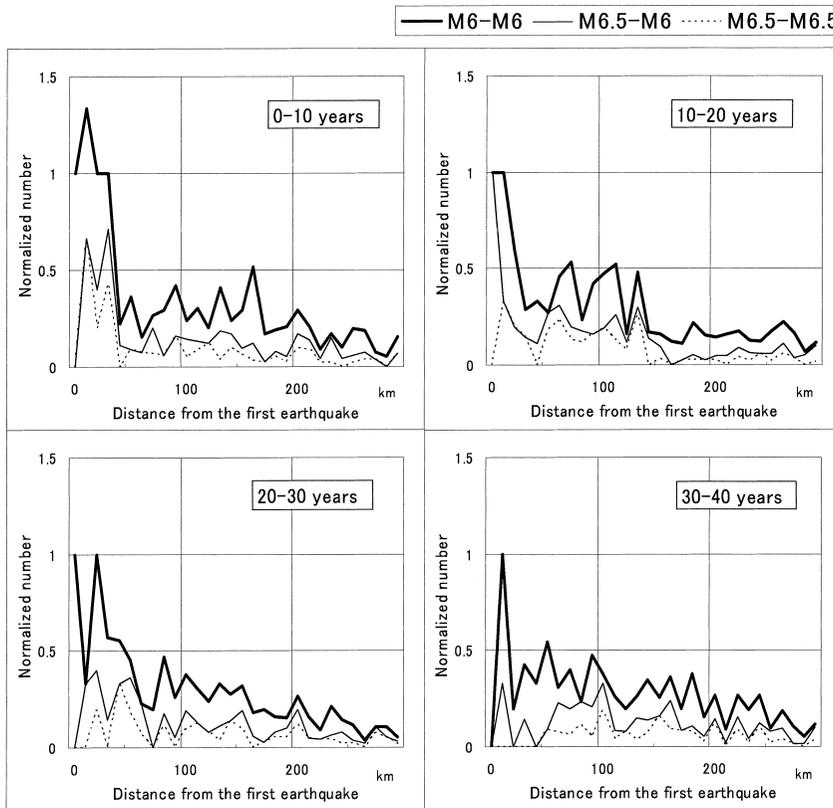


図 9 続発地震の距離依存性 .

最初の地震の発生から 10 年毎に分けて、最初の地震から 10 km 毎に離れた距離で発生した続発地震の発生数を単位面積（半径 10 km の円領域）で規格化して示した。最初の地震としては、1600 ~ 1960 年の地震を対象とした。太線、細線、破線は、それぞれ、 $M6$  以上の地震の後に  $M6$  以上の続発地震、 $M6.5$  以上の地震の後に  $M6$  以上の続発地震、 $M6.5$  以上の地震の後に  $M6.5$  以上の続発地震が発生した場合を示す。

Fig. 9 Distribution of distance between the first and the following earthquakes for every ten years from the occurrence of the first earthquake that occurred during the period from 1600 to 1960.

Number of successive earthquakes in doughnut areas divided by equi-central circles with every 10 km interval is shown. The number of earthquakes is normalized to be in a circle with a radius of 10 km. Thick, thin and dotted lines represent the number of successive earthquakes with  $M6$ ,  $M6$ ,  $M6.5$  or larger after the first earthquake with  $M6$ ,  $M6.5$ ,  $M6.5$  or larger, respectively.

間に分けて、その発生数の距離依存性（10 km 毎）を見たものである。図 9 では、最初の地震から 40 年間の続発地震の発生を見ているため、最初の地震としては 1600 ~ 1960 年の地震を対象とした。

図中の 3 本の折れ線は、太線が  $M6$  以上の地震が発生した後に  $M6$  以上の続発地震が発生した場合、細線が  $M6.5$  以上の地震の後に  $M6$  以上の続発地震、破線が  $M6.5$  以上の地震の後に  $M6.5$  以上の

続発地震が発生した場合を、それぞれ示す。また、図9の縦軸は地震発生数を示しているが、最初の地震を中心として半径10 km毎に区切ったドーナツ状の領域で発生した地震数を単位面積（半径10 kmの円領域）あたりで発生した地震数になるように規格化して示した。図9から、最初の地震から半径約50 km以内の領域では、続発地震の発生率が特に20年以内に高く、それ以降でもやや高いことが見てとれる。なお、半径200 km以遠に見える地震発生数の減少は、内陸地震のみを取り出した際の領域の形状の影響が出ているものと思われる。

次に、一つの大きな地震の後にどれくらい経ってから最初の続発地震が発生しているかを、半径200 km以内に発生した地震に着目して見てみる。図10は、半径200 km以内に最初に発生した続発地震について、半径100 km以内と100 ~ 200 km内の領域に分けて、その続発地震が最初の地震からどれくらい経ってから発生したかを年毎（折れ線グラフ）、5年毎（棒グラフ）にその数を示したものである。図10では最初の地震から30年間の続発地震の発生を見ているため、最初の地震としては1600 ~ 1970年の地震を対象とした。折れ線グラフ中の3本の折れ線は、図9と同様に、太線がM6以上の地震が発生した後にM6以上の続発地震が発生した場合、細線がM6.5以上の地震の後にM6以上の続発地震が発生した場合をそれぞれ示しており、棒グラフ中の黒地、斜線、白抜きは、それぞれに対応する。なお、100 ~ 200 km内の図の地震回数については、半径100 kmの領域面積で規格化して示した。図10から、続発地震の発生は最初の地震からの経過年数が短いほど多く、その後も100 km以内では20年くらいにわたって、また100 ~ 200 km内でも15年くらいは続発地震の発生率が高いことが見てとれる。また、単位面積あたりで比較すると、半径100 km以内の方が100 ~ 200 km内よりも続発地震が多いことがわかる。

参考に、続発地震を伴った地震は全体の地震数のどれくらいの割合であったかについて記してお

こう。デクラスター処理した1600 ~ 1970年のM6以上の地震は126回あり、そのうち半径100 km以内10年以内にM6以上の続発地震を伴った地震は41回(33%)であった。同様にM6.5以上の地震は67回で、そのうちM6以上、M6.5以上の続発地震を伴った地震はそれぞれ23回(34%)、13回(19%)であった。すなわち、大きな地震が発生した場合、3回に1回は100 km以内10年以内にM6以上の続発地震を伴うと予想される。

ここで、前述のデクラスター処理の後で、余震が残っているかどうかについて少し述べておく。デクラスターした地震ファイルについて、本震から5年以内に発生したM6以上の地震について余震と思われる地震を調べて見たところ、1891年濃尾地震の余震（M6.3、本震から2.2年後、震央距離24 km）、1964年新潟地震の余震（M6.1、本震と同日発生、震央距離52 km）の2例のみであった。このことから、図9及び図10を基にした上記の議論には余震の影響がほとんどないことがわかる。そして、震央距離50 km以内100日以内に発生したM5以上の地震群について最大地震を残すようにリンク法により行ったデクラスター処理は、直後の余震の影響を取り除くのに適切であったと考えられる。

さて、ここまで歴史地震（1884年以前）と器械観測によって観測された近代の地震（1885年以降）を同等に扱ってきたが、マグニチュードの決め方や検知力に違いがあることは事実なので、それらが統計的性質に影響を与えているかどうかについて、若干議論しておきたい。歴史地震のマグニチュードは主に推定された震度分布から求められているのに対し、近代の地震は地震計に記録された地震動の大きさ・周期などから計算されている。しかし、両者ともに地面の揺れの大きさを基に求められているということには違いはないので、地震の規模の定量的評価という面で付与されているMの数値に若干の差異は生じているかもしれないが、Mのスケーリングという意味では同等に扱って良いと考えられる。両方で統計的性質が同じかどうかを見るために、図11に図10の棒グラフと同様の図を、半径100 km以内の領域につい

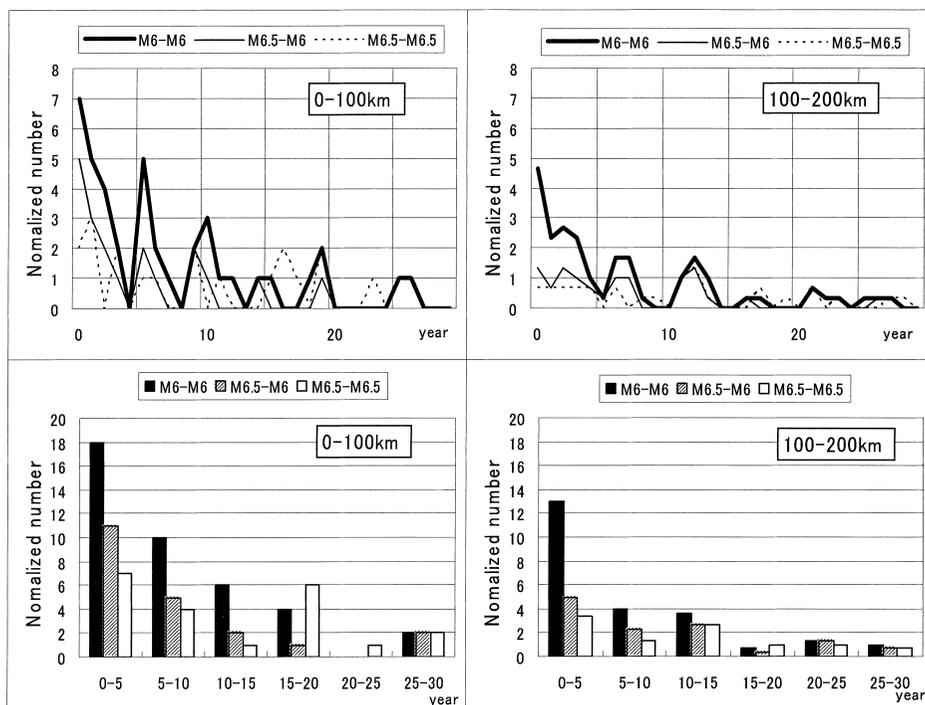


図 10 半径 200 km 以内に時間的に一番近接して発生した続発地震の時間依存性。半径 100 km 以内と 100 ~ 200 km 内の領域に分けて、年毎 (折れ線グラフ)、5 年毎 (棒グラフ) に続発地震の発生数を単位面積 (半径 100 km の円領域) で規格化して示した。最初の地震としては、1600 ~ 1970 年の地震を対象とした。折れ線グラフ中の太線、細線、破線、及び棒グラフ中の黒地、斜線、白抜きのは、それぞれ、M6 以上の地震の後に M6 以上の続発地震、M6.5 以上の地震の後に M6 以上の続発地震、M6.5 以上の地震の後に M6.5 以上の続発地震が発生した場合を示す。

Fig. 10 Distribution of time intervals between one earthquake and the immediately following earthquake within the circular area with a radius of 100 km and the doughnut area between 100 ~ 200 km from the first earthquake that occurred during the period from 1600 to 1970.

Number of successive earthquakes in every 1 and 5 year from the occurrence of the first earthquake is shown by line and bar graphs, respectively. The number of earthquakes is normalized to be in the circular area with a radius of 100 km. Thick, thin and dotted lines in line graphs, and solid, slanted and open bars in bar graphs represent number of successive earthquakes with M6, M6, M6.5 or larger after the first earthquake with M6, M6.5, M6.5 or larger, respectively.

て歴史地震と近代の地震とに分けて示す。図 11 では最初の地震から 30 年間の続発地震の発生を見ているため、歴史地震及び近代の地震について、それぞれ最初の地震として 1600 ~ 1854 年、1885 ~ 1970 年の地震を対象とした。図 11 から、歴史地震に比べて近代の地震が圧倒的に多いことが見

てとれる。このため、図 10 に見られる傾向は大部分は近代の地震の寄与によると考えられるが、歴史地震にも同様の傾向が認められることがわかる。

ところで、地震活動の時間・空間的相関については、これまでに Kagan and Knopoff (1976) や Kagan and Jackson (1991) などいくつか研

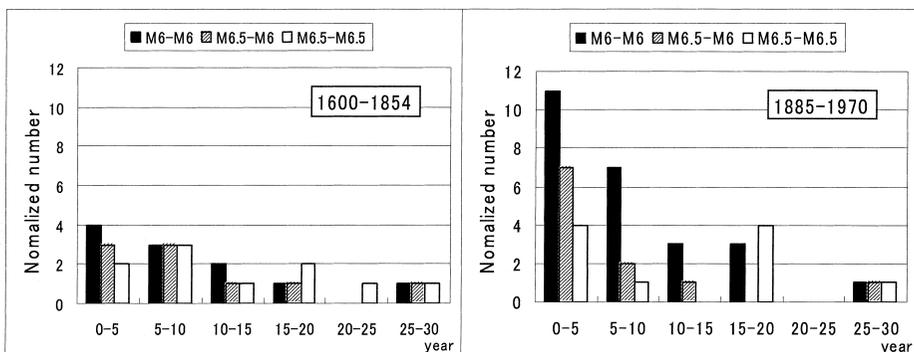


図 11 続発地震の時間依存性（図 10 の半径 100 km 以内）に関する歴史地震（1884 年以前）と器械観測によって観測された近代の地震（1885 年以降）との比較。最初の地震としては、歴史地震は 1600 ~ 1854 年の地震、近代の地震は 1885 ~ 1970 年の地震を対象とした。棒グラフの凡例は図 10 と同じ。

Fig. 11 Comparison between historical earthquakes before 1884 (left panel) and modern earthquakes observed by seismograph after 1885 (right panel) concerning distribution of time intervals for successive earthquakes that occurred within a distance of 100 km.

As the first earthquake, we take earthquakes during the periods of 1600-1854 and 1885-1970 for historical and modern earthquakes, respectively. Solid, slanted and open bars in bar graphs represent the same type of successive earthquakes as those in Fig. 10.

究結果が出されており、その中で地震活動の長期的クラスタリングや拡散的傾向の見られていることが指摘されている。著者らも、遠距離ほど活発化の時期が遅れてくる様子が見られることを見つけているが、これらの時空間パターンの特徴の定量的評価については別の論文で検討することとしたい（青木・吉田，2002）。

#### IV. まとめと議論

章では、日本列島の陸域に発生する地震活動について、活動期、静穏期という観点から各地域毎に 1600 年以降の地震活動の変遷を概観した。東北地方や西南日本では、すでに指摘されているようにプレート間巨大地震の発生前後で内陸地震活動が活発になる傾向が見られる（Shimazaki, 1976, 1978; Seno, 1979a, b; Horii and Oike, 1996）。同様に、関東地方では 1923 年関東地震前後の活発化が顕著であった。一方、九州地方では別府・島原地溝帯での 1900 年前後の活発化が目立つ。この他には、19 世紀後半に中部・近畿・中国

地方にかけての広い範囲で地震活動が低下したことが注目される。著者らは、この活動低下は濃尾地震の準備過程と関係があったのではないかと考えている（吉田・青木，2002）。

章では 1600 年以降の地震データを用い、日本列島内陸の大きな地震について、時間・空間的な地震発生の相関性を検討した。その結果、大きな地震が一つ発生すると、半径 50 km 以内 20 年以内に続いて地震が発生する確率が高いことがわかった。また、最初の続発地震がどの程度の経過年数で発生するか検討した結果、最初の地震からの経過年数が短いほど多いが、その後も 100 km 以内では 20 年くらいにわたって、また 100 ~ 200 km 内でも 15 年くらいは続発地震の発生率が高いこと、また単位面積あたりで比較すると、半径 100 km 以内の方が 100 ~ 200 km 内よりも続発地震が多いことがわかった。著者らは、こうした大地震の続発的性質を内陸地震の危険度評価に活用することができるのではないかと考えている。

ところで、地震の続発性は個々の地震の間の時

間・空間的な関連性を示しているのではなく、ある範囲の領域における応力場の全体的な状況を反映しているということも考えられる。しかし、地震間の純粋に統計的な相関処理によって得られた結果は、そうした点を考慮したとしても実用的な意味があると言って良いだろう。この結果の物理的・地学的背景についてはまた、あらためて別の論文で考察する予定である。

## 謝 辞

震源データのデクラスター処理は、気象研究所の高山博之主任研究官にお世話になりました。また、東京大学地震研究所の山科健一郎博士及び2名の査読者からいただいた御意見は原稿の改善に大いに役立ちました。ここに記して感謝いたします。

なお、震央分布図の作成にはSEIS-PC(石川・中村, 1997)を用いました。

## 文 献

- 青木 元・吉田明夫(2002) 内陸大地震の続発性と拡散性。地球惑星科学関連学会2002年合同大会予稿集, 投稿中。
- 安藤雅孝・中村 衛・平野憲雄(1999) 1948年福井地震(M7.1)および1891年濃尾地震(M8.0)の発生と周辺の地震の発生との関連について。地震2, **52**, 177-188。
- 中禮正明(2002) 東北日本における火山噴火及び内陸の大地震( $M=6.2$ )と三陸沖の巨大地震(M8クラス)との時間的関連性について。地学雑誌, **111**, 175-184。
- Hori, T. and Oike, K. (1996) A statistical model of temporal variation of seismicity on the inner zone of southwest Japan related to the great interplate earthquake along the Nankai Trough. *J. Phys. Earth*, **44**, 349-356。
- 石川有三・中村浩二(1997) SEIS-PC for Windows 95。地球惑星科学関連学会1999年合同大会予稿集, B22 P11, 78。
- Kagan, Y. and Jackson, D. D. (1991) Long-term earthquake clustering. *Geophys. J. Int.*, **104**, 117-133。
- Kagan, Y. and Knopoff, L. (1976) Statistical search for non-random features of the seismicity of strong earthquakes. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **12**, 291-318。
- 国立天文台編(2001) 理科年表平成13年版。丸善。
- 茂木清夫(1995) 1995年兵庫県南部地震前後の地震活動。地震予知連絡会会報, **54**, 557-567。
- Pollitz, F. F. and Sacks, I. S. (1995) Consequences of stress changes following the 1891 Nobi Earthquake, Japan. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **85**, 796-807。
- Seno, T. (1979a) Intraplate seismicity in Tohoku and Hokkaido and large interplate earthquakes: A possibility of a large interplate earthquake off the southern Sanriku coast, northern Japan. *J. Phys. Earth*, **27**, 21-51。
- Seno, T. (1979b) Pattern of intraplate seismicity in southwest Japan before and after great interplate earthquakes. *Tectonophysics*, **57**, 267-283。
- Shimazaki, K. (1976) Intra-plate seismicity and inter-plate earthquakes: Historical activity in southwest Japan. *Tectonophysics*, **33**, 33-42。
- Shimazaki, K. (1978) Correlation between intraplate seismicity and interplate earthquakes in Tohoku, Northeast Japan. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **68**, 181-192。
- 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編(1999) 日本の地震活動 被害地震から見た地域別の特徴 追補版。地震予知総合研究振興会地震調査研究センター。
- 宇津徳治(1979) 1885年~1925年の日本の地震活動 M6以上の地震および被害地震の再調査。東京大学地震研究所彙報, **54**, 253-308。
- 宇津徳治(1982) 1885年~1925年の日本の地震活動(訂正と補遺)。東京大学地震研究所彙報, **57**, 111-117。
- 宇津徳治(1985) 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表 1885年~1980年(訂正と追加)。東京大学地震研究所彙報, **60**, 639-642。
- 吉田明夫(2001) 南関東直下の地震活動特性。月刊地球, 号外, **34**, 25-37。
- 吉田明夫・青木 元(2002) 大地震の前に日本海沿岸の広域に現れた地震活動の静穏化。地学雑誌, **111**, 212-221。
- 吉田明夫・伊藤秀美(1995) 内陸大地震の先行的活動。地学雑誌, **104**, 544-550。
- 吉田明夫・高山博之(1993) 内陸大地震発生前後の震源域周辺の地震活動。地震2, **46**, 17-24。
- (2001年12月10日受付, 2002年2月25日受理)