

東北日本における火山噴火および内陸地震 ($M \geq 6.2$) 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

中 禮 正 明*

Relationships Between Eruptions of Volcanoes, Inland Earthquakes ($M \geq 6.2$) and Great Tectonic Earthquakes In and Around North-Eastern Japan Island Arc

Masaaki CHUREI *

Abstract

Great earthquakes, inland shallow earthquakes and volcanic eruptions occurred historically in and around the northern Honshu region, the northeastern part of the Japan island arc system. We studied statistically the time-space correlation among great offshore earthquakes with magnitudes (M) larger than 7.8 near the Japan trench, inland shallow earthquakes with $M \geq 6.2$ and the volcanic eruptions, for the period from 1851 to 1996. We focus on the northern Honshu region in this study. During the period, there were four offshore great earthquakes near the Japan trench. Their magnitudes are $M7.9$ (1856), $M8.2$ (1896), $M8.1$ (1933), and $M7.9$ (1968). To estimate the temporal correlation among these events, we applied a statistical analysis that is one of the currently used methods in earthquake prediction research works. Our analysis suggests that alarm-like information could be issued for the inland volcanoes and the large inland earthquakes in the northern Honshu, at the occurrence time of the four great earthquakes near the Japan trench. We then found some simultaneous occurrence pattern between the large inland earthquakes and the volcanic eruptions, just prior to the four great earthquakes or just afterwards. As a result, the temporal correlation among the volcanic eruptions, the large inland shallow earthquakes and the four great earthquakes is not statistically negligible. This result suggests that the space-time relationship among the volcanic eruptions, the large inland shallow earthquakes and the great earthquakes near the trench is not only useful for researches on long-term earthquake prediction and volcanic eruption, but also important for understanding seismotectonics in the northern Honshu region.

Key words : island arc, great earthquake, volcanic eruption, large inland earthquake, relationship

キーワード : 島弧, 巨大地震, 火山噴火, 内陸大地震, 関連性

* 気象庁

* Japan Meteorological Agency

I. はじめに

火山の噴火と大地震が時間的あるいは空間的に近接して起きた例は多数知られており、多くの研究者に議論されている。両者の物理的関係については、地震波動が臨界状態にあるマグマ溜まりを振動させ噴火を誘発した、大地震による永久歪みが大地震の発生とほとんど同時に臨界状態にある火山の活動を誘発する、などの考えがある(中村, 1971; 横山, 1971; Yamashina and Nakamura, 1978; Linde and Sacks, 1998 など)。

中村(1971)は、このような地震後の永久歪み、あるいは地震時の振動による噴火の誘発のほかに、“地震発生に先立って徐々に蓄積される地殻歪みが噴火を誘発し、地震発生によってその歪みが解消されるとかえって噴火は終息に向かうということも当然あってよいはずである”と考え、いわゆるマグマ絞り出しモデルを提案した(以後、中村モデルと呼ぶ)。中村モデルは、広域的・持続的の応力によって圧縮変形が進行しはじめると、マグマ溜まりからマグマが絞り出されて火孔底は上昇し、あるレベルに達すると噴火が起こりはじめる。変形がさらに進行して断層(地震)の発生にまで至ると、変形は逆に開放され火孔底は下降し、噴火は終息に向かう、というものである。

東北日本(東北地方)は典型的な島弧の一つであり、歴史的に多くの噴火や内陸の大地震あるいは日本海溝付近の巨大地震が起こっている。Shimazaki(1978)は、東北地方の内陸で発生する地震(深さ60 km以浅、 M (マグニチュード)5.8以上)の活動時期は、日本海溝付近で起こるプレート境界の巨大地震の発生と相互に関係している、このことは巨大地震発生前後に地殻応力が集中するためと述べている。Seno(1979)によれば、東北から北海道にかけての地殻内で発生する $M6.0$ 以上の地震は、日本海溝および千島海溝付近のプレート境界で発生する大地震の前50年から発生後10年までの間にそのほとんどが発生している。一方、江口(1979, 1980)は、東北日本周辺における浅発地震活動には、日本海溝での大地震発生に引き続いて内陸そして日本海沿岸へと地

震活動の高い地域が時間とともに移動しているように見える、また地震活動と火山活動の関係については、火山活動が高まった後地震活動が高まるあるいは地震活動と同時に火山活動が活発になるように見える、と述べている。これらの研究からもわかるように、東北地方では内陸の地震と日本海溝付近の地震とは相互に関連性をもって発生しており、また火山の噴火もこれら地震の発生と深い係わり合いをもっている可能性が高いと推察される。

東北地方の地震活動が活発な時期は地殻応力の高まった状態であり、中村モデルに従えば、火山はマグマが絞り出される、すなわち火山活動が活発化し噴火が起こる可能性が高くなることになる。例えば、1896年6月15日には三陸沖の日本海溝付近で $M8.2$ の巨大地震(明治三陸津波地震)が発生したが、この地震発生前には磐梯山、吾妻山、蔵王山など東北地方各地の火山で爆発や活発な噴火活動があった(震災予防調査会, 1918)。この事例は、前述の中村モデルの典型であるように思われる。

ここでは、1841年から1996年までの146年間を対象とし、日本海溝付近の地震活動、東北地方内陸部(図1の矩形で囲った地域)の地震活動および火山活動に着目して相互の時空間分布を調べ、統計的な評価を試みる。

II. 地震と火山噴火のデータ (1841年~1996年)

地震データは、気象庁地震月報(1926~1996: 気象庁, 1958, 1966, 1972, 1968 1996)、宇津カタログ(1885~1925)(宇津, 1982)および理科年表1989年版(1841~1884)(東京天文台, 1989)を使用した。理科年表(1841~1884)の地震については『新編日本被害地震総覧』(宇佐美, 1996)と照らし合せ、 M の異なる一部の地震については総覧(宇佐美, 1996)の M を採用した。火山噴火のデータは、スミソニアン博物館による世界の火山カタログ(*Volcanoes of the World: Simkin and Siebert*, 1994)を使用し、『日本噴火志』(震災予防調査会, 1918)、『日本活火山総

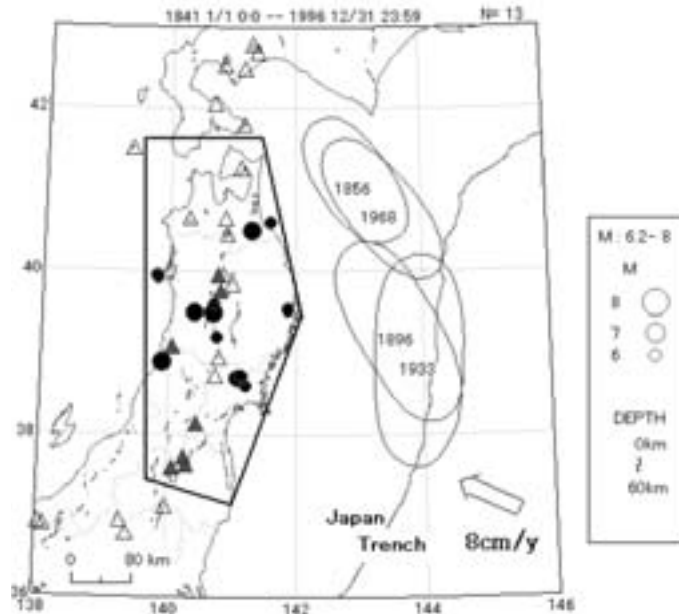


図 1 1841 年から 1996 年までの期間について、日本海溝付近で発生した巨大地震の津波の波源域（図中、楕円）、並びに東北地方内陸部で発生した比較的規模の大きい浅発地震（50 km 以浅、 $M6.2$ 以上；図中、黒丸）の震央分布および規模の大きな噴火のあった火山（図中、三角）の分布。

Fig. 1 Distribution of seismic and volcanic events that occurred in the northern Honshu region (enclosed by a thick closed line) for a period from 1841 to 1996. Four ellipses show the source region of tsunamis generated by great earthquakes near the Japan trench (see Table 1). Filled circles represent thirteen large inland shallow earthquakes (depth 50 km, $M 6.2$; see Table 2) and triangle symbols indicate location of volcanoes. Large eruptions occurred at seven volcanoes (shown as filled triangles; see Table 3).

覧』（気象庁，1996）を参照した。

1) 日本海溝付近の巨大地震

1841 年以降日本海溝付近で発生した $M8$ クラスの巨大地震は、1856 年 8 月の安政八戸地震 $M7.8$ ，1896 年 6 月の明治三陸津波地震 $M8.2$ ，1933 年 3 月の三陸津波地震 $M8.1$ ，1968 年 5 月の十勝沖地震 $M7.9$ ，があげられる（表 1）。1933 年の三陸津波地震を除く 3 つの地震はプレート境界型の巨大地震であり、一方、1933 年の三陸津波地震は太平洋プレートが割れた巨大地震であった

（Kanamori, 1971）。これらの地震は陸側プレートに広域的に大きな応力変化をもたらしており、例えば 1933 年 3 月の三陸津波地震の co-seismic な地殻変動を Okada (1992) により求めると、津軽海峡、秋田県西岸から吾妻山、安達太良山、磐梯山を含む領域が約 $0.1 \mu\text{strain}$ 以上の体積歪を受ける領域になる。ここではこれら 4 つの地震に焦点をあて、図 1 の矩形で囲った領域で発生した東北地方内陸部の地震、火山噴火との関係を調べることにする。図 1 中の楕円は、ターゲットとす

表 1 1841 年から 1996 年までに日本海溝付近で発生した巨大地震 ($M \geq 7.8$) のリスト。

Table 1 List of great tectonic earthquakes ($M \geq 7.8$) occurred near the northern Japan trench during the period from 1841 to 1996.

Date	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Name of Event
			km		
1856/08/23	N40.5	E143.5	1.0	7.8	Ansei Hachinohe-Oki
1896/06/15	N39.5	E144.0	50.0	8.2	Meiji Sanriku Earthquake Tsunami
1933/03/03	N39.2	E144.5	10.0	8.1	Sanriku Earthquake Tsunami
1968/05/16	N40.7	E143.6	0.0	7.9	1968 Tokachi-Oki Earthquake

表 2 1841 年から 1996 年までに東北地方内陸部 (図 1 の矩形で囲んだ範囲) で発生した大地震 ($M \geq 6.2$) のリスト。

Table 2 List of large inland shallow earthquakes ($M \geq 6.2$) occurred in the rectangular region surrounding northern Honshu, shown in Fig. 1, during the period of 1841-1996.

Date	Epicenter	Magnitude	Name of Event		
		km			
1854/08/28	N40.6	E141.6	0	6.5	
1861/10/21	N38.6	E141.2	0	6.4	
1894/10/22	N38.9	E139.9	10	7.0	Shonai Earthquake
1896/08/31	N39.6	E140.7	10	6.4	
1896/08/31	N39.5	140.7	10	7.2	Rikuu Earthquake
1900/05/12	N38.7	141.1	10	7.0	
1902/01/30	N40.5	141.3	50	7.0	
1914/03/15	N39.5	140.4	10	7.1	Akita Senboku Earthquake
1931/11/04	N39.5	141.9	0	6.5	
1939/05/01	N39.9	139.8	0	6.7	Oga Earthquake
1939/05/02	N39.9	139.8	0	6.6	
1962/04/30	N38.7	141.1	0	6.5	
1970/10/16	N39.2	140.8	0	6.2	Akita-ken Nantobu Earthquake

る 4 つの地震それぞれの津波波源域である。

2) 東北地方内陸部の地震

地震の時空間分布を統計的に評価するためには標本となる均質なデータが必要である。Shimazaki (1978) は、東北地方の過去 100 年間 (1876-1975) の地震活動を調べるにあたって、 $M5.8 \sim M6.2$ 以上の地震であれば地震の規模と発生頻度からみてデータの均質性を保てることを示した。1841 年から 1996 年までのデータについて Shimazaki (1978) と同様な検討を行い、ここでは図 1 中矩形で囲った領域の深さ 50 km 以浅に発

生した $M6.2$ 以上の地震 (以後、東北地方内陸部の大地震と呼ぶ) を調査の対象とする。当該期間に発生した $M6.2$ 以上の地震 13 個のリストを表 2 に、また、震央分布を図 1 に黒丸で示す。

3) 東北地方内陸部の火山噴火

スミソニアン博物館による世界の火山カタログによれば、1841 年から 1996 年までの 146 年間に東北地方では 10 の火山で噴火が記録されている。ここでは次の条件、すなわち 1) 内陸部の火山噴火の中で VEI (火山爆發指数: 火山噴火の規模を表す指標) (Simkin and Siebert, 1994) が 2 以

表 3 1841 年から 1996 年までに東北地方で発生した規模の大きな噴火（VEI が 2 以上の噴火あるいは VEI が 1 以下でもマグマの貫入があったとされる噴火）のリスト。

Table 3 List of volcanic eruptions with the VEI of 2 or greater in northern Honshu, Japan, during the period, 1841 1996.
This list also includes the case of volcanic eruptions with the VEI of 1 which accompanied magma intrusion.

Volcano Name	Duration	Eruption	VEI	Character of Eruption
Akita-Yake-Yama	1949/08/30	1949/09/01	2	Explosive and Phreatic eruption, Mud Flow
Akita-Komaga-Take	1890/12	1891/01	2	Explosive Eruption, Rumbling, Cinder
	1932/07/21	1932/07/30	2	Explosive Eruption, Fissure, Cinder Cone, Ash, Mud Flow
	1970/08	1971/01/26	2	Explosive Eruption (Strombolian Type), Central & Flank Vent, Lava Flow, Volume of Eruptive Product= $1.7 \times 10^6\text{m}^3$
Chokai-San	1974/03/01	1974/05/08	1	Explosive Eruption, Central, E Side of Shinzan, W of Kojinyama, Ash, Mud Flow, Volume of Eruptive Product= $1 \times 10^5\text{m}^3$
Zao-San	1894/07	1894/07	2	Explosive Eruption, Central, crater, Ash
	1895/02/15	1895/09/28	2	Explosive Eruption, Central, Crater (Crater Lake), Felt Earthquake, Ash, Mud Flow
Azuma-Yama	1893/09/19	1893/11/10	2	Explosive Eruption, Ash, Rumbling, Cinder, Volume of Eruptive Product= $5 \times 10^5\text{m}^3$
	1894/03/16	1894/04/12	2	Explosive Eruption, Ash, Rumbling
	1895/03/08	1895/09/13	2	Explosive Eruption, Ash, Rumbling
Adataru-Yama	1899/08/24	1899/11/12	2	Explosive Eruption, Central Crater, Ash, Flame
	1900/07/17	1900/07/17	2	Explosive Eruption, Central Crater, Ash, Rock, Volume of Eruptive Product= $1.1 \times 10^6\text{m}^3$
Bandai-San	1888/07/15	1888/07/15	4	Explosive Eruption, Strong Felt Earthquake, Ash, Debris Flow, Volume of Deposit= $1.5 \times 10^9\text{m}^3$

上の噴火、あるいは 2) VEI が 1 以下の噴火のうちマグマが貫入してきた本格的な噴火活動であったとされるもの、のいずれかに該当する噴火をとりあげ議論を進めることにする。VEI が 2 以上としたのは、発生頻度の少ない規模の大きな噴火活動を取り出すこと、また規模の大きな噴火を対象とすることで歴史資料の噴火記事に内在するデータの不均質性を軽減し、より均質なデータを得るためである。岩木山の 1844, 1845, 1848, 1856 年の噴火は、スミソニアン博物館による世界の火山カタログ (Simkin and Siebert, 1994) では VEI が 2 とされているが、活火山総覧 (気象庁, 1996) によれば、1844 年と 1848 年は噴火の有無が疑問視されており、1845 年は噴煙と硫黄の噴出、1856 年は硫黄の発火であり、ここでは除いた。一

方、1970 年の鳥海山の噴火は VEI は 1 であるが、マグマが貫入してきた本格的な噴火活動であった (宇井・柴橋, 1975)。表 3 に噴火のリストを示す。

図 2 には巨大地震、内陸の大地震と火山噴火発生の様子を示す。東北地方内陸部の大地震は、1 個を除いて、巨大地震の発生前後に集中して発生していることがわかる。火山の噴火も巨大地震の前後に集中して発生している様子が見られる。

III. 統計的評価

異なる地域における地震発生の関連性については、いくつかの研究がなされており、関連性の存在の検証には、二項分布を用いた統計的有意性の検定が一般的である (例えば、宇津, 1975)。一方、地震予知においては、ある異常現象が観測さ

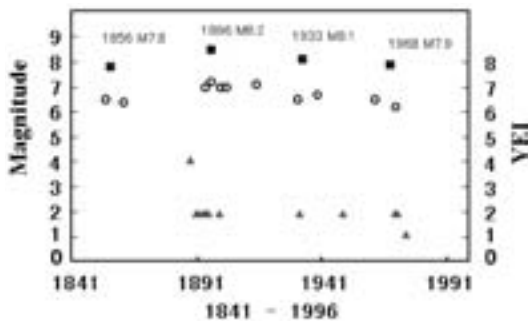


図 2 巨大地震（四角）、内陸の大地震（ $M6.2$ 以上、丸）および規模の大きな火山噴火（三角）の発生時期。
内陸の大地震および規模の大きな火山噴火のほとんどが海溝沿いの巨大地震発生前後に起こっているように見える。

Fig. 2 Temporal sequence of earthquake magnitudes and VEI (Volcanic Explosivity Index) during the period from 1841 to 1996.

Filled rectangles and open circles show the four great tectonic earthquakes and the thirteen large inland shallow earthquakes, respectively. Closed triangles show volcanic eruptions. It seems that the inland large shallow earthquakes and volcanic eruptions occurred just prior to great earthquakes near the trench or just afterwards.

れた場合の地震発生確率をいかに客観的に評価するかが一つの大きな問題である。井元（1994）は、地震発生予測とは観測された地震分布に対して適合度の高い地震発生率分布モデルを構築する問題であると考え、統計モデルを選択する基準とされる赤池の情報量基準 AIC を用いた次のような提案をした。すなわち、区間により活動度に差がある

言い換えると活動度の差が異常現象により識別されるモデルの AIC を AIC1 とし、調査対象の全区間活動度に差がないモデルの AIC を AIC0 とするとき、2つのモデル間の一致度を情報量基準 AIC の差 = $AIC0 - AIC1$ （以下 dAIC とする）で表し、評価しようというものである。この場合、dAIC が大きいほど全区間活動度に差がないモデルよりも活動度に差のあるモデルの方が現実の事象への適合度が高く、ある区間に異常があること

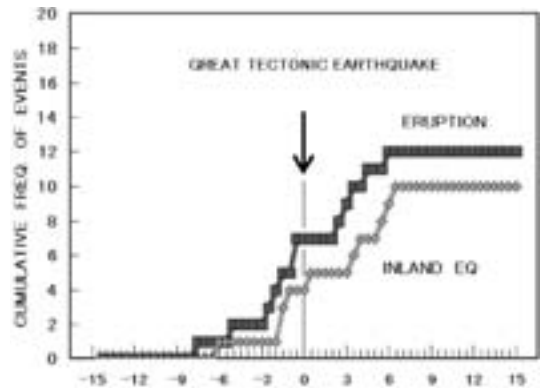


図 3 4つの巨大地震の発生時刻をゼロとし、それらの前後の活動を重ね合わせて、巨大地震発生前15年と発生後の15年について、内陸大地震のイベント回数および噴火のイベント回数を時間順に積算したもの。
内陸大地震と噴火は、ともに巨大地震発生直前と発生直後の数年間に集中して発生している。

Fig. 3 Cumulative frequency of both the large inland shallow earthquakes and volcanic eruptions, on the artificial time axis of thirty years where the four great seismic events occurred at the time of zero.

The large inland shallow earthquakes and volcanic eruptions are commonly concentrated at several years across the time of zero.

になる。

以下では上の2つの方法により巨大地震の発生と内陸大地震および火山噴火との関連性を検証する。

1) 地震と火山噴火の発生時系列データ

地殻歪みや応力変化により地震や火山噴火が誘発されるためには、地殻の歪や火山自身が臨界状態にある、あるいは臨界状態に達する必要がある、巨大地震の発生時間と東北地方内陸部の大地震や火山噴火の発生時間の間隔はその時々により異なると考えられる。ここでは、図2から6カ月を1単位として統計処理し、巨大地震発生前後の様子を明らかにすることにした。

まず、4つの巨大地震それぞれの発生時刻を時間の原点にして6カ月間を1単位とした区間に分

割する。内陸の大地震については、各区間において大地震が1回以上起こっていた場合に“イベントあり”とし、1のflagをたてる、ない場合には0とする。噴火については、各区間においてどこかの火山（一つの火山でも複数の火山でもかまわない）で噴火があった場合に“イベントあり”とし、1のflagをたてる、ない場合には0とする。こうして得られた時系列データ（1 or 0）を標本値とする。区間の数は312（= 156年/0.5年）とする。

図3は、4つの巨大地震の発生時刻を時間の原点にとり、地震発生前の15年間（30区間）と地震発生後の15年間（30区間）について各区間の噴火イベントと内陸大地震イベントの回数をそれぞれ求め、時間順に積算したものである。両イベントとも巨大地震を挟んだ短い期間に集中して発生していることがわかる。内陸の大地震は、巨大地震の発生前後±6.5年間の期間に11イベント中10イベント、噴火は±8年間の期間に13イベント中12イベントが数えられる。

2) 二項分布による検定

もし内陸の11回の地震イベントが156年間にランダムに起こっている（すなわちポアソン過程である）とすれば、4回の巨大地震発生前後の±6.5年間、合計52年間（13年間×4）に期待される回数は3.7回で、10回はその2倍を超えている。10回以上が52年間に起こる確率は、

$$P = \sum_{n=10}^{11} \binom{11}{n} p^{11} (1-p)^{11-n}$$

で、 $p = 52/156$ として計算すると $P = 1.24 \times 10^{-4}$ となる。同様に火山イベントもランダムに起こっているとすれば、巨大地震発生前後の±8年間、合計64年間に期待される回数は5.3回で、12回はその2倍を超えている。12回以上が64年間に起こる確率は $P = 1.73 \times 10^{-4}$ となる。いずれも非常に小さい値である。

3) 井元（1994）の方法による評価

“巨大地震発生後に内陸の大地震と噴火が集中的に発生している”という作業仮説を検証するために、巨大地震発生前後のある期間に警報発令

があるとするモデルのAIC（AIC1）と、調査対象の156年間に内陸の大地震や噴火はランダムに起こっていた（すなわちポアソン過程である）とするモデルのAIC（AIC0）について、 $dAIC = AIC0 - AIC1$ を求めた。井元（1994）によれば、

$$dAIC = 2 \{ n_1 \cdot \log\{(n_1 \cdot k_0) / (n_0 \cdot k_1)\} \} + n_2 \cdot \log\{(n_2 \cdot k_0) / (n_0 \cdot k_2)\} - 2$$

と表される。ここで、 k_0 は区間の総数、 n_0 はイベントの総数、 k_1 は警報が発令されたとする区間の数、 n_1 は警報が発令されているとする区間に発生したイベントの数で、 $k_2 (= k_0 - k_1)$ 個の区間には警報は発令されていなかったものとし、この k_2 個の区間に発生したイベントの数が $n_2 (= n_0 - n_1)$ である。巨大地震発生時刻を中心に前後に連続する $2m$ ($m=1, 2, \dots$) 区間を警報が発令されたとする期間として、上の式を用いた。図4と図5に、内陸の大地震と噴火イベントについての $dAIC$ をそれぞれ示す。横軸は巨大地震発生前後の警報が発令されたとする期間、縦軸は $dAIC$ の大きさである。 $dAIC$ は、内陸の大地震は巨大地震の発生前後±6.5年の期間（図4横軸の13年間）、火山の噴火は±8年の期間（図5横軸の16年間）、に警報が発令されたとするときにそれぞれ最大値を示し、約11、13以上となっている。 $dAIC$ の11と13という値は、モデルの有効性を測る指標としてはかなり大きな値で、井元（1994）の数値実験（100万回の試行による $dAIC$ の分布）によれば、 $dAIC$ が11以上あるいは13以上となる場合は1%以下となる。すなわち、“内陸の大地震イベント11例中10例において巨大地震発生前後の±6.5年の期間に起こる、あるいは、火山噴火イベントが13例中12例において巨大地震発生前後の±8年の期間に起こる、という現象は、偶然起こったものである”と考えることは、有意水準99%をもって棄却される。従って、“内陸の大地震は巨大地震発生前後の±6.5年の期間に起こりやすい”、あるいは“火山の噴火は巨大地震発生前後の±8年の期間に起こりやすい”といえることになる。

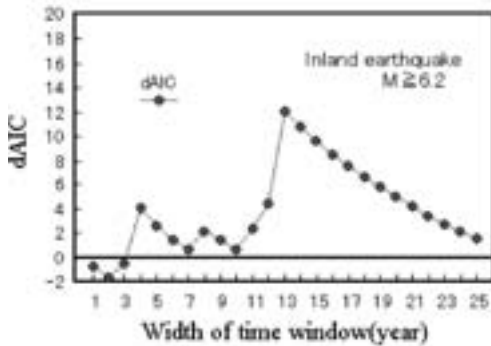


図 4 内陸大地震について巨大地震発生前後の「要警戒期間」(横軸)に対する dAIC の大きさ(縦軸)の分布。
dAIC は、巨大地震発生時 ± 6.5 年(計 13 年)をとったときに最大値を示している。

Fig. 4 Variations of dAIC as a function of the width of time window for large inland shallow earthquakes. The width of the time windows is measured in the bilateral directions with the center at the occurrence time of the great tectonic earthquakes. The maximum value of dAIC is more than 11 for the case of a total time window of thirteen years.

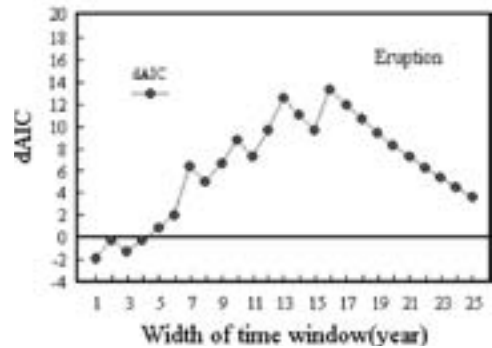


図 5 規模の大きな火山噴火について巨大地震発生前後の「要警戒期間」(横軸)に対する dAIC の大きさ(縦軸)の分布。
dAIC は、巨大地震発生時 ± 8 年(計 16 年)をとったときに最大値を示している。

Fig. 5 Variations of dAIC as a function of the width of time window for the volcanic eruptions. The width of the time windows is measured in the bilateral directions with the center at the occurrence time of the great tectonic earthquakes. The maximum value of dAIC is more than 13 for the case of a total time window of sixteen years.

IV. 考 察

1841 年から 1996 年までの 156 年間に日本海溝付近で発生した 4 回の巨大地震と、東北地方で発生した規模の大きな火山噴火 (VEI が 2 以上あるいはマグマが貫入してきた噴火)、および内陸の大地震 ($M6.2$ 以上) との時間的関連性について、二項分布を用いた有意性の検定および井元 (1994) により提案された方法を用いた統計的評価を行った。その結果、前者からはこのような時間的関連性が現れる確率は非常に小さいこと、一方後者からは、“巨大地震発生前後は内陸の大地震および火山噴火の発生確率が高いとするモデル”の方が、“内陸の大地震や火山噴火は全期間ランダムに起こっているポアソン過程であるとするモデル”よりも有意に適合度が高いモデルであることがわかった。これらの検証は、中村モデルを物理

的背景にして進めた結果であることを考え合わせると、日本海溝付近の巨大地震発生と隣接する東北日本内陸の大地震および火山噴火の間には実際に相関があると推定される。

そのような視点で改めて図 3 をみると、両活動とも、1) 静穏な時期から、2) 巨大地震発生前の活動が活発化する時期、3) 巨大地震発生後 2 ~ 3 年間の静穏な期間を挟んで、4) 3 ~ 4 年間の再び活動が活発化する時期があり、5) その後静穏な状態に入る、ように見える。図 6 にはこの様子を模式化して示す。もしこの活動の時間的推移が本質的なものを含んでいるならば、このことは火山の噴火やテクトニックな大地震の中・長期的予知に有効な知見をもたらすだけでなく、島弧の力学過程を解明する上でも重要な意味をもつことを示唆する。何故、地震、火山活動とも巨大地震発生後 2 ~ 3 年間の静穏な時期があってその後再び活動

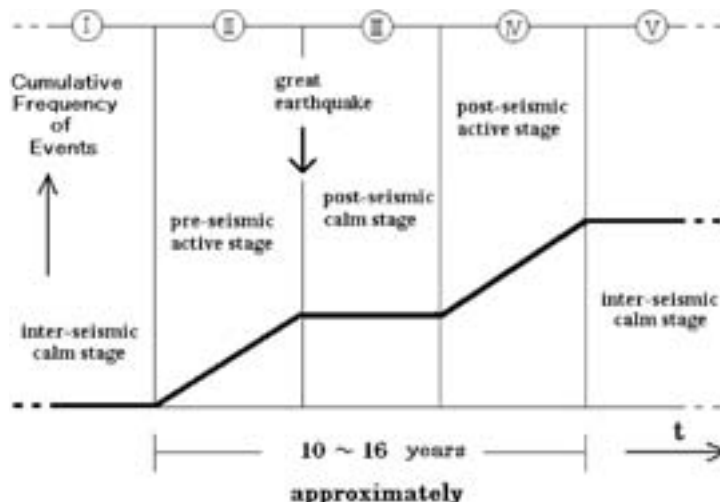


図 6 巨大地震発生前後の期間について、内陸の大地震および規模の大きな火山噴火発生の時間的経過を模式化したもの。
時間的経過に関しては、内陸の大地震および規模の大きな火山噴火とも、次のように模式化される。

- : 静穏な時期（20年間またはそれ以上），
- : 巨大地震発生前の活動が活発化する時期（約5年間），
- : 巨大地震発生後2～3年間の静穏な期間，
- : 3～4年間の再び活動が活発化する時期，
- : その後，再び長期の静穏期間．

Fig. 6 Schematic model on the cumulative sequence of both the volcanic eruptions and large inland shallow earthquakes, preceding and succeeding the four great tectonic earthquakes.

Based on our statistical study on the seismic and volcanic activities on land being associated with the great seismic events near the trench, we can classify the time sequence into the following five stages:

- : interseismic calm stage (~ 20 years or more),
- : pre-seismic active stage (~ 5 years before a great seismic event),
- : post-seismic calm stage(2 ~ 3 years after the great seismic event),
- : post-seismic active stage (the next 3 ~ 4 years), and
- : the next interseismic long-period calm stage.

が活発化するのか？その物理的からくりは、例えば江口（1979）の指摘にあるような、日本海溝での大地震発生に引き続いて内陸そして日本海沿岸へと地震活動の高い地域が時間とともに移動していくこと、にあるのかなど今後の興味ある課題である。

V. まとめ

1841年から1996年までの156年間に東北地方内陸部で発生した規模の大きな火山噴火（VEIが

2以上あるいはマグマが貫入してきた噴火）と内陸の大地震（ $M6.2$ 以上）は、日本海溝付近で発生した4回の巨大地震発生前後に集中して発生していることがわかった。この巨大地震発生前後に集中して発生していることについて、二項分布を用いた有意性の検定および井元（1994）による方法を用いた統計的評価を行った。その結果、前者からは火山の噴火および内陸の大地震の両者とも巨大地震発生前後に集中して発生する確率は非常に小さいこと、一方後者からは、“巨大地震発生前後

は内陸の大地震および火山噴火の発生確率が高いとするモデル”の方が、“内陸の大地震や火山噴火は全期間ランダムに起こっているポアソン過程であるとするモデル”よりも有意に適合度が高いモデルであることがわかった。すなわち、東北日本内陸部の大地震および規模の大きな火山噴火は、日本海溝付近の巨大地震発生と時間的な関連性をもって発生していると推定された。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、気象研究所地震火山研究部吉田明夫研究部長、本谷義信氏および査読者の江口孝雄氏および匿名の査読者には有益なコメントを頂きました。記して心から感謝致します。

文 献

江口孝雄 (1979) 東北日本周辺における地震活動の時空分布. 地震 2, **32**, 493-494.
江口孝雄 (1980) 東北日本周辺における地震活動の時空分布 (その2), 地震 2, **33**, 97-99.
羽鳥徳太郎 (1973) 安政3年 (1856年8月23日) 八戸沖津波の規模と波源域の推定. 地震, **26**, 204-205.
井元政二郎 (1994) 前兆現象の性能評価について. 地震 2, **47**, 137-142.
Kanamori, H. (1971) Seismological evidence for a lithospheric normal faulting The Sanriku earthquake of 1933. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **6**, 346-359.
気象庁 (1958) 日本付近の主要地震の表 (1926年から1956年). 地震月報, 別冊1.
気象庁 (1966) 日本付近の主要地震の表 (1957年から1962年). 地震月報, 別冊2.
気象庁 (1972) 日本付近の主要地震の表 (1963年から1967年). 地震月報, 別冊3.
気象庁 (1968-1996) 地震月報. (月刊)

気象庁 (1996) 日本活火山総覧.
Linde, T.A. and Sacks, S.I. (1998) Triggering of volcanic eruptions. *Nature*, **395**, 888-890.
中村一明 (1971) 地殻歪の指示者としての火山. 火山, **16**, 63-71.
Okada, Y. (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **82**, 1018-1040.
Seno, T. (1979) 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.
Shimazaki, K. (1978) Correlation between intraplate seismicity and interplate earthquakes in Tohoku, northeastern Japan. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **68**, 181-192.
Simkin, T. and Siebert, L. (1994) *Volcanoes of the World*. Smithsonian Institution.
震災予防調査会 (1918) 日本噴火志 (上)(下). 震災予防調査会報告, 第86号, 87号.
東京天文台 (1989) 理科年表 1988年版. 丸善.
宇井忠英・柴橋敬一 (1975) 鳥海山 1974年の火山活動. 火山, **20**, 51-64.
宇佐美龍夫 (1996) 新編日本被害地震総覧. 東京大学出版会.
宇津徳治 (1975) 関東地方の地震と飛騨地方のやや深発地震の相関について. 地震 2, **28**, 303-311.
宇津徳治 (1982) 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. 東京大学地震研究所彙報, **57**, 401-463.
Yamashina, K. and Nakamura, K. (1978) Correlations between tectonic earth-quake and volcanic activity of Izu-Oshima volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **4**, 233-250.
横山 泉 (1971) 大地震によって誘発された噴火. 北海道大学地球物理学研究報告, **25**, 129-139.

(2001年12月7日受付, 2002年2月25日受理)