

火山噴火と地震の時・空関係 ——日本付近の大地震について——

木 村 政 昭

RELATIONSHIP BETWEEN VOLCANIC ERUPTION AND LARGE EARTHQUAKES IN THE VICINITY OF JAPAN

By Masaaki KIMURA

Synopsis

Seismic and volcanic data during this century reveals that most of all eruptions in Japan should be followed by large earthquakes ($M \geq 7.0$) in concerned places. The time-space relation between major eruptions and great earthquakes larger than $M7.7$ in Japan shows a reverse correlation given by the following equation.

$$T = 50.61 - 18.17 \log D$$

T : Interval from the starting time of an eruption to the occurrence time of the earthquake. D : Distance from the concerned volcano to the epicenter of the shock. This implies that the eruption occurs in earlier time prior to the concerned shock if the epicenter of the earthquake is nearer from the volcano. Based on this relation, the crustal breaking time in the estimated epicenter should be known. This suggests that the eruption occurs by the increased stress generated from the epicentral region. The increased strain should squeeze up magmas before breaking the crust. Recent eruptive activities strongly suggest that the strain has been critically accumulated in several regions such as northern and southern parts of central Japan and eastern Kyushu.

1. はじめに

従来より、大地震の直後、その付近で火山噴火が起きた場合、両者には何らかの物理的関係があるのではないかとの指摘はあった。たとえば、南海トラフの地震と富士山、房総沖地震と八丈島の噴火などである。しかし、現実には、それより普遍性をもちしかも圧倒的に事例の多いのが大地震に先立つ噴火の例であることが最近の研究で指摘されてきている。小論では、それらの関係をできるだけ客観的に認識する方法を示した。

大地震に先立って火山噴火が起こることによって、火山が歪計の役割を果たす例は、最初に伊豆大島の火山活動で指摘されている^{1)~4)}。それ以来多くの例についての検討がなされ、火山噴火は、汎世界的にも広域のかつ長期的に進行するテクトニック応力変化と密接な関係をもつことはほぼ明らかとなった^{5), 6)}。本報告では、火山活動期の解析を日本の火山・地震活動に適用し、火山活動と大地震との時・空関係をまとめた。その結果、火山活動が歪計の役割を果たしていることが明らかとなり、従来の指摘をより客観的かつ具体的に把握することができたと思われる。それにより、将来の噴火や地震活動の予測の基礎データの一つが得られたといえよう。

2. 使用データおよび解析

火山活動については、「火山カタログ」により、最近のものは「Bulletin of Volcanologic Eruptions」の記載に基き、各火山の一活動期中の主噴火年代をおさえる努力をした。選ばれた噴火年代の妥当性については、震災予防調査会の「日本噴火志」や気象庁の「地震月報」および「火山報告」そしてその他の諸論文^{7)~13)}等によりチェックした。地震については、基本的には気象庁のデータを使用させていただいたが、古いものについては、理科年表や震災予防評議会編の「大日本地震史料」および最近の文献^{14), 15)}等により、震央や規模そして特に震度分布等についての検討を行った。また、1923 年の関東地震の震央に関しては再決定されたもの¹⁶⁾を用いた。

火山の噴火強度については、最近諸方面よりくわしい検討がなされてきている¹⁷⁾が、ここでは噴火活動の規模そのものは一つの目安として用いるため、従来より用いられている IUGG や日本火山学会等で定義されているものを基準としておく。噴火の際の総噴出物量 1000 m^3 より大きい噴火は「大噴火 (great)」, $1000 \text{ 万} \sim 1 \text{ 万 m}^3$ は「中噴火 (medium)」, それより少ないものは「小噴火 (little)」と区別されている。本文では、主要噴火という言葉を用いることがあるが、それはその火山の 1 活動期中の最大火山活動を示し、必ずしも大噴火を意味しない。また地震については、一般に $M \geq 7$ が大地震とされているので、原則的にはこれに従った。また、 $M \geq 7.7$ をここでは一応巨大地震として便宜的に区別することがある。

Fig. 1 に、小論で取り扱った (Tables 1, 2) 日本および付近の火山の位置と主要プレート境界を示した。Fig. 2 に、日本の代表的な大地震発生を区切りとして、今世紀の噴火と大地震の関係を示した。1 区切りが、概略 10 年前後となっている。図の火山の印のそばに、この期間の主要噴火年代を示してある。例えば、火山の側に 10 とあるのがそれで、これは 1910 年の意味である。この主要噴火というのは、必ずしも大噴火とは限らず、その火山のその時の活動の極大を示すものが原則的にとられている。このような噴火は一般に次に述べる P_2 時の噴火と一致しているとみられる。

ここで、噴火活動のサイクルについて整理しておきたい。過去の例について、伊豆大島、三宅島両火山近傍および周辺（ほぼ三原山を中心とした 50 km 半径内）の通常微小地震活動をみると、大噴火時に対応したピーク群 (P_2) を中心として、その前 (P_1) と後の時期 (P_3) に地震がほぼ対称的に群発している^{4)~6)}。火山活動は、それら P_1 , P_2 , P_3 を合わせて 1 サイクルとなっている。通常、火山の大噴火はこの期に行われている。 P_1 とか P_3 には小～中噴火が行われることがあるが三宅島火山のように全く噴火がみられない場合も多い。この P_1 から P_3 の 1 サイクルの活動は通常 10 年から 30 年の幅で変動している。したがって、主要噴火（たとえば大噴火）だけを見てゆくと、その火山では 10～30 年周期で噴火しているようにみえる。それらは、これらの地震群発のメカニズムは決して単純ではないと思われるが、この P_2 に対する P_1 と P_3 の関係は、力学的に一連の現象が進行してゆく状態を示しているものとみられる。

それぞれの期間に、火山下にマグマが充満していて、噴火に対していわゆる臨界状態にあれば大噴火となるが、そうでなければ小噴火や群発地震発生という事件だけで P_2 が示されることがある。したがって、単なる P_1 や P_3 の小噴火でなく、 P_2 の噴火と思われるものは、小噴火とされているものもとりあげる必要がある。したがってめったに噴火しない火山では、噴火記録のほとんどすべてがとりあげられることになる。また、明らかに離れた時間間隔で、明らかに P_2 のそれと判断できるような場合には火山活動の一環として、群発地震を入れた場合も少数例ある。

Fig. 2 においては、噴火時期の移り変わりを示すために、等噴火年代線とでもいうべき線を引いた。ここに示した噴火年代は以上述べた意味での主要噴火にあたるものとみられる。古い記録では、それらの区別が難しい場合が少なくないが、結果的には、多くの火山の場合理科年表に記載されている噴火年代をほぼそのまま配列すれば使える場合が多いということがわかった。ただし、浅間山、阿蘇山、霧島および桜島等の火山噴火については、小噴火の活動が多く、どれが主要噴火か選ぶのがむずかしい場合がある。この場合でも大噴火は優先して選べる。他の噴火については、 $P_1 \sim P_2$ が通常 10～30 年ほどで、なかでも P_2 は 5～10

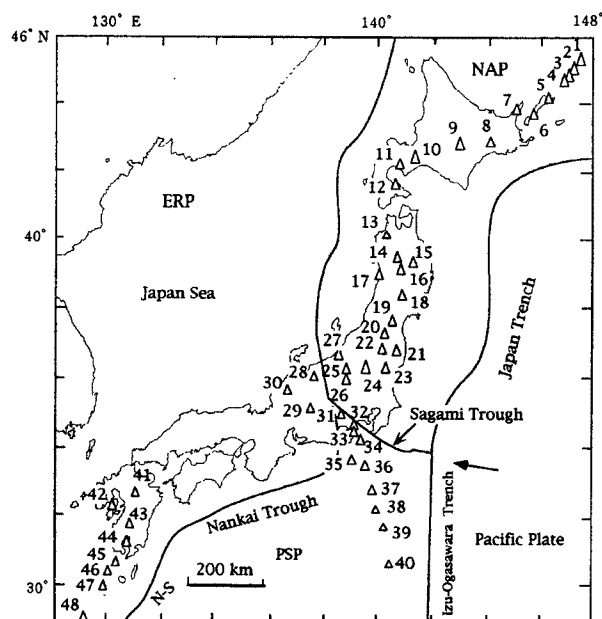


Fig. 1 Volcanoes and plate boundaries in the studied area. The plate boundary in the central Japan is referred from Kimura (1981, 1988)^{18), 19)}. Triangles are active volcanoes listed in Tables 1-4. Big arrow shows general direction of slip vector of a plate after Seno et. al. (1993)²⁰⁾. NAP : North America Plate, ERP : Eurasian Plate, PSP : Philippine Sea Plate, N-S : Nansei-Shoto Trench.

Volcanos 1 : Moyorodake, 2 : Satitusan, 3 : Sio Tirarippusan, 4 : Atosanupuri, 5 : Tiatiadake, 6 : Rausudake, 7 : Siretoko Iozan, 8 : Meakandake, 9 : Tokatidake, 10 : Tarumaesan, 11 : Usuzan, 12 : Hokkaido-Komagatake, 13 : Iwakisan, 14 : Akita-Yakeyama, 15 : Iwatesan, 16 : Akita-Komagatake, 17 : Tyokaisan, 18 : Kurikomayama, 19 : Zaozan, 20 : Azumayama, 21 : Adatarayama, 22 : Bandaisan, 23 : Nasudake, 24 : Nikko-Siranesan, 25 : Kusatu-Siranesan, 26 : Asamayama, 27 : Niigata-Yakeyama, 28 : Yakedake, 29 : Ontakesan, 30 : Hakusan, 31 : Huzisan, 32 : Hakonesan, 33 : Teisi-Kaikyu, 34 : Izu-Oshima, 35 : Kozusima, 36 : Miyakezima, 37 : Hatizyozima, 38 : Bayonnais-Retugan, 39 : Sumisuzima, 40 : Izu-Torisima, 41 : Asosan, 42 : Unzendake, 43 : Kirisimayama, 44 : Sakurazima, 45 : Tokara-Iozima, 46 : Kutinoerabuzima, 47 : Nakanosima, 48 : Suwanosezima.

年以内に終了している場合が普通なので。10 年前後連続して噴火が続いているような場合にはその中の一番活発なものを選ぶことになる。ただし、常に活動しているような火山でも、伊豆大島火山のような場合は、火口底の変動との関係もおさえられ、噴火の時系列については問題がない。

Fig. 2 の等噴火年代線は、大地震の震央との関係を示すためにあり、線の長さや曲率に多少誇張されている面もある。また、それらは次に述べる時空ダイアグラムの曲線からはずれていないかどうかチェックが行われている。したがって、二次元的分布でみると、時系列的にある地震と対応をもつものでも、Fig. 3 以下の曲線からはずれるようなものは点線で示してある。また、地震については震源域を楕円で概略示した。点線で示された楕円は、その年代のあとで地震が発生したものである。

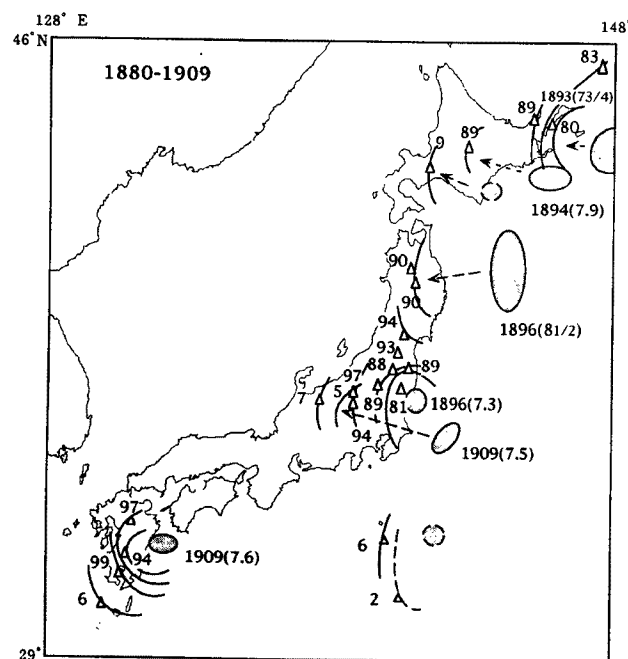


Fig. 2-1 Distribution map of volcanic eruptive activities and concerned, large earthquakes during 1880-1909. Numerals aside the volcano represents eruptive years in this century. Contour lines of eruption-year are shown.

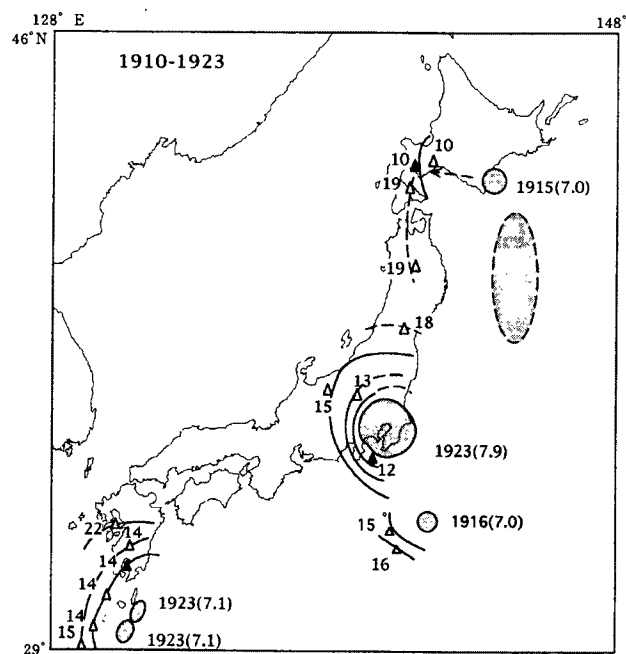


Fig. 2-2 Eruptive activities and seismicity during 1910-1923.

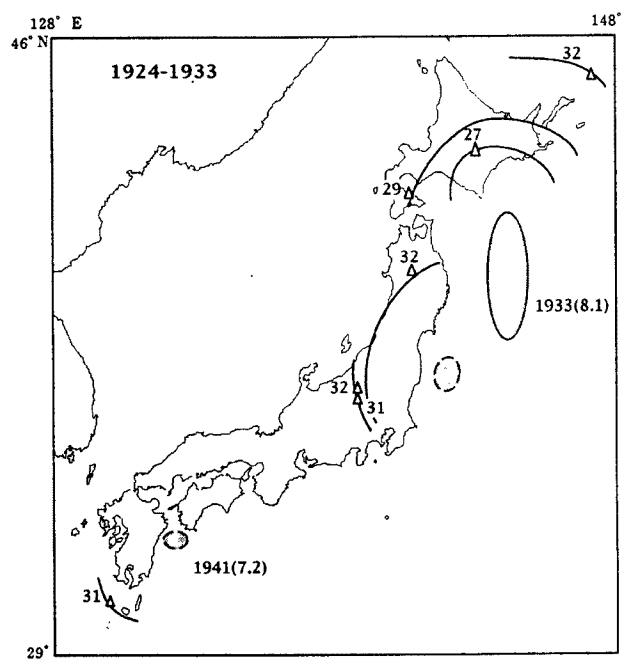


Fig. 2-3 Eruptive activities and seismicity during 1924-1933.

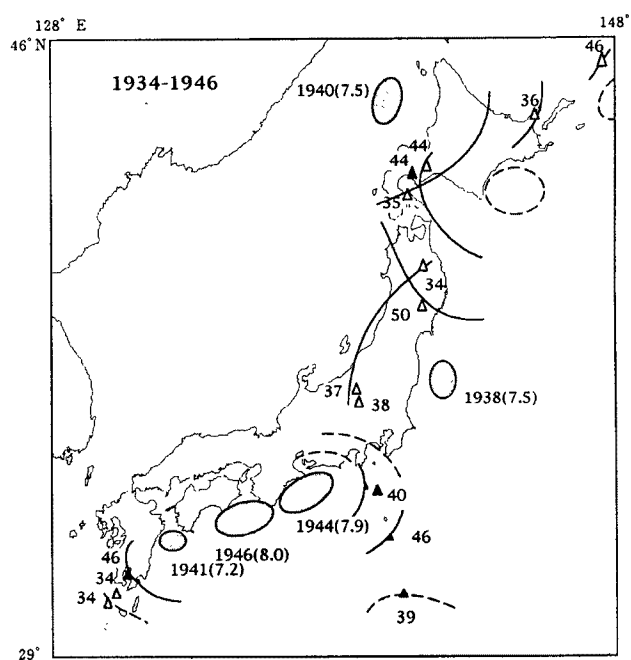


Fig. 2-4 Eruptive activities and seismicity during 1934-1946.

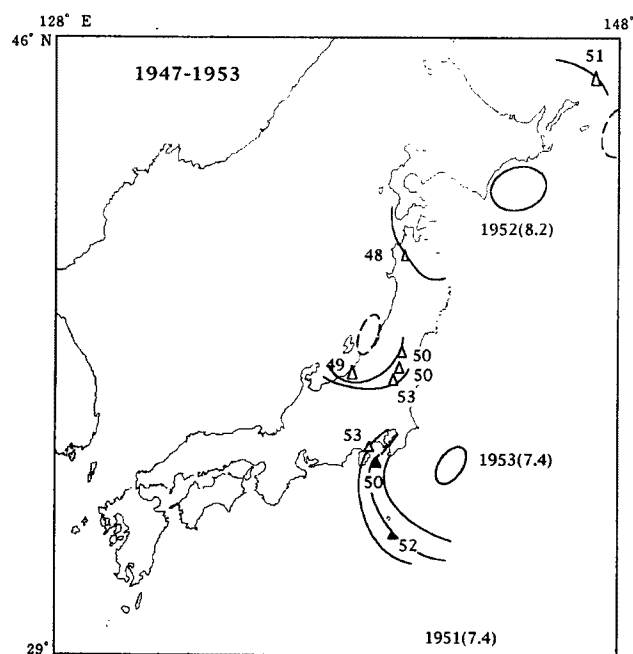


Fig. 2-5 Eruptive activities and seismicity during 1947-1953.

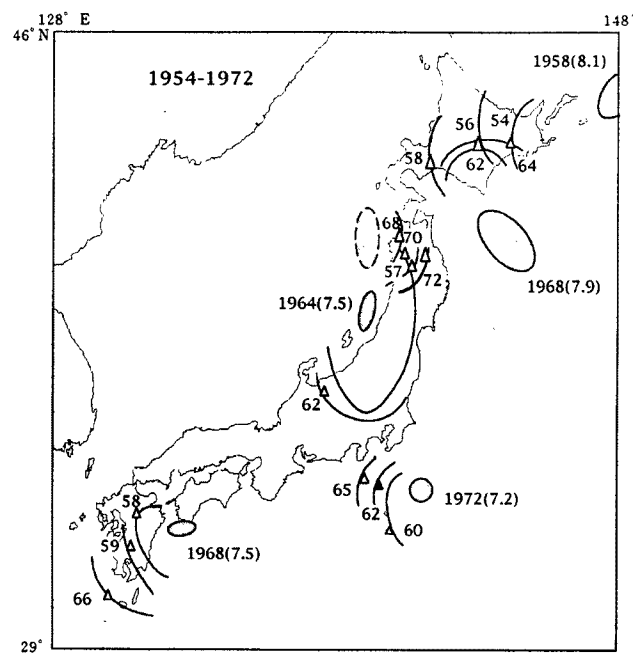


Fig. 2-6 Eruptive activities and seismicity during 1954-1972.

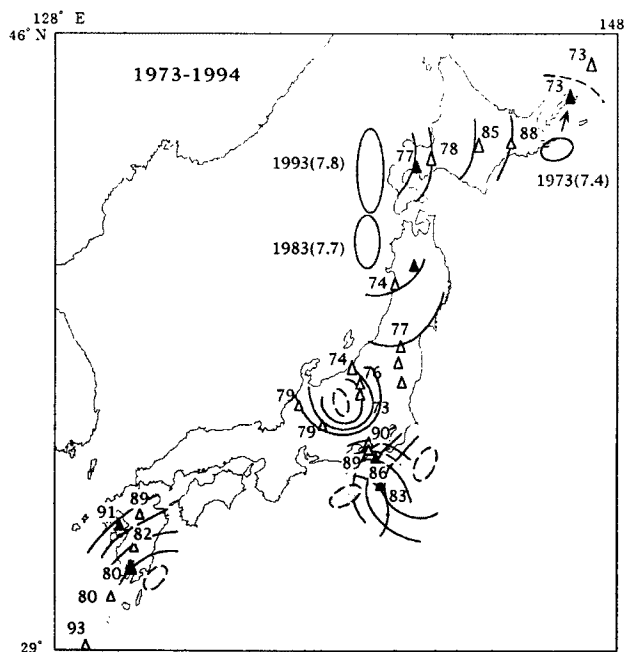


Fig. 2-7 Eruptive activities and seismicity during 1973-1994.

Fig. 2 に示された大地震発生と火山噴火との時・空間関係をみるために、グラフ Fig. 3 以下を作成した。横軸の「距離」とは、ある火山からある地震の震央までの距離（震央距離）のことである。そして、縦軸の「時間」とは、ある火山の主噴火の開始時から、ある大地震発生時までを年数で示したものである。

3. 結 果

3.1 巨大地震 ($M \geq 7.7$) と噴火の関係

Fig. 2 で示されたように、主要噴火の年代がある一定方向に時系列をもつ傾向が認められる。そして、古い年代の方向をたどってゆくと、その延長に大地震の震央が位置するという関係が見いだされる。ここでとりあげられた大地震については、第一段階では $M \geq 7.0$ 以上の大地震はすべて地図上にプロットとされた。結果的には、 $M 7.7$ 以上の巨大地震はすべて今述べたような噴火との対応を見せた。それ以下の地震については、 $M 7.3$ 以上の地震については中央～西日本においてはすべてが噴火と対応する。しかし、東北日本においては対応が不明またはしていないと思われるものがいくつかあった。Fig. 2 には、 $M < 7.3$ については対応の明らかなものについてのみ記入してある。ちなみに、火山については Fig. 2 の各年代範囲で活動したもののみを記してあり、黒塗りのものは、大噴火ないしは溶岩流出のあったものである。これで見ると全体的にも火山活動と地震活動が良く対応していることが認められる。特に重要なことは、主要噴火活動があった地域では、その後必ず大地震発生が認められるということである。特に、複数の火山噴火の時系列がはっきりとしているところはより大きな地震が発生しているといえる。Fig. 2 で、震源域から火山の方へのびた点線の矢印は、その火山の噴火に対応していることを示すもので、近くで複数の地震発生があり、対応が見にくい場合に示してある。

Table 1. Great earthquakes ($M \geq 7.7$) and their related volcanic eruptive activities

		Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	1) NE Japan	Raus	1880	1893 ($7\frac{3}{4}$)	190	13
2	($M > 7.6$)	Moyoro	1883	1893	220	10
3		Siretoko-lozan	1889	1893	240	4
4		Tokatidake	1889	1894 (7.9)	270	5
5		Akita-Komagatake	1890	1896 ($8\frac{1}{2}$)	280	6
6		Akita-Yakeyama	1890	1896	280	6
7		Zaozan	1894	1896	360	2
8		Hokkaido-Koma	1929	1933 (8.1)	450	4
9		Akita-Yakeyama	1948	1952 (8.2)	350	4
10		Satususan	1951	1952	490	1
11		Moyoro	1946	1958 (8.1)	120	12
12		Meakandake	1954	1958	370	4
13		Tokatidake	1956	1958	480	2
14		Tarumaesan	1958	1958	600	0
15		Tokatidake	1962	1968 (7.9)	310	6
16		Meakandake	1964	1968	300	4
17	(Japan Sea side)	Iwakisan	1968	1983 (7.7)	110	15
18		Akita-Komagatake	1970	1983	160	13
19		Tyokaisan	1974	1983	170	9
20		Azumasan	1977	1983	300	6
21		Usuzan	1977	1993 (7.8)	140	16
22		Tarumaesan	1978	1993	180	15
23		Tokatidake	1985	1993	290	8
24		Meakandake	1988	1993	400	5
25	2) Central Japan	Izu-Oshima	1912	1923 (7.9)	80	11
26	($M > 7.6$)	Asama	1913	1923	130	10
27		Yakedake	1915	1923	170	8
28		Zao	1918	1923	330	5
29	(Nankai Trough)	Miyake	1940	1944 (7.9)	270	4
30		Bayonnais	1946	1946 (8.0)	420	1
31		Sakurazima	1946	1946	490	1

次に、Fig. 2 で認められる大地震発生と火山噴火との時・空関係をより定量的にみてみよう。データの比較的良く揃っていて、しかもプレート境界と火山と地震の配列が並行している東北日本の検討から始める。日本付近の大地震 ($M \geq 7$) でも、より小型のものと大型のものを区別して論議する。ここでより大型のものを便宜的に $M \geq 7.7$ について巨大地震として、それより小型のものと区別した。まず、その関係が比較的わかり易い 1993 年に発生した北海道南西沖地震の例についてみてみよう。

Fig. 3 に噴火と地震の時・空ダイアグラムを作成した。噴火と地震のデータは Table 1 に示した。横軸の「距離」とは、火山から地震の震央までの距離（震央距離）のことである。そして、「時間」とは、火山の主噴火の開始時から、ある大地震発生時までを年数で示したものである。震源から火山までの距離を X

Table 2. General large earthquakes ($7.0 \leq M \leq 7.6$) and their related eruptions

		Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	1) NE Japan	Tarumae	1909	1915 (7.0)	190	6
2	($M < 7.7$)	Usu	1910	1915	230	5
3		Nasu	1881	1896 (7.3)	120	15
4		Bandai	1988	1896	150	8
5		Nikko-Siranesan	1889	1896	150	7
6		Adatara	1889	1896	140	7
7		Asama	1894	1896	360	2
8		Kusatu-Siranesan	1905	1909 (7.5)	360	4
9		Yakedake	1907	1909	400	2
10		Akita-Komagatake	1932	1938 (7.4)	300	6
11		Kusatu-Siranesan	1932	1938	330	6
12		Asama	1935	1938	340	3
13	(Japan Sea side)	Hokkaido-Koma	1935	1940 (7.5)	270	5
14		Siretoko-lo	1936	1940	350	4
15		Azuma	1950	1964 (7.5)	120	14
16		Adatara	1950	1964	130	14
17		Nasu	1953	1964	160	11
18		Niigata-Yakeyama	1962	1964	280	2
19		Akita-Yakeyama	1957	1964	220	7
20	2) Cental Japan	Bayonnais	1915	1916 (7.0)	300	1
21	($M < 7.7$)	Sumisu	1916	1916	350	0
22		Bayannais	1960	1972 (7.2)	180	10
23		Miyakezima	1962	1972	180	10
24		Kozuzima	1965	1972	210	7
25	(South Kanto)	Izu-Oshima	1950	1953 (7.4)	230	3
26		Bayonnais	1952	1953	290	1
27		Hakone	1953	1953	280	1
28	3) Kyushu	Kirisima	1894	1909 (7.6)	50	15
29	($M < 7.7$)	Aso	1897	1909	70	12
30		Sakurazima	1899	1909	90	10
31		Tokara-lo	1903	1909	190	6
32		Kutinoerabu	1906	1909	220	3
33		Kirisima	1914	1923 (7.1) Tane	150	9
34		Sakurazima	1914	1923 Tanegashima	120	9
35		Kutinoerabu	1914	1923 (7.1) Tokara	160	9
36		Nakanosima	1914	1923 Tokara	130	9
37		Suwanose	1915	1923 Tokara	130	8
38		Unzen	1922	1923 Tokara	410	1
39		Kutinoerabu	1931	1941 (7.2)	250	7
40		Aso	1958	1968 (7.5)	150	10
41		Kirisima	1959	1968	60	9
42		Kutinoerabu	1966	1968	300	2

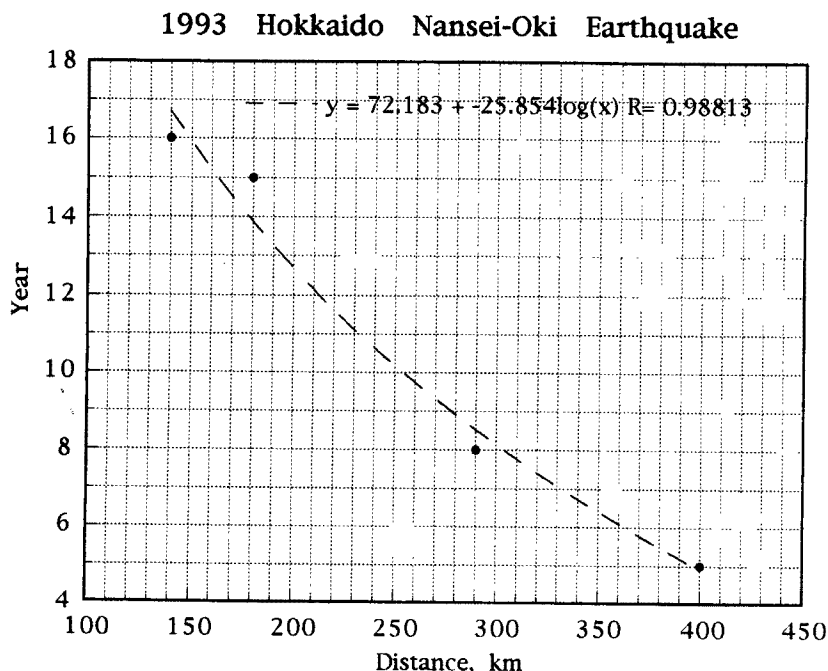


Fig. 3 Diagram showing time-space relation between eruptive activity and occurrence of great earthquakes ($M \geq 7.7$) in the region off southwestern Hokkaido.

軸、噴火から地震までの時間をY軸にとり、プロットした。すでに、噴火と時間の関係がY軸を対数でフィットさせた場合が最も良く合うことが指摘されている^{21), 22)}ので、ここでも同様にフィットさせたのがグラフ中の点線である。扱われた噴火については、1993年地震より最も近くにある有珠山の1977年噴火は、1945年の昭和新山形成以来のもので新たな火山ドーム形成があり、総噴火物量8300万 m^3 の大噴火である。次の樽前山については、1958年より20年ぶりに1978年から80年までに行われ、それ以降はないものである。そのはじまりの年代をとった。十勝岳については、1962年以降23年ぶりに1985年から1989年まで活動的となり、それ以降はないものである。そして、最も遠くはなれた雌阿寒だけでは、1988年に1966以来22年ぶりで小噴火が行われ、それ以降ない。この活動は前年に極微小火山灰放出という徴候があったようである。このように、1977年以降は本域においては、噴火活動年代が西から東へ新しくなったことは明かである。その時系列が1993年7月の北海道南西沖地震($M7.8$)の震源から遠ざかる方向へ移っていった例として、火山活動との時・空関係を示してみるとFig. 3のようになる。これによると逆相関関係がはっきりと示されている。それを見ると、震源に近い火山で早く噴火し、遠ざかるほど遅く噴火する傾向が認められる。ただし、同じ1993年の1月には、釧路沖に、 $M7.8$ という地震が発生している。たとえば、そこから、最も近距離にある雌阿寒岳の噴火をはじめ、北海道の他の火山噴火とはもちろんこの曲線にはのらない。この地震は103 kmの深さの太平洋プレート内の破壊であったために、表層付近の地殻歪がこれに対応していないため、火山噴火の時系列に大きな影響を与えなかった可能性がある。

東北日本の個々の巨大地震($M \geq 7.7$)について同様な操作を行い、火山噴火と地震の時・空関係についてのダイアグラムを作成する。それらは良く似た曲線を示し、それらを合わせたものがFig. 4である。データはTable 1に示される。同じ東北日本でも、日本海側で発生した地震とそれ以前に噴火した火山との関係が、基本的には太平洋のそれと同じ曲線を示しているとして、両者を合わせて東北日本全体のダイアグラムを作ったものである。これはかなり良い集中性を見せ、東北日本の巨大地震と噴火との関係を代表す

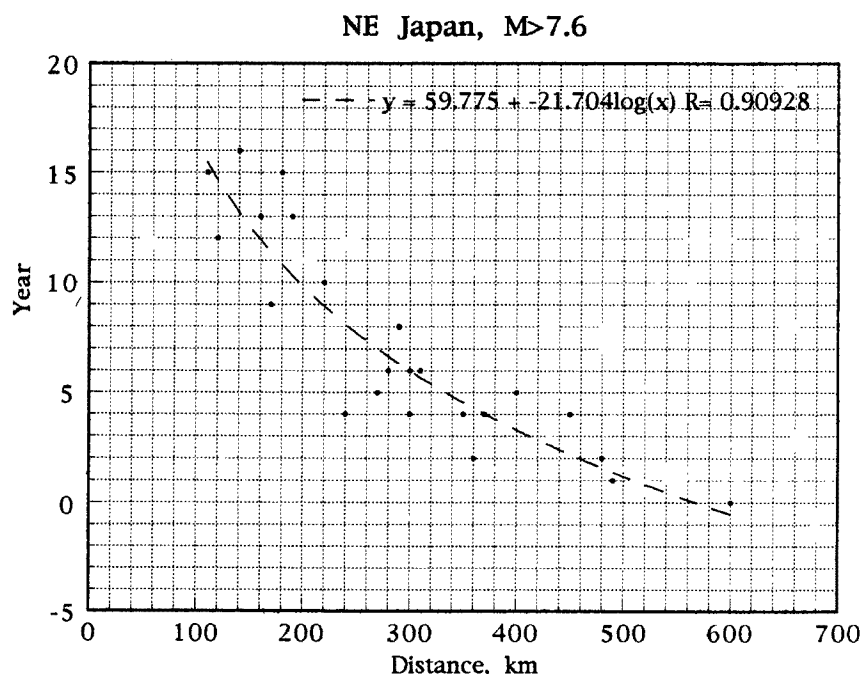


Fig. 4 Time-space relation between eruptions and occurrence of great earthquakes larger than M7.7 in Northeastern Japan.

るものとみてよいであろう。

これで見ると、全体として逆相関を示す傾向が明らかに認められる。このグラフの意味するところは、Fig. 3でも認められたように、複数の火山噴火をみてゆくと震源域に近い火山が地震発生より早い時期に噴火し、遠い火山では遅れて噴火してゆくことを示している。また一つの火山で見ると、近くで大地震が起こるときは噴火から地震までの時間がかかり、遠くで大地震が起こるときは短時間でくるとことを示している。これは、本域の火山噴火と大地震との間に何らかの物理的関係が成立していることを示しているとみられる。この時間と距離の逆相関関係は、すでに東北日本や九州、あるいは太平洋沿岸でそれぞれ認められることが基本的にはわかっている^{5), 21)}。

次に中央日本から西日本においては、相模トラフと南海トラフ付近で巨大地震が発生している。相模トラフでは、今世紀の巨大地震としては1923年の関東大地震(M7.9)が発生し、多くの噴火がそれに対応している(Fig. 2-2)。南海トラフでは1944年(M7.9)と1946年の地震(M8.0)が発生している。それらを東北日本のそれに加えて示したのが、Fig. 5である。

有史以降、相模トラフ付近で大地震(M≥7)が15回発生している。その前に対応する噴火がないと思われるのが、1回だけである。この1回は、大島の大噴火直前に発生している地震で、これは火口底上昇に力を貸しているものと判断された。あとの14回のなかでも、1回は富士山と、1回は神津島噴火との対応が認められるが、他の12回はすべて伊豆大島の噴火と対応するようにみえる。しかも1400年以降は10回の地震が発生し、1回に事前の噴火が伴っていない。一方、有史以降の例の中で南海トラフ沿いで発生した1605年の東海沖、1854年の東海沖地震も、噴火との対応が認められ、このカーブにのる。ただし、この東海地方の地震に対しては、伊豆の火山噴火の対応はそれほど良いとは思われない。特に相模トラフ沿いの地震に敏感に対応している伊豆大島の噴火が対応している例が不思議とみられない。また、歴史地震の例でみても、富士山の1700年噴火と1707年(8.4)地震、大島1600年噴火と1605年(M7.9)の東海地震との関

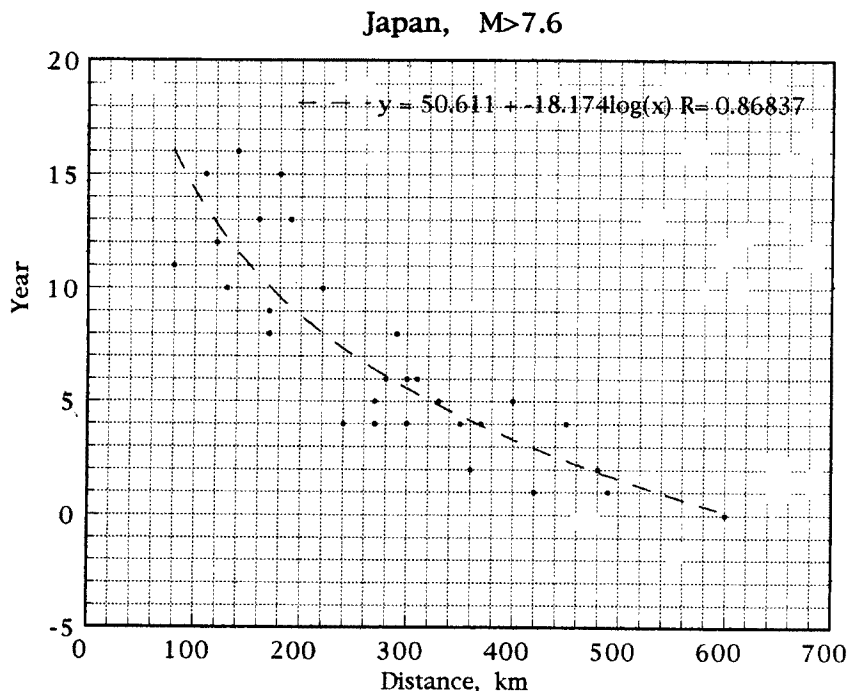


Fig. 5 Time-space relation between eruptions and occurrence of great earthquakes larger than M7.7 in all Japan.

係も曲線にのらない。前者は、1703年の相模トラフでの大地震が近いから、そこで応力解放が行われたのであろう。後者は、大島が相模トラフに近いから、同じ1605年に相模トラフ中部で発生した大地震の影響があったとみられる。ところが、同じ1605年の大地震の対応とみられるものが、三宅島では、相模トラフでの大地震と東海地方の地震と両方で良い対応を示している。これは、どちらからともあまりちがわない距離に三宅島が位置していたからかもしれない。結果的には、伊豆海嶺の三宅島、大島のうち、三宅島が比較的良好な対応を示して、富士山は大地震後の噴火の方が対応が多いようである。

Fig. 5 が日本列島の巨大地震と噴火の関係を示すグラフということになる。これは Fig. 4 に比べると多少のばらつきがでるが、逆相関関係がはっきりと示されている。噴火から地震までの距離を T 、火山から震央までの距離を D とすると次のような関係式で表される。

$$T = 50.61 - 18.17 \log D$$

3.2 その他の大地震 ($M \leq 7.6$) と噴火の関係

M7.6 以下の大地震といっても、M7 から 7.6 までの幅がある。M7 と M6 とでは周辺の地殻に及ぼす圧力効果には大きな差があろう。しかし、今回は日本の全体的な傾向をつかむために、それらを一緒に扱った。

M7 から 7.6 までの通常の大地震について東北日本のそれをまとめたものが Fig. 6-1 である (Table 2)。東北日本では、太平洋側や日本海側といったそれぞれの地域ではかなり良い相関関係を示すが、合わせるとやや集中性が悪くなるようである。

中央日本では、1953年の房総沖地震 (M7.4) や 1992年の八丈島近海の地震 (M7.2) とそれに関連する

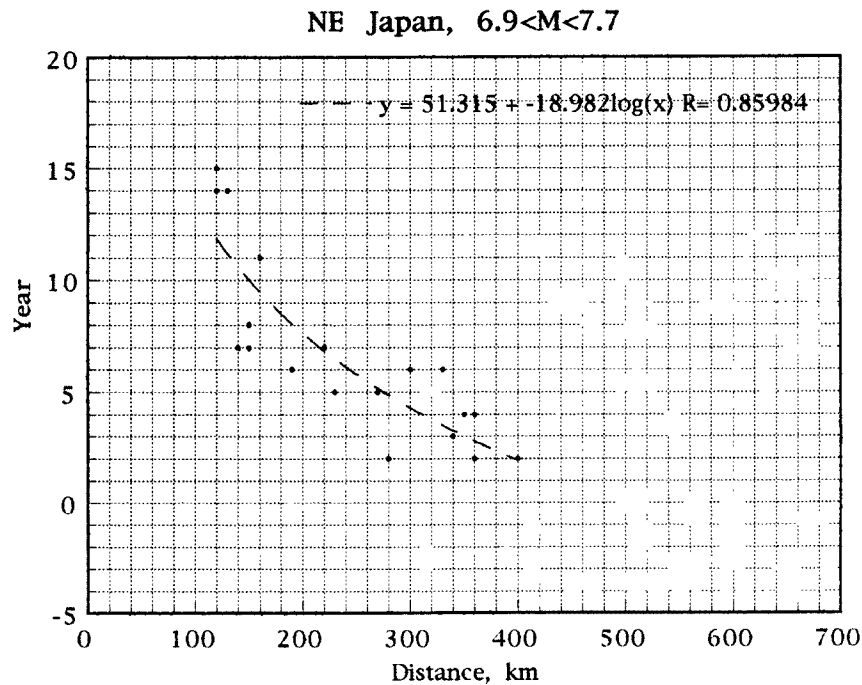


Fig. 6-1 Time-space relation between eruptions and occurrence of large earthquakes ($7 \leq M \leq 7.6$) in Northeastern Japan.

火山噴火がある。1953年房総沖の地震 ($M7.4$) の場合、噴火の数は少ないが、2つの火山で溶岩流出の認められた大噴火である。また、これに対応するものとして箱根火山の泥流を伴う活動がある。これは、箱根火山では有史以来初めてのことであり、この活動は P_2 とみてまず間違いはなからう。これらは、きれいな逆相関を示している。それらは、巨大地震の曲線とほぼ並行するが、曲線としては全体にグラフの左下に寄ってくる。九州付近は巨大地震の発生はなく、この種の大地震が多く発生している。たとえば、1909年 ($M7.6$)、1923年 ($M7.1$)、1941年 ($M7.2$)、1968年 ($M7.5$) と頻繁に発生している。1914年の桜島の大噴火を代表とする噴火に対応するように、1923年 ($M7.1$) の地震が2ヶ所におきている。一つは種子島付近で、もう一つはトカラ海峡である。桜島噴火はより近くの種子島震源域の影響を強く受けている。以上をまとめたのが **Fig. 6-2** である。東北日本のそれと同様、比較的きれいな逆相関関係が得られた。

以上を reference として、他の地域のものもプロットして、日本全体をみたのが **Fig. 6-3** である。これで見るとかなりばらつきがでてくる。これは地震規模が $M7$ から 7.6 と幅のあることと、地域的な地殻構造の差などがきいてくるせいであろう。全体の傾向としては、巨大地震のそれに比べると、グラフの左下による傾向が認められる。これは、地震が小型になるため、震央からおよぶ応力範囲が狭くなることを示していると思われる。しかし、**Fig. 6-3** と **Fig. 5** はほとんど一致する。このように、 M の大小に関係なくかなり良い相関を示すということは、時空関係は必ずしも M の大小によらないことを示しているようにみえる。すなわち、ここで扱われた $M \leq 7.6$ の地震の多くが $M \geq 7.4$ のものであり、このクラスの地震になると、 $M8$ クラスと時・空関係にきわだった差がないともいえる。

Fig. 7 には、さらに巨大地震も通常の大地震もすべて含めてプロットしたものを示した。もちろん、ばらつきは大きくなるが、それでも逆相関関係は明白に示される。対応例は73例を数える。

以上の結果、火山活動が明白な時系列を示すときには、例外なくそれに引き続き付近で大地震が発生して

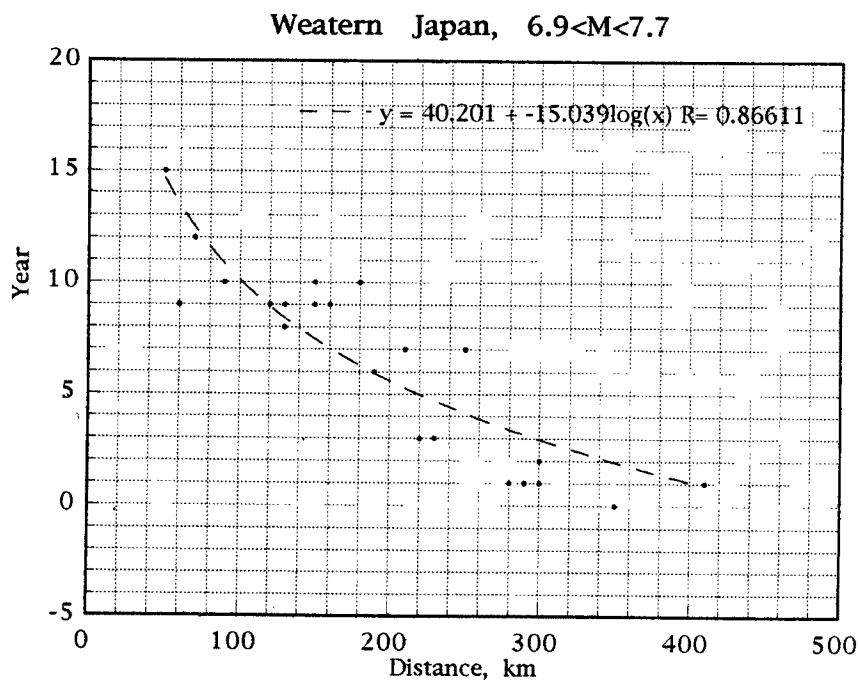


Fig. 6-2 Time-space relation between eruptions and large earthquakes ($7 \leq M \leq 7.6$) in Central Japan and Kyushu region.

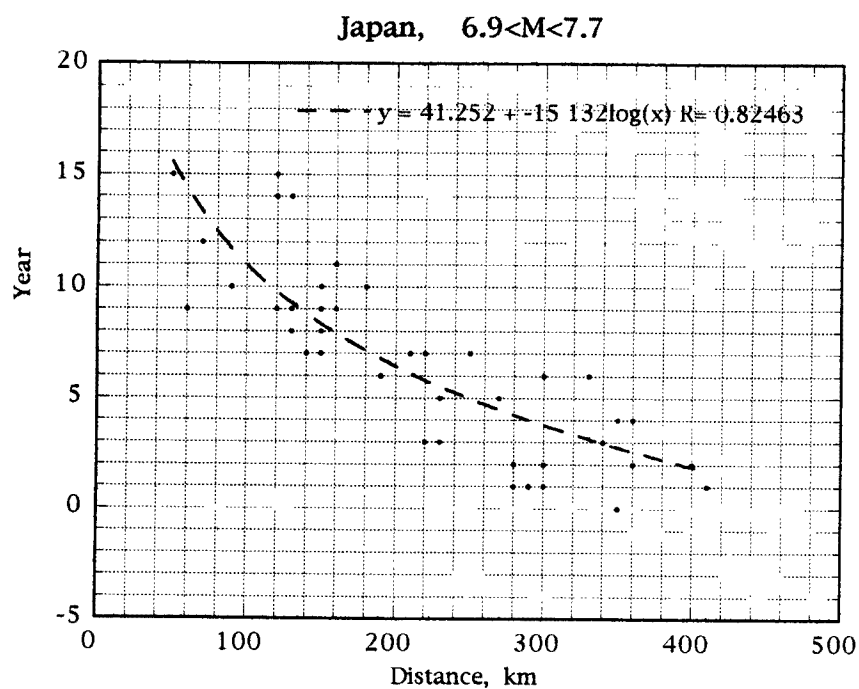


Fig. 6-3 Time-space relation between eruptions and large earthquakes ($M \leq 7.6$) in all Japan.

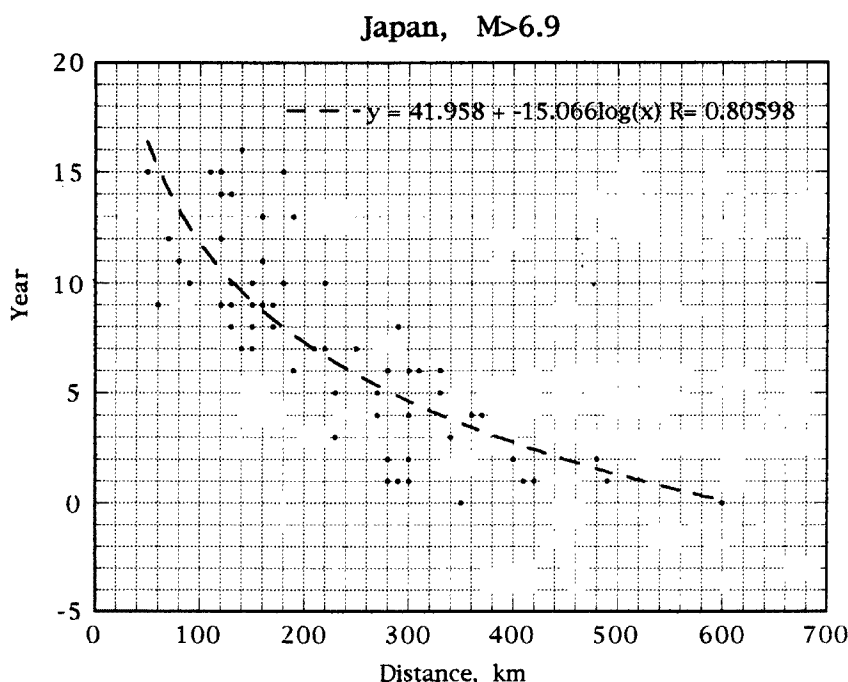


Fig. 7 Time-space relation between eruptions and large earthquakes large than M7.0 in all Japan.

きたことが明かとなった。しかし、その逆に大地震の発生があったからと言って、それに先だって火山活動が認められるとは言えない例もある。これまでの経過からみれば、本域の火山は、大地震について実に敏感な歪みの役割を果たしていると言ってよい。噴火が、大地震発生に先だって普遍的に行われていることが明らかとなれば、将来の大地震発生の予測に役立てることができよう。

3.3 地震発生後の噴火について

これまでとは逆に、地震に誘発されたように噴火が発生する例がある。それについても時・空関係を見出した。Fig. 8 (Table 3) にそれを示す。昔から地震と噴火について、関係ありとされたのは、大地震の前に噴火があるということよりも、大地震後の噴火についてであった。ところが本研究の結果、その例はあまり多くないことが示された。

Fig. 8 には、有史以降の $M \geq 7.5$ の地震の後に噴火があった場合をプロットしてある。これにより、地震から火山までの距離および噴火までの時間の関係をみると、かなりきれいな指数関数的な正の相関を示すことがわかる。すなわち、火山から近いところは地震後短時間で噴火が発生し、遠いところは時間がかかって噴火発生が認められるということである。これは、従来より指摘されているように、地震による震動あるいは波の影響により噴火が誘発された例なのであろう。地震から噴火発生までの時間は、100 km 以内であれば1年以内である。それより遠いところでもせいぜい数年以内である。これまでも指摘されていた、1707年の宝永南海地震と富士山噴火^{23), 24)}や、1605年地震と八丈島噴火の例²⁵⁾もこの曲線にフィットしている。ただし、1707年の地震については、各地の津波の高さを、安政東海津波とほぼ対比できる^{26), 27)}ことから、南海と東海の2箇所が発生したという立場をとり²⁸⁾安政東海地震の東海側の震源をそのまま用いた。このほか1973年の根室沖地震 (M7.4) と直結の爺爺岳噴火についても中村 (1975)²³⁾の指摘があったが、それも Fig. 8 の曲線にフィットする。

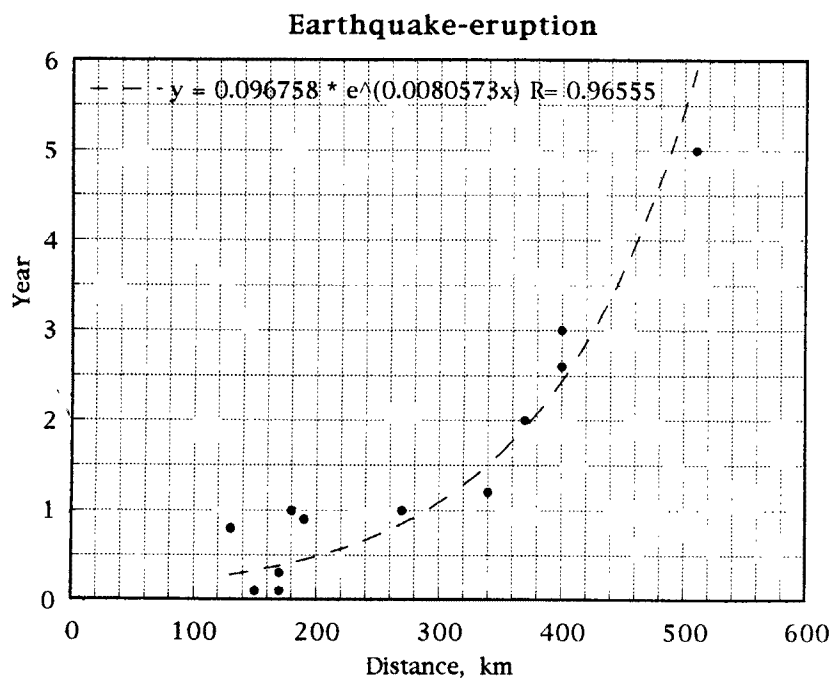


Fig. 8 Time-spase relation showing major eruptions preceded by larger earthquakes since historic ages.

Table 3. Eruptive activities preceded by large earthquakes

	Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	Hatizyozima	1605	1605 (7.9)	130	0.8
2	Nikko-Sirane	1649	1648 (7)	180	1.0
3	Kuzyusan	1663	1662 (7.6)	170	0.3
4	Huzisan	1707	1707 (8.4)	170	0.1
5	Esan	1843	1834 (7.5)	400	3.0
6	Bayonnais	1896 new island	1891 (8.0) Nobi	510	5.0
7	Izu-Oshima	1910	1909 (7.5)	190	0.9
8	Asamayama	1911	1909 (7.5)	340	1.2
9	Sakurazima	1914	1911 (8)	400	2.6
10	Bayonnais	1946 great erupt	1944 (7.9)	370	2.0
11	Tokatidake	1856	1857 (7.5)	270	1.0
12	Tiatidake	1973 great	1973 (7.4)	150	0.1

4. 考 察

4.1 メカニズム

マグマを上昇させる力は、基本的にはマグマに働く浮力であると考えられ、地殻浅部の密度がマグマより小さいために両者の密度が逆転する場所でマグマの滞留がおき、マグマ溜りが発生すると考えられる。このマグマ溜りから地表に向けてマグマが上昇するメカニズムは、大局的には、地殻応力の増大あるいは応力勾配によるマグマの絞り出しと、減圧による発泡によるマグマ浮力の増大の二つが考えられる^{29)~31)}。伊豆大島の内輪山である三原山の火口底にはしばしば赤熱の溶岩湖が出現する。これは地下のマグマ溜りに直接連絡して、準静水圧の平衡を保っているとみられる。溶岩湖の見えない時には、マグマ頭位は不明なわけであるが、長期的な目でみると、火口底は概略マグマ頭位の推移を示しているとみられる。中村 (1971)¹⁾は伊豆大島火山の噴火を、火口底の昇降という目でみると、両者の関係は地震発生に先立ち、テクトニック歪の進行によりマグマが絞り上げられた噴火例ではないかとの指摘を行った。そして、中村 (1975)²³⁾は、火山下のマグマ溜りを $1000 \sim 1 \text{ 万 km}^3$ と仮定すると、伊豆大島付近の地殻に 10 万分の 1 程度以下の体積変化があれば、地震前のマグマ頭位の上昇、地震後の低下は少なくとも定性的には支持されるとした。

今世紀に伊豆大島での大噴火は、1912~14 (明治・大正噴火)、1950~51 (昭和噴火)、1986 年と 3 回あった。三原山の火口底の上面がある高さ以上に達すると噴火がおこることはすでに指摘されているように⁷⁾、これら 3 回の大噴火についてすべてその数年以上前から火口底が上昇に向っている。そして相模トラフ付近で発生した大地震後火口底が下がっている。本域の大地震に着目すると、地震前の火口底＝マグマ頭位上昇は震源域を含んだ火山域にかかる広域圧縮応力の影響によりもたらされたと考えざるを得ない。したがって、この火口底 (＝マグマ頭位) の上昇は圧縮応力によりマグマが絞り上げられたものとみるのが合理的である。大島火山の南方 70 km に隣接する三宅島火山の近年あった噴火は、1874 年、1940 年、1962 年、1983 年の 4 回である。この 4 回の同火山の噴火時およびその後数年以内に、三原山の火口底が 100 m オーダーの上昇があった。また、伊豆大島の体積歪計で三宅島の噴火や地震活動の影響と考えられる歪変化が観測されている³²⁾。これらの変化は、相模トラフ付近に位置する両火山が同時に広域応力の影響を受けた変化を示していると解釈できる。

一方、日本列島付近で生じた地震より大島の地殻にかかる歪を計算することにより、それらの地震が大島のマグマ溜りを膨らます方向に働いたり縮める方向に働いていることが指摘されている³³⁾。地震による instantaneous な歪変化にやや遅れて火口底レベルに変化が表れる傾向がみられる³⁴⁾。一般に日本海溝や南海トラフで発生した大地震は、マグマ溜りを縮める方向に働き、したがって火口底を上昇させる。その様な地殻歪は南関東の土地傾動にも表れる。すなわち、日本付近のプレート境界での巨大地震が、一部を除いて南関東を一時的に圧縮変形させることが指摘されている³⁵⁾。1677 年、1909 年の房総沖の地震もこのようなタイプの地震ではないかと推定される。すなわち、1677 年地震の発生後は 7 年後の 1684 年に貞享の巨大噴火、1909 年地震後は 3 年後の 1912 年に大正の噴火を行った。後者については、その後の火口底の顕著な上昇との関係も認められる²²⁾。ただし、これは、地震発生に関する変化が直接伝わるものとは異なる。このような地震により、大島下に歪が蓄積される方向に働くというものである。ちなみに、1909 年地震の直接の影響は 1910 年の三原山の小噴火であろうと思われる。いずれにせよこれらにより大島下に圧縮応力の増大をもたらし、マグマ頭位上昇を促す役割を演じたと思われる。

1912 年の大島大噴火から 1923 年関東大地震発生までの時間と 1950 年大噴火と 1923 年房総沖地震発生までの時間は、火口底変化からはどのような意味をもつのであろうか。この時間差は、火山からの震央距離によって決定される。その間は、概略火口底レベルの高い時間に相当する。すなわち、この間は火山体下に圧縮応力がかかっている時期とみられる。そして、その力はどこからくるのであろうか。確かに、大地震を発生させる応力は広域的なものである。しかし、すでに述べたように相模トラフ周辺の複数の火山のそれぞれの主噴火時は周辺で発生する複数の大地震の位置関係によって決められている。このような関係は、それぞ

れの震源域からの圧力増加があると考え易い。そこで、噴火と大地震の時空関係は、その力が震源域からもたらされると考察されている²²⁾。

ここで問題なのは、噴火時期が次に発生する大地震によって規制されているという点である。これはどのように説明されるであろうか。太平洋プレートの西進およびフィリピン海プレートの北西進等により、既存断層（ここではプレートの境界にあたる）相模トラフに応力が集中する。その際まだ歪解放が行われていない所に応力の集中がおこる。これが将来大地震を発生する場所となる。そこから火山体方面に圧力が及び、マグマ上昇がもたらされ近い火山から次々と噴火させてゆくことになる。ここで、既存断層から周辺に圧力増大をもたらすようなメカニズムは明らかではないが、定性的には次のような効果が大きいと考えている。まず、応力集中により、差応力の増大域が、既存断層を中心として周辺に広がってゆく効果が考えられる。これに加え、既存断層付近の歪蓄積により、ダイレイタンスー現象が発生し、体積膨張の効果により、差応力増大域が遠方に拡大してゆくことになれば、その効果は増大すると思われる。そして、震源域に充分歪が蓄積されれば、そこで大破壊がおこって歪解放が行われるということになる。

4. 2 時系列的予測

Fig. 2 全体を通してみると、今世紀に入って、過去噴火活動が時系列的に整合性をもって行われた地域では、付近で必ず大地震の発生が行われてきたことが示されている。このことは、現在噴火活動の時系列が明らかな地域では、将来その付近で大地震発生の可能性が極めて高いことを意味している。過去の経験則により、等噴火年代線より将来地殻の大破壊が予想され、地域（震源域）が推測できる。それが**Fig. 2-7**に太い点線で囲まれて示された予想空白域である。それらは、1) 中央日本の日本海側、2) 南関東沖合から東海にかけての地域、3) 九州東方地域である。

まず最初に、中央日本の日本海側を中心とした地域についてみてみたい。**Fig. 2-7**より、当域の等噴火年代線で囲まれる範囲内で噴火時期を規制する圧力源、すなわち将来の震源域が求まる。そこより、火山から震央までの距離（震央距離）が求まる。そして、対応する代表的な火山の噴火年代、ここでは御嶽山のそれを基準として、それより何年遅れて他の火山が噴火したか求まる。これには、松代の群発地震活動のピークにあたる 1966 年が、火山活動のそれに関連する立場をとり加えてある。これが、従来の噴火—地震の時系列に対応するかどうかシミュレーションを試みる。ここでそれら火山活動の時系列を、東北日本の日本海側の噴火と地震の時・空の曲線にあてはめてみる。この場合は、地域的に近いということで、1964 年新潟地震（M7.5）と 1940 年の神威岬沖の地震（M7.5）より求めた時・空ダイアグラムの曲線を基準とした。そこへ御嶽山がたまたま、主要噴火年代を明確に示していることと、距離的に日本海曲線のデータと重なり得るということから、予想震央から同火山までの距離 80 km から Y 軸の時間を曲線から求める。すると大破壊は、御嶽山の噴火より 16 年後とでる。これにより、それに対応する御嶽山の基準時間軸を 16 年として、他の火山の噴火の時間的ずれをプロットする。これを日本海側のプロットと重ねたものが**Fig. 9-1** (**Table 4-1**) である。これによると、過去の噴火（グラフ中の黒丸）により求めた地震の時・空曲線とはかなり良い一致を示す。このことから、将来の震央を今ここで予想した地点に求めたことは一考に値することが示されているようにみえる。ちょうど震央が仮定された地域は、糸魚川—静岡構造線の北半部付近、Kimura (1981)¹⁸⁾の Central Japan Fault の北半部にあたり、一種のプレート境界になっている。

一方、中央日本の南部では、伊豆海嶺北部の火山活動が目立つ。1983 年三宅島、1986 年大島、1989 年手石海丘とほぼ 3 年ごとに噴火が北上してきた。これは、すでに見てきた規則性に基くと、前記の他の火山に比べて三宅島が一番近い所が圧力源とならなければならない。そこで、震央を想定してみると、この条件を満たす点は二ヶ所にくる (**Fig. 2-7**)。その圧力源は、1605 年の大地震（M7.5）の場合と酷似していて、一つは、相模トラフ中部 (**Table 4-2**) で、もう一つは銭洲海嶺付近に仮定される (**Table 4-3**)。前者と後者の震央からは、どちらも大破壊は伊豆大島の 1986 年噴火より 9 年後とでる。それに基づき、時・空ダイアグラムを作成した結果が**Fig. 9-2**と**Fig. 9-3**である。ただし、基準にとった曲線は、たまたま相模トラフ

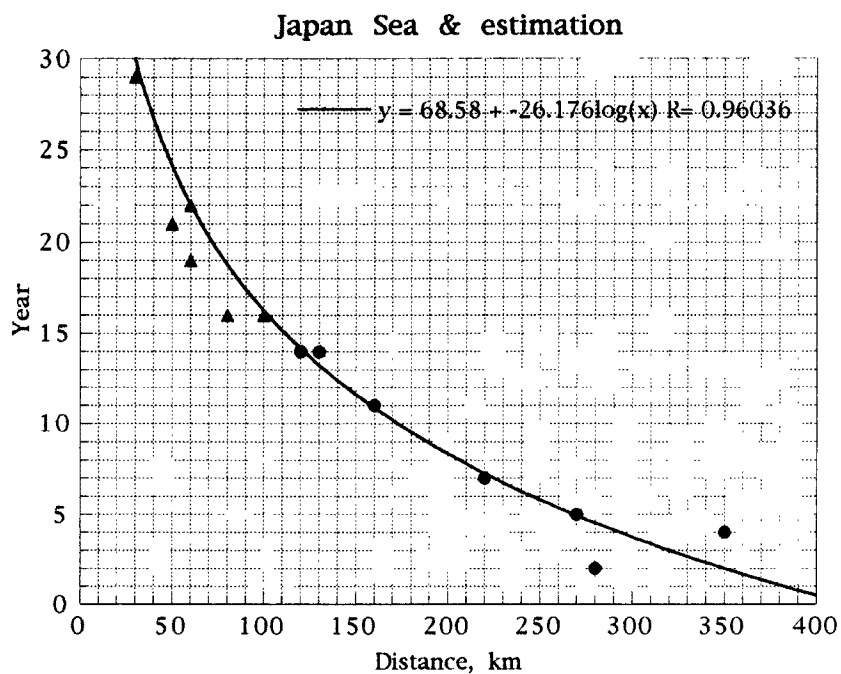


Fig. 9-1 Time-space relation in the Japan Sea side including estimated ones.

Table 4-1. Estimated time-space relation in northern Central Japan

		Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	Japan Sea side	Hokkaido-Koma	1935	1940 (7.5)	270	5
2	(M<7.7)	Siretoko-Io	1936	1940	350	4
3		Azuma	1950	1964 (7.5)	120	14
4		Adatara	1950	1964	130	14
5		Nasu	1953	1964	160	11
6		Niigata-Yakeyama	1962	1964	280	2
7		Akita-Yakeyama	1957	1964	220	7
1	(estimation)	Minakamiyama	1966	1997 (7-7.5)?	30.0	29
2	N central Japan	Asamayama	1973	1997?	60.0	22
3	(36°30'N, 137°50'E)	Niigata-Yakeyama	1974	1997?	50.0	21
4		Kisatu-Sirane	1976	1997?	60.0	19
5		Ontakesan	1979	1997?	80.0	16
6		Hakusan	1979	1997?	100	16

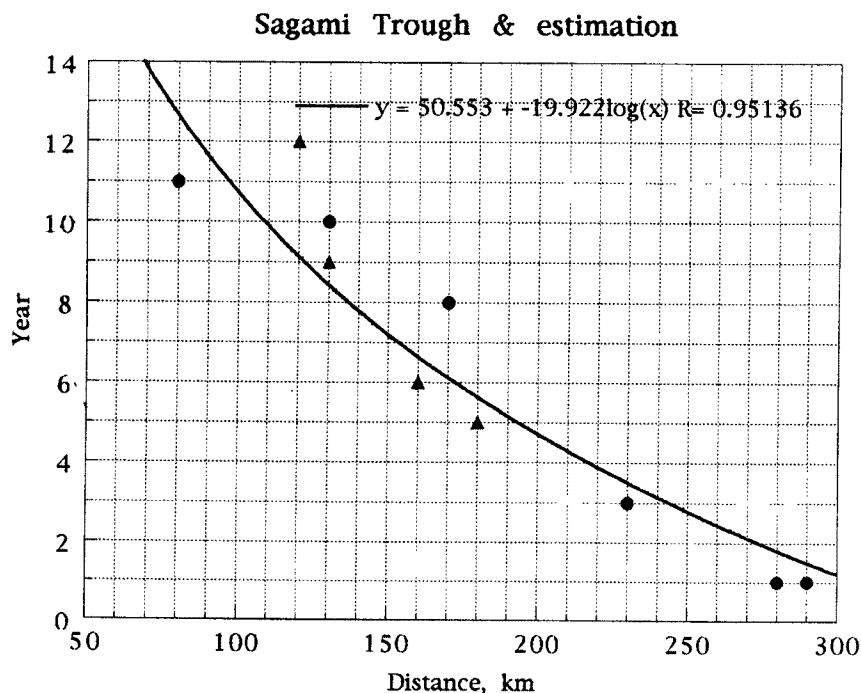


Fig. 9-2 Time-space relation along the Sagami Trough region including estimated one.

Table 4-2. Southern central Japan. An epicenter is estimated in the middle Sagami Trough region

		Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	Sagami Trough	Izu-Oshima	1912	1923 (7.9)	80	11
2	(M>7.3)	Asama	1913	1923	130	10
3		Yakedake	1915	1923	170	8
4		Izu-Oshima	1950	1953	230	3
5		Bayonnais	1952	1953 (7.4)	290	1
6		Hakone	1953	1953	280	1
1	(estimation)	Miyake	1983	1995 (7.4-7.9) ?	120	12
2	34°25'N, 140°45'E	Izu-Oshima	1986	1995 ?	130	9
3	mid Sagami Trough	Teisi	1989	1995 ?	160	6
4		Hakone	1990	1995?	180	5

付近で発生した1923年関東大地震 (M7.9) と1953年房総沖地震 (M7.4) である。この両者は、小論では、巨大地震とそれ以外の大地震とに分けて議論されたものであるが、現在の伊豆海嶺上の噴火時系列はこの曲線上に一番フィットしている。すでに述べたように、Mでの分け方はあくまでも便宜的なものであることを示しているのかもしれない。

ここで、まず相模トラフの圧力源についてみてみよう。大地震発生の時系列を見てみると、1600年代は、

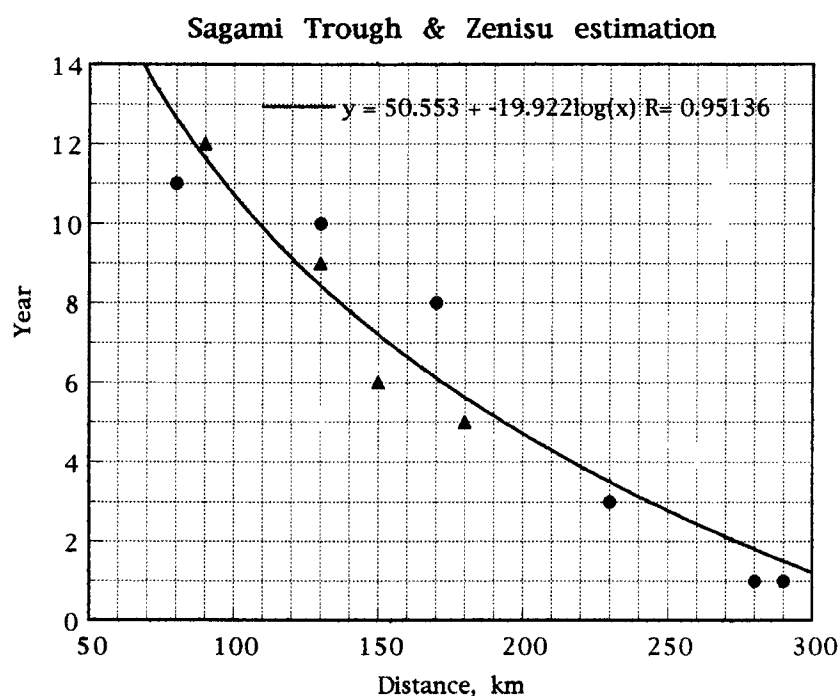


Fig. 9-3 Time-space relation in Zenisu Ridge region including estimated one.

Table 4-3. Eruptions and related earthquakes estimated in the Zenisu Ridge region

		Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	Sagami Trough	Izu-Osima	1912	1923 (7.9)	80	11
2	(M>7.3)	Asama	1913	1923	130	10
3		Yakedake	1915	1923	170	8
4		Izu-Osima	1950	1953	230	3
5		Bayonnais	1952	1953 (7.4)	290	1
6		Hakone	1953	1953	280	1
1	(estimation)	Miyake	1983	1995 (7.4-7.9) ?	90.0	12
2	33°40'N, 138°45'E	Osima	1986	1995 ?	130	9
3	Zenisu Ridge	Teisi	1989	1995 ?	150	6
4		Hakone	1990	1995 ?	180	5

相模トラフの東半部の活動であった。1703年の元禄地震は、西半部での活動と言える。その活動後、1700年代、1800年代は巨大地震が発生せず、小型のM7前後の地震が小田原付近で多発した。これはトラフ西端の活動とみられる。今世紀に入り、1923年の関東大地震で西端が大きく割れた。これで西端の歪が解放されたように見え、その後の中～大地震は、伊豆半島以南で発生している。それら地震活動からは、相模トラフ東半部への応力集中が示唆される。そこで、今世紀の例をもう少し詳しく見てみると、1909年に相模

トラフ東端付近の歪が解放され、次で西端で 1923, 1930 年地震で歪解放が行われたことがわかる。次で 1972 年、東端の歪が解放された。その結果、その中間にあたる、1923 年関東大地震と 1953 年房総沖地震との間の地域が歴史地震的には空白域（いわゆる第 1 種空白域）となっている。最近 20 年間ほどの通常地震活動からは、当域を中心としてその周辺の地震活動が活発となっていることが指摘されている³⁶⁾ので、それは第 2 種空白域とみなして良いかもしれない。そこは、ちょうど、1605 年地震の震源^{28), 37)}と重なるようにみえる。一方、銭洲海嶺の方はどうか。ここでは、1605 年に大地震が発生したとされる以外、これまで大地震発生が知られていない所である。したがって、第 1 種空白域についてもその認識のむずかしい所である。ただし、通常地震活動からは第 2 種空白域の可能性も否定できない状況ともとれる。

以上のように、最近の伊豆海嶺上の噴火時系列からみるかぎり、房総沖の空白域が圧力源となっているようにも、銭洲の方が圧力源となっているようにもみえる。したがって、火山活動との対応からみると、そのどちらかあるいは両方が圧力源ということになる。そもそも、相模トラフ中部の現在空白域があると推定される所は、1605 年の地震が起きたとされる所に近い。その 1605 年には、銭洲の方でも大地震が発生したとされる。その地震の前に伊豆大島と三宅島が噴火していて、その時・空関係は、現在と同じようにどちらにも整合的な対応が示されている。したがって、今回も 1605 年とほとんど同じようになる可能性も否定できない。また最近では、1605 年地震は相模トラフの方より銭洲の方が強調されている面もある¹⁴⁾。

次に九州方面について考察してみたい。九州では、震源域はその東方海域に推定される (Fig. 2-7, Table 4-4)。九州では、噴火と対応が示された地震はすべて九州東方海域のものであるので、九州全体のそれを基準曲線として用いた。それによれば、大破壊は雲仙の 1991 年噴火より 7 年後とでる。九州の時・空曲線に最近の時系列を重ねたのが Fig. 9-4 である。これも過去のものとの整合的にみえる。九州の場合も、噴火があると必ずその後大地震が伴ってきた。時としてここでは、雲仙と桜島大噴火が良いメルクマールとなる場合がある。阿蘇や霧島、トカラ硫黄島、口之永良部島等もなかなか良く対応している。ただし、相模

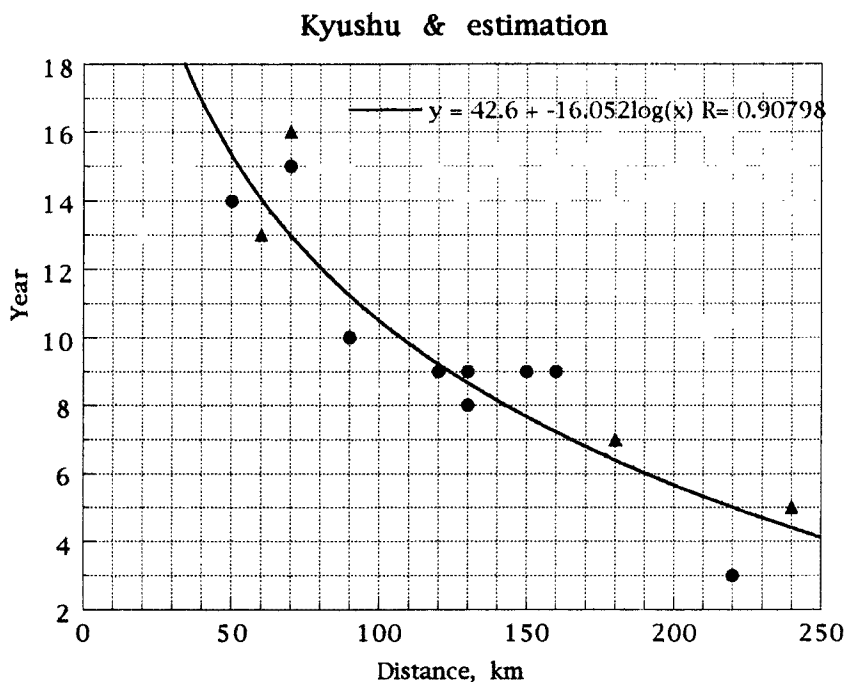


Fig. 9-4 Time-space relation in Kyushu including estimated one.

Table 4-4. Eruptions and related earthquakes estimated in the Kyushu region

		Volcano	Eruption	Earthquake	Distance, km	Year
1	Kyushu	Kirisima	1895	1909 (7.6)	50	14
2	(M<7.7)	Aso	1894	1909	70	15
3		Sakura	1899	1909	90	10
4		Kutinoerabu	1906	1909	220	3
5		irisima	1914	1923 (7.1)	150	9
6		Sakura	1914 lava flow	1923	120	9
7		Kutinoerabu	1914	1923	160	9
8		Nakanosima	1914	1923	130	9
9		Suwanose	1915	1923	130	8
10		Unzen	1922 swarm	1923	410	1
11		Kutinoerabu	1931	1941 (7.2)	250	7
12		Aso	1958	1968 (7.5)	150	10
13		Kirisima	1959	1968	60	9
14		Kutinoerabu	1966	1968	300	2
1	(esrimation)	Sakurazima	1985 mud flow	1998 (7.1-7.6)?	60	13
2	31°20'N, 131°10'E	Kirisima	1982 sulfur flow	1998 ?	70	16
3	off eastern Kyushu	Unzen	1991 lava flow	1998 ?	180	7
4		Aso	1989	1998 ?	170	9
5		Suwanosezima	1993	1998 ?	240	5

トラフに対する伊豆大島のようにほぼ全大地震に対応して大噴火を行っているような都合の良い火山はまだ明らかとなっていない。また阿蘇山や霧島火山などは、どの噴火がP₂の噴火であるのかなかなか区別がつきにくい場合もあり、どの噴火を採用するかむずかしい点もある。現在、桜島の巨大噴火があり1991年には雲仙普賢岳の巨大噴火があり、歪蓄積が大きくなされていると推定される。これに対し、過去に1663年の雲仙噴火に対応して、1662年の日向灘地震 (M7.7) が発生した例があることは示唆的である。

5. ま と め

- 1) 今世紀の日本列島でみるかぎり、火山活動の時系列がはっきりとしている地域では、必ずそのあと付近の所定の位置で大地震 (M $\geq$ 7.0) が発生していることが明らかになった。
- 2) 日本の大地震には、噴火前に発生するものと後のものがある。しかし、数の点で噴火後に大地震という関係を示す例が優っている。
- 3) 噴火と地震の前後関係は、応力場の変化と密接に関係する。一般的には、噴火後付近に圧力増大が起こり大地震が発生するということになるが、震源場所によっては、大地震発生後に圧力増加及び噴火が行われる場合がある。
- 4) 主要噴火と大地震の時・空関係については、日本のM $\geq$ 7.7の地震についてみると、噴火から大地震までの時間 T と、火山から震央までの距離 D との間には、日本列島全体で平均的に

$$T=50.61-18.17 \log D$$

という関係が認められた。これは、火山が地震域に対してどのような位置にあるかということにより、噴

火活動が規制されることを示している。

- 5) 火山活動からみるかぎり、現在中央日本の日本海側や太平洋側そして九州東方方面に地殻歪の蓄積が行われていることが示唆される。

謝 辞

小論作成の準備段階にあたり、石川有三、石橋克彦、吉井敏尅氏らには震源データについて御教示いただいた。さらに、小論公表の機会を与えて下さった安藤雅孝氏らには紙面をもって謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 中村一明：地殻歪の指示者としての火山－火山のテクトニクス例一。火山，第 2 集，第 16 卷，1971，63-71.
- 2) Kanamori, H. : Relation between tectonic stress, great earthquake and earthquake swarms. Tectonophysics, Vol.14, 1972, 1-12.
- 3) 木村政昭：相模湾周辺に発生する巨大地震予知に関する考察。地学雑誌，第 82 卷，1973，171-188.
- 4) Kimura, M. : Major magmatic activity as a key to predicting large earthquakes along the Sagami Trough, Japan. Nature, Vol.260, 1976, 131-133.
- 5) 木村政昭：噴火と大地震，東大出版会，1978，187P.
- 6) 木村政昭：伊豆大島および三宅島火山の活動の規則性，火山，第 2 集，第 28 卷，1983，160-162.
- 7) Tsuya, H. Okada, A. and Watanabe, T : Evolution of Mihara Volcano Oshima, Izu, in the course of its activities since 1874. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol.34, 1956, 33-59.
- 8) 森本良平：歴史時代における伊豆大島の噴火活動の概観，火山，第 2 集，第 3 卷，1958，S17-S38.
- 9) Nakamura, K. : Stratigraphic studies of the pyroclastics of Oshima Volcano Izu, deposited during the last fifteen centuries. (3). Activity of parasitic volcanoes. Scientific papers of the College of General Education, Univ. Tokyo, Vol.11, 1961, 281-319.
- 10) Nakamura, K. : Volcano-stratigraphic study of Oshima Volcano, Izu. Bull Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, Vol.42, 1964, 649-728.
- 11) 中村一明：伊豆大島火山の噴火史。科学，第 33 卷，1963，141-319.
- 12) Isshiki, N. (1964) : Oshima Volcano. Guidebook for Excursion 2, Geological Survey of Japan. 24p.
- 13) 上杉 陽：富士火山のテフラ層序学的噴火予測。第四紀研究，第 32 卷，1993，271-282.
- 14) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧。東大出版会，1987，434P.
- 15) 勝又 護 (ed.) : 地震・火山の辞典，東京堂，1993，318p.
- 16) 浜田信生：1923 年関東地震の震源の深さについて。験震時報，第 50 卷，1987，1-6.
- 17) 早川由起夫：噴火マグニチュードの提唱。火山，第 2 集，第 38 卷，1994，6-223-226.
- 18) Kimura, M. : A new view of the Fossa Magna in central Japan. Bull College Sci., Univ. Ryukyus, No.31, 1981, 55-60.
- 19) 木村政昭：伊豆海嶺北部の活構造。日本地質学会第 95 年学術大会講演要旨，1988，222.
- 20) Seno, T. : Stein, S and Gripp, A: A mode for the motion of the Philippine Sea Plate consistent with NUVEL-1 and Geological data, J. Geophys. Res., Vol.98, 1993, 17941-17948.
- 21) Kimura, M. : Significant eruptive activities related to large interplate earthquakes in the north-western Pacific margin. J. Phys. Earth, Vol.26, 1978, S557-S570.
- 22) 木村政昭：地殻歪の指示者としての火山，地学雑，第 103 卷，1994，25-34.

- 23) 中村一明：火山の構造および噴火と地震の関係。火山，第2集，第20巻，1975，S229-S240.
- 24) 都司嘉宣：富士山の噴火－万葉集から現代まで－。築地書店，1992，259P.
- 25) 宇津徳治：地震学，共立出版，1984，310p.
- 26) 羽鳥徳太郎：静岡県沿岸における宝永安政東海地震の津波調査。東大地震研彙報，第52巻，1977，407-439.
- 27) 飯田汲事：明応地震・天正地震・宝永地震・安政地震の震害と震度分布。愛知県防災会議地震部会，1979，1-109.
- 28) 相田 勇：東海道沖におこった歴史津波の数値実験・東大地震研彙報，第56巻，1981，367-390.
- 29) 井田喜明・山岡耕春・渡辺秀文：マグマ後退期の火山活動の発生機構－1986年12月以後の伊豆大島火山噴火の解釈。東大地震研彙報，第63巻，1988，83-200.
- 30) 井田喜明：火山噴火が開始する条件，火山，第2集，第35巻，1990，299-312.
- 31) 小山真人・吉田 浩：噴火量の累積変化からみた火山の噴火史と地殻応力場，火山，1994 (in press).
- 32) 澤田可洋，福井敬一，佐藤 馨，二瓶信一，福留篤男：三宅島噴火前後に伊豆大島の体積歪計で観測された特異な現象。火山，第2集，第29巻，1984，S141-S152.
- 33) Yamashina, K. and Nakamura, K. : J. Volcanol. and Geotherm. Res., Vol.4, 1978, 133-250.
- 34) 木村政昭：噴火の規則性－伊豆大島・三宅島－，火山，第2集，第33巻，1988，S319-S329.
- 35) 藤田尚美：地震予知連絡会発足のころ。測量，12月号，1985，27-31.
- 36) 木村政昭：これからおこること。青春出版社，東京，1994，217P.
- 37) 渡辺偉夫：日本被害地震総覧，東大出版会，1985，206p.