北海道南西部の群発地震活動

北海道大学理学部地震予知観測地域センター 本 谷 義 信

(昭和 55 年 12 月 13 日受理)

On Earthquake Sequences in the Oshima Peninsula, Southwestern Part of Hokkaido

Yoshinobu MOTOYA

Research Center for Earthquake Prediction, Faculty of Science,
Hokkaido University

(Received December 13, 1980)

Some features on earthquake sequences occurred in the Oshima peninsula, southwestern part of Hokkaido are appreciated in this paper. First data on rather remarkable earthquake sequences for 1900-1980 were briefly summarized, then recent microearthquake series observed by a new seismic network of the Research Center for Earthquake Prediction (RCEP), Hokkaido University, were studied.

Seismicity near the ESH station during the period from July 1976 to October 1978 was investigated in detail. While seismic activity was low in the first one year, it became high and 8 series of earthquakes were recognized in the last two years. A premonitory seismic activity which may be closely associated with the forthcoming main earthquake sequence was found in some cases. It has been pointed out that the pattern of earthquake sequences is classified into three types: main shock-aftershock series, foreshock-main shock-aftershock series and swarm, and that high degree of fracturing in mechanical structure of the uppercrust in the Oshima peninsula is deduced from the frequent occurrence of earthquakes preceded by foreshocks and earthquake swarms. However, the 8 sequences investigated showed not only typical swarm type but also other types, including transient or complex ones. Time series pattern of events in the sequences was examined with relation to variation of locations, magnitudes, amplitude ratios of P and S waves, waveforms and so on. The examination shows that there is no common characteristic between the above parameters and the sequence type. Complicated features of earthquake sequences may imply that the degree of stress concentration which may be attributed to heterogeneity in mechanical structure of the uppercrust is different even in a limited region in the Oshima peninsula.

It has been proposed that there is a tectonic line along the northeastern margin of the Oshima peninsula, connecting two active volcanoes, Komagatake and Esan. Earthquakes occurring in the part from Komagatake to ESH may be related to this tectonic line, while no seismic evidence was found in the part from ESH to Esan.

§1. はじめに

群発地震はそれだけで大規模な地震被害を出すことはあまりないが、局地的にせよ有感地震が頻発すると人心不安をひき起し社会的関心をあつめることがあるし、火山噴火や大地震の発

昭和 53 年 10 月 11 日発表

生との関連が考えられることもあるので、その特性を解明することは重要である。

北海道南西部は群発地震がよく起る地域として知られているので、ここに発生した群発地震に関する資料を整理し、最近渡島半島で観測されたいくつかの微小群発地震について調べたので報告する。

§ 2. 過去 80 年間の群発地震活動

北海道内陸部の群発地震に関する資料収集〔鈴木雄次（未刊行資料）；久保寺他（1980）〕の結果によれば、渡島半島を含む北海道南西部は北海道では群発地震の最も頻発する地域である。地震の発生様式を「本震—余震」型、「前震—本震—余震」型、「群発」型に分類することがよくなされるが、ここでは本来の群発型のみならず、時間的・空間的にまとまって発生した地震を群発性地震としてとりあげることにした。調べた期間は資料が比較的良好に整備されはじめた 1900 年からで、用いた資料の主なものは、北海道気象月報（北海道庁）、気象要覧（気象庁）、北海道地震火山月報（札幌管区気象台）である。古い時代と近年の資料を統一的に扱うために、経験的に次の規準を設定した。① 2 日以内に 2 回以上地震が発生した期間を含むこと、② 1 カ月以内に次の地震が発生しなければ活動終息とみなすこと、③ 活動期間全体の地震数が 5 回以上であること、④ 2 回以上の有感地震を含むこと。

この規準により探し出された地震群を Table 1 に、その活動域を Fig. 1 に示す。ここには主な群発地震だけをとりあげた久保寺他（1980）の表よりさらに多くの地震群が含まれている。古い時代の地震群については個々の地震の大きさについての情報が少ないため「前震—本震—余震」型か「群発」型かの区別をつけにくいものが多かったので、ここではこの両者を一括して、「本震—余震」型との区別だけを示すことにした。地震群はこの地域に一樣に分布しているのではなく、時間的にも空間的にもかなりまとまって発生していることがわかる。とくに、渡島大野から厚沢部町館にかけての地域で 1929 年からの 10 年間には地震群の集中がきわめて著しい。1934 年の八雲町大関（現在の上八雲）、38 年の渡島大野、53 年の熊石、の各地震群は活動の途中で②の規準を満す期間があるので、Table 1 では 2 群に分けて示してある。このような地震群は一度活動が終つたかに見えるので、その後の活動の見通しをたてる上で注意が必要になる。

また、ここで採用した地震群の規準には達していないが、1961 年 4 月から 11 月までの 8 カ月間に江差付近で 8 回の有感地震が発生している。さらに長い期間にわたって散発的に地震の発生している所もあり、このような地震活動として宇津（1968）は、(1) 1955～67 年の松前付近、(2) 1955～67 年の江差—木古内の間、(3) 1953～67 年の函館北方、の各地震活動

Table 1. Earthquake sequences in the southwestern part of Hokkaido for 1900-1980.

No.	Period	Region name	N	I	Remarks
1	1910 July 21-Dec. 24	Usu volcano	>1000	III	Usu eruption on July 25.
2	1919 May 05-Nov. 05	Matsumae	>100	V	Komagatake eruption on June 17 (a).
3	1929 Jan. 20-Jan. 21	Tokushunbetsu	15	III	M-A.
4	1929 Jan. 21-late May	Tate, Attusabu	>100	V	M-A. Komagatake eruption on June 17 (a).
5	1929 June 16-Dec. 10	Komagatake vol.	60	III	Komagatake eruption on June 17 (a), (b).
6	1931 Nov. 08-Nov. 14	near Hakodate	5	III	M-A.
7	1931 Nov. 16-Dec. 14	Tate, Attusabu	5	IV	
8	1931 Dec. 09-Dec. 27	Matsumae	6	V	
9A	1934 Mar. 25-Apr. 08	Daikan, Yakumo	30	II	premonitory swarm } M-A. main series }
9B	1934 May 31-June 01	ditto	50	IV	
10	1935 Aug. 22-Aug. 28	Mobetsu, Kamiiso	15	III	M-A.
11	1937 June 24-June 28	Tate, Attusabu	5	V	M-A. other III events: 9/13, 12/26.
12A	1938 Jan. 03-Jan. 05	Oshima-Oono	8	III	other III events: 7/05, 9/16(1938), 11/23, 12/06(1939). M-A.
12B	1938 Apr. 06-May 03	ditto	15	III	
13	1938 Dec. 21-Dec. 28	Tate, Attusabu	5	III	
14	1939 May 10-June 08	Oshima-Oono	6	IV	
15	1943 Dec. 28-44 Sept. 25	Usu volcano	>1000	IV	Usu eruption on June 23, 1944 (c).
16	1951 Jan. 31-Feb. 15	Esashi	13	III	premonitory swarm } main series }
17A	1953 May 07-May 25	Kumaishi	10	III	
17B	1953 June 29-July 17	ditto	21	V	7/14 M 5.4, landslide.
18	1954 May 12-May 16	off Kikonai	2	III	5/12 M 5.2(F-M-A), 7/31 M 4.8, 10/16 M 4.4.
19	1955 Jan. 28-Jan. 29	Volcano bay	2	III	M-A. M 5.1.
20	1957 May 12-June 11	Okushiri Is.	4	II	5/30 M 5.0.
21	1966 Jan. 02-Jan. 08	Tarumae volcano	6	III	Tarumae no surface activity.
22	1966 May 11-July 29	Namarikawa mine	170	IV	small landslide, 5/27 2334 M 3.7, 5/28 0001 M 3.7.
23	1967 Dec. 08-Dec. 31	Komagatake vol.	2	II	Komagatake no surface activity.
24	1969 Oct. 14-70 Mar. 11	Mt. Yokotsudake	4	III	
25	1977 Aug. 06-	Usu volcano	>20000	III	Usu eruption on August 07.
26	1978 Oct. 23-	off Hakodate	37	III	

No. is the same as in Fig. 1. N; total number of felt earthquakes. I; maximum seismic intensity in JMA scale.
Sequence remarked with M-A is main shock-aftershock series and other is foreshock-main shock-aftershock series or swarm.

(a) Komagatake erupted by chance in the same day in 1919 and 1929.

(b) Only two earthquakes occurred before the eruption.

(c) A new volcano, Showa-shinzan was born in the following volcanic activity.

Fig. 1. Earthquake sequences in the southwestern part of Hokkaido for 1900-1980. No. is the same as in Table 1. MA, S, and N mean main shock-aftershock series, foreshock-main shock-aftershock series or swarm, and total number of feltshocks, respectively. T, U, K, and E show active volcanoes, Tarumae, Usu, Komagatake, and Esan in the order named.

を指摘している。函館北方については、67年に駒ヶ岳、69～70年に横津岳付近に群発地震 [戸松 (1971)] が発生しており、その後も散発的な地震活動が続いている [笠原 (1978)]。

§ 3. 最近の地震活動

1) 渡島半島の微小地震活動

北海道大学理学部の地震予知観測地域センター (略称 RCEP) のテレメータ方式による地震観測が 1976 年 7 月に開始された。その観測とデータ処理方式についてはすでに報告されている [KASAHARA (1976); 前田他 (1978)] が、渡島半島には茅部郡南茅部町尾札部に恵山観測点 (観測点コード ESH, 東経 $141^{\circ}00'40.3''$, 北緯 $41^{\circ}53'03.2''$, 高度 40 m) が設置されている。この観測点だけで渡島半島全域の地震活動を詳細に把握することは出来ないが、観測点近傍の地震活動の様子はかなり明らかにされつつあるので以下にそれを示す。

RCEP のルーチン観測の資料を用いて、ESH で $S-P$ 時間が 5 秒以内の地震だけを取り

Fig. 2. Temporal variation of daily number of earthquakes with $S-P$ time less than 5.0 sec at ESH. When many events occurred in a sequence, their representative $S-P$ time is shown with an underlined numeral. Detailed data on these sequences are given in Table 2 (except for the one on January 12, 1978). Another paper on Hakodate earthquake swarm will be prepared.

あげた。これは ESH を中心とする半径およそ 40 km の円の範囲内の浅い地震を調べること
に相当し、もれなく検知される地震の M の下限は 1.5 程度である [鈴木・笠原 (1979)]。地
震の日別発生頻度を Fig. 2 に示す。かなり短い時間に明瞭に群をなして地震が発生した場
合には、その群の代表的な $S-P$ 時間の値を記入してある。1976 年 7 月の観測開始以来約 1
年間の活動は比較的静かであつたが、その後は群発地震活動もみられるようになり、活動はあ
きらかに活発になつたことがわかる。ここに示した最後の群発地震活動は 1978 年 10 月 8 日
のものであるが、この活動が収まつた 15 日後の 23 日から函館付近に発生しはじめた微小地
震は顕著な群発地震に発展し、1980 年 10 月現在でもその活動は終息していない。この函館
群発地震に関しては函館市周辺に展開した臨時多点観測網による地震観測が行なわれており、
速報的な結果 [北海道大学理学部 (1980)] と活動初期の報告 [高波他 (1980)] が出されている
が、活動全般にわたる結果はあらためて報告する。

2) ESH のデータ処理と観測された微小地震群

RCEP のルーチンデータ処理はペン書き記録上でトリガーレベルを超えた地震について行
なわれているが、高密度磁気テープに連続収録されている原データを用いることにより、ルー
チンで処理されるより小さな地震まで含めて波形処理も行なうことが出来る。Fig. 2 で $S-P$

Table 2. Earthquake sequences observed at ESH during the period from 1977 to 1978.

No.	Date	N	Duration	S-P	M ₀	Type	t-n pattern*	Remarks
1 ^A B	1977 June 15-18	25	3d 5h	0.50-0.54 0.83-0.86	2.68	F-M-A		(1)
2	1977 Oct. 20	9	5m	1.85-1.90	0.69	M-A		
3	1977 Nov. 29	17	23m	1.85	0.70	F-M-A		
4	1978 Jan. 01	6	2m	1.85-1.83	0.80	F-M-A		
5	1978 Jan. 06	17	10m	1.81-1.87	0.32	S		(2)
6	1978 Mar. 18-21	97	2d19h	0.82 1.01-1.11	3.28	S		(3)
7	1978 Apr. 28	7	1h30m	1.04 1.50-1.51	2.50	F-M		
8	1978 Oct. 8-9	24	7h	3.48-3.52	1.80	S		

No. is the same as in Fig. 3. N; number of shocks in each sequence. M₀; magnitude of the largest event. F; foreshocks M; main shock. A; aftershocks. S; swarm. *Temporal variation of shocks is shown schematically and dashed part is a premonitory activity.

(1) An event of seismic intensity I (JMA scale) is included. (2) Amplitudes of all events are under the RCEP routine trigger-level. (3) Two events of intensity I are included. Type may be divided into (M-A), (M-A), and (F-M-A).

Fig. 3. Location of seismic events in the eastern part of the Oshima peninsula. Hatched ellipse with the same No. as in Table 2 shows an earthquake sequence. Location of the sequence No. 5 is unknown. Open circle shows a single earthquake. These locations are estimated from azimuth and dip angle of incident seismic waves and S-P time at one station ESH (cross).

時間を記入してある地震活動のうち 1978 年 1 月 12 日の活動を除く 7 回の活動と、すべてトリガーレベル以下であつたが原データを利用出来る 1978 年 1 月 6 日の活動を加えた、計

Table 3. List of microearthquakes before and after the main shock on June 16, 1977.

Time	Initial motion			Max. Amp.		<i>S-P</i>	<i>A</i> ₂	<i>F-P</i>	<i>M</i>	Remarks
	U	N	E	P	S					
15 ^d 09 ^h 01 ^m	+81	-47	-95	358	358	0.54 ^s	20		-0.96	premonitory swarm
11 14	+35	-23	-23	135	113	0.54	14		-1.20	
11 15	+iP	-iP	-iP			0.50	46		-0.46	
12 36	+95	-68	-88	318	412	0.50	54		-0.40	
23 35	+1026	-324	+351			0.86	594	15.5 ^s	0.83	
16 02 08				540	432	4.2		12.0	0.48	other swarm
02 08				243	81	4.4		8.5	0.01	
02 30				648	432	4.2		16.1	0.88	
04 39				146	270	0.8-		2.0	-1.92	
07 11	+284	-95	+135			0.86	95		-0.05	single event
08 17	+68	-18		162	203	0.85	14		-1.20	
14 30	+567	-176	+189	1296	1836	0.85	135	13.8	0.67	
15 18	+95	-24	+16			0.83	30		-0.75	
17 18	+23	+ ?	+18	103	130	1.82	130			
19 47	+108	-20	+20	223	493	0.86	41		-0.55	
20 38	+iP	-iP	+iP			(0.84)			2.68	
20 40	+19	- 8	+ 7	45	93	0.86	5	1.6	-2.28	
20 48				trace	95	(0.85)	3	trace	-2.16	
20 53	+15	- 5		68		0.85	36	4.1	-0.99	
23 03	+48	-14	+12	105	127	0.86	8	2.8	-1.59	single event
17 00 02	+ 9	- 3	-11	22	108	0.83	5	2.2	-1.84	
00 18	+24	-14	+12	74	250	0.84	7	3.0	-1.42	
01 51	+500	-230	+257			0.86	230	12.0	0.48	
02 09	+88	-27	+27	203	405	0.86	17	3.8	-1.09	
02 20	+389	-70	+92	918		0.85	108	10.2	0.26	
06 12				43	97	0.8-		4.8	-0.77	
14 37				146				9.-	-0.09	
18 04 32		-20		41	46	0.83	20		-1.96	
12 28	+34		+34	270	149	3.27				
13 46	+105	-26	+24	203		0.84	68		-0.26	

Unit of amplitude is μ kine. *A*₂ is amplitude of UD component after 2 seconds from P arrival time. Magnitude *M* is roughly estimated from *F-P* and/or *A*₂.

8 個の地震群について、各群の活動様式、空間分布、規模別分布、振幅（波形）の時間変化などについて調べた。これらの地震群には RCEP 観測網で震源決定が出来るほど大きな地震は含まれていなかったため、ESH 1 点の 3 成分記録から得られる P 波群の方位角と入射角 [前田 (1978)] に *S-P* 時間を組合せて震源域を推定した。調べた地震群を Table 2 に、その活動域を Fig. 3 に示す。なお、いくつかの単発地震の位置も Fig. 3 に入れてある。

3) 各地震群の特徴

Table 2 の地震群についてその特徴をのべる。以下では、1 つの地震群中の地震をマグニチュードの大きい順に $M_0, M_1, M_2, \dots$ として示す。

(1) 1977 年 6 月 15 日～18 日の地震活動

1977 年 6 月 16 日 20 時 38 分に南茅部町できわめて局地的な有感地震が発生した。 $M_{\text{km}} = 2.7$ の微小地震であつたが、海岸沿いに約 10 km にわたつて急激な地震動と振動音を感じている [高波他 (1977)]。この地震の前後の 6 月 15 日から 18 日までに ESH で観測された S - P 時間 5 秒以下の地震の観測結果を Table 3 に示す。20 時 38 分の有感地震には顕著な前震活動と余震活動があり、17 日 00 時 02 分の地震以外はすべて、初動方向からみて ESH の北西側に震源域があつたことがわかる。前震と余震の S - P 時間は 0.83~0.86 秒の範囲にあり分布幅は 0.03 秒しかないから震源域の拡がりには 300 m を超すことはないであろう。15 日には S - P 時間が 0.50~0.54 秒にはいる地震 4 個が発生しているが、これらの震源域は ESH の北東側にあつて、約 15 時間後にはじまる「前震一本震一余震」型の活動とは明らかに別の場所での活動であつた (Fig. 3 の No. 1A と 1B)。しかし、時間的・空間的にきわめて接近して発生しているので、15 日の 4 個の地震はその後続く主活動の「前駆的 (群発) 地震」活動とみなしてもよいものであろう。主活動のはじまつてからは、 S - P 時間が 0.5 秒台の地震は全く発生していない。

(2) 1977 年 10 月 20 日と 11 月 29 日の地震活動

1977 年 10 月 20 日と 11 月 29 日には S - P 時間がいずれも 1.85 秒程度の地震が続発したが、前の活動域は ESH の北西側にあつたのに対して、後のそれは南側にあつて、明らかに違つた場所での活動であつた (Fig. 3 の No. 2 と 3)。また、10 月の活動には前震は観測されず「本震一余震」型であつたのに対して、11 月の活動は「前震一本震一余震」型であり、活動様式の点でも違つたものであつた (Fig. 4 の No. 2 と 3)。11 月の活動はこれまでに指摘されている前震の特徴をそなえていたことがわかる：地震の規模別度数分布の特性を示す

パラメータ b 値について、前震の b が余震の b より小さい例 [SUYEHIRO *et al.* (1964)] が知られているが、No. 3 の地震群では、本震 M_0 以前には $M_1 \sim M_4$ の大きな地震が発生しているのに対して、本震以後は M_0 以下の小さな地震しか発生していないから、前震は余震にくらべて明らかに大きい地震から構成されていて、前震の b が小さいことと定性的には同じ傾向を示している。また、前震活動の最盛

Fig. 4. Cumulative square of maximum amplitude against time. Seismograms of shocks occurred in the time interval denoted with T are shown in Fig. 5.

期がすぎしてから本震が発生する例 [許 (1976)] が知られているが, No. 3 の地震群では本震の 7 分前から始まった前震活動は急激に活発になった後, 4 分ほどの静かな時間をおいて本震が発生した (Fig. 4 の No. 3).

(3) 1978 年 1 月 1 日と 1 月 6 日の地震活動

前震活動のもう一つの特徴として本震 M_0 に近づくにつれて前震の発生間隔は短くなり振幅は大きくなってゆく例 [本谷 (1969)] が知られている. 1978 年 1 月 1 日には 2 分間に 6 個の地震が続発したが, これらの地震は明らかに「前震—本震—余震」系列をなしており, 前震は 2 個だけであるが, 本震 M_0 に近づくにつれて発生間隔が短くなり, 振幅は大きくなってゆく特徴を示していたことが注目される (Fig. 5 の No. 4). しかし, 1977 年 11 月 29 日の地震群の場合には, 2 番目に大きい地震 M_1 の前に同じ特徴を示す地震系列がみられた (Fig. 5 の No. 3) が, このときは 4 分後にさらに大きい地震 M_0 が発生し, さきにのべたように全体は「前震—本震—余震」型の活動となつた. また, 1978 年 1 月 6 日にもほとんど同じ $S-P$ 時間の地震が続発したが, 大変小さい地震ばかりであつたので, 1 月 1 日の

Fig. 5. Seismograms of two earthquake sequences. M_0 is the largest and M_i is the i -th successive largest event in each sequence. X3 and X5 are magnification factors on CRT display from the original HDDR magnetic tape.

Fig. 6. Temporal variation of number of events in the complex sequence No. 6. A and B: main shock-aftershock series started with feltshock near ESH at 22h47m, March 18 and 11h03m, March 20, respectively. All other events are unfelt. C: transient seismic activity. D: foreshock-main shock-aftershock series started at 21h57m, with main event at 22h20m, March 20.

ものと同じ場所での活動かどうかは確かめられなかった。しかし、6日のものは活動様式としては典型的な「群発」型 (Fig. 4 の No. 5) で、1月1日のものとは明らかに違っていた。

(4) 1978年3月18日～21日の地震活動

1978年3月18日から21日にかけて発生した地震群は今回調べた中では最も規模が大きく、南茅部町で有感の地震が2回含まれている。全体は、18日22時47分の有感地震 ($M_1=2.68$) に続く「本震—余震」型、20日11時03分の2回目の有感地震 ($M_0=3.28$) に続く「本震—余震」型、12時～19時の過渡的地震活動、21時57分から始まる明瞭な「前震—本震—余震」型 (この中の最大地震 ($M_2=2.15$) は22時20分) の4つの活動 (Fig. 6) よりなり、各々の活動域はあきらかに違っていたことがわかる (Fig. 7)。この違いはこの領域の破壊過程に関連していると考えられるがこれに関する考察はあらためておこないたい。また、18日08時頃より、近いけれども明らかに異なつた場所で「前駆的地震」活動が認められた。このうち震源位置の推定されたものが Fig. 7 の f で深さはその後の主活動の地震より浅かつたと思われる。

(5) 1978年4月28日の地震活動

1978年4月28日にみられた活動は「前駆的地震」活動につづいて、主活動の最後に最大地震が発生したもので、いわば「前震—本震—(余震なし)」ともいうべき活動様式を示した。検知能力以下の微小余震は発生していたかも知れないが、もしあつたとしても前震より小さなものばかりであつたことは確かである。

(6) 1978年10月8日～9日の地震活動

1978 年 10 月 8 日の活動は典型的な群発地震とみなし得るものであつた。この地震群については、P 波群の上下動最大振幅 A_{PV} と S 波群の水平動 (EW 成分) 最大振幅 A_{SE} との比 A_{PV}/A_{SE} の値が地震活動が活発になるにつれて大きくなってゆく傾向がみられた (Fig. 8)。S 波群の NS 成分をとつても同じであつた。 A_{PV}/A_{SN} の異なっている記象例を Fig. 9 (A) に示す。78 年 1 月 6 日の活動も「群発」型であつたが、このときは A_{VP}/A_{SE} は 0.04~0.35 の間にあり P 波群の小さい地震ばかりで、地震数が少なく活動期間も短かつたせいか、振幅比の時間変化に一定の傾向はみられなかつた。すでにのべたように 10 月 8 日の活動が終息して 15 日後の 23 日から函館群発地震が発生しはじめたわけであるが、8 日の地震群の活動域は函館群発地震のそれとは近いけれども異なつた場所にあると思われ、地震波形も函館群発地震活動の初期のものとは著しく異なつていた (Fig. 9 の (A) と (B))。しかし、函館群発地震の「前駆的群発地震」活動とも考えられるもので、注目すべき地震活動であつたといえる。

§4. 考 察

1900 年以降の北海道南西部の地殻活動 (地震活動と火山活動) を調べた結果、1930 年代に活動のピークがあり、最近再び活動が活発化してきていることがわかつた。以下では、この地域の地殻活動の特性とこれに関連するいくつかのことについてべる。

Fig. 7. Spatial distribution of earthquakes in the sequence No. 6. f: event at 08h11m, March 18, one of the premonitory events. Refer to Fig. 6 for A, B, C, and D. The largest events in the sub-series A and B are not located because their initial motions are over the dynamic range of the RCEP observation system.

Fig. 8. Cumulative square of maximum amplitude and amplitude ratio of P and S waves against time for the sequence No. 8.

1) 地震活動の時間的・空間的特性

有珠山付近には顕著な群発地震活動が 1910 年と 43—44 年にあり、77 年 8 月からほぼ同じ場所ではじまった群発地震活動は現在も続いている。78 年 10 月からはじまった函館群発地震もまだその活動は続いているが、この付近には 1931 年に「本震—余震」型の地震活動があつた。ESH で観測される S - P 時間が 10 秒以内の地震を用いて、過去に顕著な群発地震活動がみられた領域の現在の地震活動を調べたが、有珠山、函館付近の活動以外には、これまでのところ目につくほどの活動は見つかっていない。宇津(1968)は渡島半島を含む北海道南西部の地震

活動の特性の一つとして、ある地域に発生する群発地震は比較的短い期間にまとまって発生し、その期間以外にはほとんど起きていないことを指摘している。§2 でのべた渡島大野から館にかけてはそのような地域と考えられ、1930 年代に群発地震が集中的に発生したが、その後は全く静かな状態が続いている。また、寿都付近に 1959 年から 1973 年までときどき起きていた地震[宇津(1968)、本谷(1975)]は、その後は全く発生していない。このような場所での地震活動の全体像を理解するにはかなり長期にわたる観測が必要であろう。

2) 群発地震と火山活動の関連

有珠山の火山活動とそこに起る群発地震との関係[気象庁(1980)]はよく知られている。駒ヶ岳については有珠山の場合ほど直接的ではないが、以下にのべる事例は群発地震と火山活動との関連を暗示していると思われるので、今後とも注意しておくべきことであろう。Table 1 に示されているように、1919 年の駒ヶ岳の噴火では同じ年に松前で群発地震が発生しているし、1929 年には厚沢部町館で「本震—余震」型の地震活動があつた後、駒ヶ岳が噴火し、駒ヶ岳付近にも群発地震が発生している。その後、駒ヶ岳の火山活動は、1934, 35, 37, 38, 42 年に知られており、渡島大野から館にかけての地域で群発性地震が頻発した時期に一致している。1942 年以降は駒ヶ岳は火山活動をしていないし、いまのべた場所での群発性地震活動も

Fig. 9. (A) Example of seismograms of the sequence No. 8.

(B) Seismogram of Hakodate earthquake swarm at early stage of its activity. X0.5 and X2.0 are magnification factors on CRT display and time scale is common.

Fig. 10. Seismotectonic map in the eastern part of the Oshima peninsula. 1: geotectonic line, 2: volcanotectonic line, 3: two prominent directions of fracturing in this region, 4: hot spring, 5: active volcano, 6: extinct volcano [after KATO (1909)]. 7: epicenters by Sapporo Meteorological Observatory for 1967-1970 (two events near Komagatake were relocated by the author). 8: micro-earthquake epicenters for August 11-September 05, 1970 [after TOMATSU (1971)]. 9 and 10: refer to Fig. 3.

知られていない。

3) 渡島半島のテクトニクスと地震活動

§3 で調べた微小群発地震活動のみられた地域は、北海道の地形区分〔瀬川 (1974)〕では駒ヶ岳火山地域としてまとめられており、駒ヶ岳 (活火山)、横津岳 (鮮新世末期あるいは第四紀はじめに噴出した死火山)、恵山 (活火山) が、この順に北西-南東方向に並んでいて、地形の特徴、温泉分布の配列などから、この方向に走る構造線の存在が考えられている〔加藤 (1909)〕。§2 で示したように、駒ヶ岳から横津岳にかけての地域には顕著な群発地震が発生したこともあり地震活動は高い。Fig. 10 に示すように、横津岳と尾札部の間にはこれまでいくつかの地震の発生が知られているから、今回観測された ESH 付近の微小群発地震活動がこれに連なるものとすれば、北西-南東に走る構造線に関連して地震活動の高い地域が駒ヶ岳から尾札部付近まで続いていて、その中で尾札部付近の活動が最近とくに活発になったと考えることが出来る。構造線は尾札部から恵山まで続いていると推定されているが、この部分にはこ

れまでのところ地震活動はほとんど知られていない。

4) 地震活動と地殻応力の状態

地震活動は長い時間スケールのテクトニクスに関連しているだけでなく、地震が発生している場の現在の応力状態も反映しているはずである。Mogi (1963) は地震発生場の応力集中の程度が増大するにつれてそこで発生する地震系列の活動様式が「本震—余震」型から「前震—本震—余震」型を経て「群発」型へ移行することをぜい性試料を用いた破壊実験の結果から類推し、広域的に一樣な応力場にあるときは地殻の破砕度の大きい所ほど応力集中を起しやすいと考えて、日本列島の地殻の破砕度の地理的分布を示した。それによると、前震を伴う地震および群発地震がしばしば発生する渡島半島は破砕度の大きい地域として分類されている。この考えによれば、§3 で調べた微小地震活動は渡島半島東部の比較的狭い地域に発生したものばかりであるのに、あらゆる型の活動様式がみられたことは応力集中の程度の異なっている領域が狭い地域に混在していることになる。各群の活動様式を活動域 (Fig. 3) に対応させてみると、ESH 付近に発生した No. 1, 6, 7 の各群には共通して「前駆的地震活動」がみられたし、ESH 南方の No. 3 と 4 の活動は共に「前震—本震—余震」型であつた。Mogi (1963) の用いた資料は多数の有感地震を含む規模の大きい地震群であつたが、ここで調べた地震活動は有感地震を含んで3日程度続くものから微小地震ばかりで全体の活動が数分で終るものまでにおよんでいる。これまで「本震—余震」型と思われていた活動でも、検知能力の高い観測を行なうと、前震が観測されて「前震—本震—余震」型の活動であることが判明することも考えられる。ESH の高感度地震計による連続観測によつて、このような地震活動の様式がほぼ連続的にとらえられたことは地殻の応力状態を詳細に知る可能性を示したものといえる。これまでのところ同じ活動域と認められる所に繰返し発生した活動で詳細な観測資料の得られている例はないけれども、地震活動様式が応力状態を反映しているとすれば、地震活動の監視を続けることによつて地殻浅部の応力状態の時間的・空間的变化を知ることが出来ると考えられる。

5) 内陸の地震活動と広域応力場

1968 年十勝沖地震 (M 7.9) の直後に十勝岳付近に火山性地震が発生し、一時的に十勝岳付近の地震活動が活発となつた [気象庁 (1969)]. また、東北地方においては、1978 年 2 月 20 日 (M 6.7) および 6 月 12 日 (M 7.4) の宮城県沖地震の直後に震央から約 100 km 離れた川渡および釜房において微小地震が群発した [東北大理学部 (1978, 1979)]. これらの事例は海溝付近で大地震の発生によつて生じた応力場の急激な変化が内陸地域にまで影響を及ぼし、地震活動を誘発したと考えられる。しかし、今回調べた群発地震群に関しては、顕著な地震に直接関連していると思われるものはなかつた。

北海道周辺の大地震と内陸部の浅発地震活動との関係を調べた鈴木雄次 (1976) は両者の間にははつきりした因果関係は見出されないとしながらも、北海道周辺の海域の大地震は内陸部の地震活動の最盛期よりもその末期また初期に発生している傾向があるとのべている。鈴木・広田 (1973) は北海道東部弟子屈地方の浅発地震活動と海溝付近の大地震発生との関連をさらに積極的に論じ、この地方の浅発地震は北海道東部に地殻変動をももたらす広域的なテクトニックストレスによつて起されると考えている。ここでは、内陸に発生する個々の群発地震と大地震との直接の対応を考えるよりも、地震活動の特性を広域的に時間の経過とともに考える見方に立つて、1930年代の北海道南西部の地殻活動の活発化（群発性地震の頻発、火山活動）、1940年代の日本海の浅発地震活動（積丹沖で1940年と47年とともにM7.0の地震発生）につづいて、1952年十勝沖地震（M8.0）が発生したことに注目しておきたい。十勝沖地震の再現期間を80年程度と考えると、1952年から数えて1サイクルの1/3程度の時間は既に経過したことになり、KATSUMATA and YOSHIDA (1980) は1974年頃から震源域での地震活動が新しい段階に入つたのではないかと考えている。次の十勝沖地震の前にも同じことが繰返されるという確証はないけれども、尾札部付近での微小群発地震の頻発、有珠山の火山活動、樽前山の火山活動〔勝井他 (1977)〕、函館群発地震とつづく、北海道南西部の地殻活動の最近の活発化が、KATSUMATA and YOSHIDA (1980) のいう52年十勝沖地震の震源域で地震活動の変化が始まつたとする時期に呼応している可能性もあるので、今後のこの地域の地震活動に注意しておく必要がある。

植木他 (1980) によつて東北地方についても §2 で採用したのとはほぼ同じ規準で群発性地震に関する資料の収集・解析が行なわれていて、1926年以降78年までの53年間に31回の活動が報告されている。北海道南西部においては同じ期間で24回であるから、対象地域の面積の違いを考慮すると、群発性地震活動の発生頻度は両地方ではほぼ同じ程度とみられる。東北地方においても1930年代に群発性地震発生頻度のピークがあつた後、1978年にも小さなピークが見られること〔植木他 (1980)〕、東北地方北部の広範囲にわたり起震歪力のレベルが最近高くなつていていると思われること〔佐藤他 (1980)〕は、これまでのべてきた北海道南西部の地震活動の状況と大変良く符号している。このことは北海道南西部と東北地方北部は基本的には同じ地学的場の中にあることを示唆しているし、ある地域の地震活動をより広域的な観点で考える立場を支持しているといえよう。

§5. おわりに

北海道南西部の群発地震に関する資料を整理するとともに、北海道大学理学部地震予知観測

地域センターの高感度地震観測網で観測されたいくつかの微小群発地震活動について調べた。

地震群の発生様式をその群に含まれる地震の空間分布、規模別分布、地震波形の変化などに関連させて調べたが、活動様式との間に共通した特徴は見つからなかつた。これまで大きな地震の前震活動について知られているいくつかの特徴を、微小前震群でも少なくとも形式的にはそなえている場合もあることが確められた。いくつかの地震群については主活動と時間的・空間的にきわめて接近した「前駆的地震」活動が明瞭に認められたが、地震数が少ないこともあつて、前駆的活動とそれに続く主活動との関連を定量的に調べるにはいたらなかつた。

内陸に発生する直下型地震に関連してその付近の微小地震活動の状況に変化があらわれるかも知れないし、内陸の微小地震活動はその場所だけの現象ではなく、海溝付近の大地震の発生にもかかわる広域的な応力場の状況を反映していることが示唆されたので、これまでの地震活動の特性を明らかにしておくとともに、今後とも地震活動の監視を続けてゆくことが重要である。

群発地震の資料収集は、自然災害科学研究資料解析班の中に設けられた群発地震に関する資料収集グループの研究の一部として行なわれた。このさいに、鈴木雄次氏（気象庁地震情報資料室）がとりまとめられた未刊行資料ファイルによるところが多大であつたことを記して感謝致します。この稿をまとめるにあたり有益な助言を頂いた北海道大学理学部地震予知観測地域センターの鈴木貞臣博士と貴重な観測資料を提供して頂いた同センターの諸氏に感謝致します。データ処理は同センターの MODCOMP IV による処理システムによりました。

文 献

- 北海道大学理学部, 1980, 函館付近の群発地震活動 (続), 地震予知連絡会報, **24**, 6-7.
- KASAHARA, M., 1976, Seismic and Geodetic Observations through the PCM Telemetering System in Hokkaido, Japan, J. Geod. Soc. Japan, **22**, 292-294.
- 笠原 稔, 1978, 函館付近の地震活動 (I), 北大地震予知センター速報, **4**, 31-33.
- 加藤武夫, 1909, 北海道駒ヶ岳火山地質調査報文, 震災予防調査会報, **62**, 1-64.
- 勝井義雄・大沼晃助・新井田清信・鈴木建夫・近堂祐弘, 1979, 樽前山 1978 年 5 月の噴火, 火山, **24**, 31-40.
- KATSUMATA, M. and A. YOSHIDA, 1980, Change in Seismicity and Development of the Focal Region, Pap. Met. Geophys., **31**, 15-32.
- 気象庁, 1969, 十勝沖地震後の十勝岳における地震活動について, 気象庁技術報告, **68**, 38-47.
- 気象庁, 1980, 有珠山噴火活動調査報告, 気象庁技術報告, **99**, 4-6.
- 久保寺 章・内池浩生・本谷義信・植木真人・茅野一郎, 1980, 群発地震に関する資料収集解析 (第2報), 自然災害資料解析, **7**, 67-78.
- 前田 函, 1978, 続 波形解析プログラム, 北大地震予知センター速報, **3**, 23-26.
- 前田 函・本谷義信・鈴木貞臣, 1978, 北海道大学の地震地殻変動テレメータデータ集録および処理システムについて, 地震, **31**, 401-413.
- Mogi, K., 1963, Some Discussions on Aftershocks, Foreshocks and Earthquake Swarms—the Fracture of a Semi-infinite Body caused by an Inner Stress Origin and Its Relation to the Earthquake Phenomena (Third Paper), Bull. Earthq. Res. Inst., **41**, 615-658.

- 本谷義信, 1969, 1969 年 8 月 12 日根室東方沖地震の余震活動, 北大地球物理研究報告, **24**, 93-106.
- 本谷義信, 1975, 札幌地震観測所における地震観測—札幌周辺の地震活動 (1973. 7—1974)—, 北大地球物理研究報告, **34**, 55-65.
- 佐藤魂夫・田中和夫・佐藤 裕, 1980, 東北地方北部における最近の地震活動と起震歪力場, *Sci. Rep. Hirosaki Univ.*, **27**, 33-45.
- 瀬川秀良, 1974, 日本地形誌 北海道地方, 朝倉書店, 213-222.
- 鈴木貞臣・広田知保, 1974, 北海道東部およびその周辺の地震活動 (1) —弟子屈・阿寒地域の浅発地震—, 地震, **26**, 77-92.
- 鈴木貞臣・笠原 稔, 1979, 地震テレメータの検知能力, 北大地震予知センター速報, **5**, 57-60.
- 鈴木雄次, 1976, 北海道内陸部の浅発地震活動について, 地震予知連絡会報, **16**, 11-15.
- SUYEHIRO, S., T. ASADA, and M. OHTAKE, 1964, Foreshocks and Aftershocks Accompanying a Perceptible Earthquake in Central Japan, *Pap. Met. Geophys.*, **15**, 71-88.
- 高波鉄夫・岡山宗夫・南茅部町役場, 1977, 1977 年 6 月 16 日南茅部町有感地震 (M 2.7), 北大地震予知センター速報, **2**, 38-41.
- 高波鉄夫・島村英紀・本谷義信, 1980, 函館群発地震初期の地震観測, 地震, **33**, 269-287.
- 東北大学理学部, 1978, 1978 年 2 月 20 日の宮城県沖地震, 地震予知連絡会報, **20**, 16-21.
- 東北大学理学部, 1979, 1978 年 6 月 12 日宮城県沖地震, 地震予知連絡会報, **21**, 55-59.
- 戸松征夫, 1971, 北海道駒ヶ岳周辺の地震活動 (1969—1970), 北大地球物理学報告, **26**, 85-98.
- 植木貞人・立花憲司・高木章夫, 1980, 東北地方における群発性地震の活動とその特性, 東北地域災害科学研究報告, **16**, 44-47.
- 宇津徳治, 1968, 北海道およびその周辺の地震活動, 北大地球物理研究報告, **20**, 51-75.
- 許 紹燮, 1976, 海城地震の地震活動の特徴, 中国地震考察団講演論文集, 24-71.