



Title	1983年日本海中部地震（M7.7）と1993年北海道南西沖地震（M7.8）の余震活動の比較：群をなす余震から見た大地震の震源域
Author(s)	本谷, 義信
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 65, 111-125
Issue Date	2002-03-25
DOI	10.14943/gbhu.65.111
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/14307
Type	bulletin (article)
File Information	65_p111-125.pdf



[Instructions for use](#)

1983年日本海中部地震 (M 7.7) と1993年北海道
南西沖地震 (M 7.8) の余震活動の比較
— 群をなす余震から見た大地震の震源域 —

本谷 義信

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

(2002年1月18日受理)

**Comparison of Aftershock Activity of the 1983 Nihonkai-chubu Earthquake
with That of the 1993 Hokkaido Nansei-oki Earthquake
— Focal Regions of Large Earthquakes Investigated with Aftershock Clusters —**

Yoshinobu MOTOYA

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science,

Hokkaido University

(Received January 18, 2002)

On May 26, 1983, a large earthquake of $M7.7$, the 1983 Nihonkai-chubu Earthquake, occurred off Akita, northern Honshu, along an assumed new plate boundary. After ten years from that time, on July 12, 1993, another large earthquake of $M7.8$, the 1993 Hokkaido Nansei-oki Earthquake, occurred off west coast of the Oshima Peninsula, Hokkaido. This event is also located near the hypothetical plate boundary and makes the new plate hypothesis more plausible. The two earthquakes have been discussed in relation to tectonics of the eastern margin of the Japan Sea.

Using data of aftershocks located by JMA (Japan Meteorological Agency), we compare aftershock activity of the 1983 event with that of the 1993 event. As JMA earthquake detection capability has been much improved in the decade from 1983, we limit the minimum M used to 3.8. We find out aftershock clusters within one day in time and five km in space from aftershocks of the 1983 and of the 1993 main shock, respectively. While the number of aftershocks in the 1983 event is one and a half times as large as that in the 1993 event, much more clusters exist in the 1993 aftershock region than in the 1983. The richness of clusters in the 1993 event may be related to the fact that the focal process of that event is more complicated than that of the 1983 event.

From viewpoint of earthquake clusters, we also investigate focal regions of another two large earthquakes which occurred near Hokkaido. In the case of the 1982 Urakawa-oki Earthquake of $M7.1$, clusters have moved from 1976 towards to the focal region of the 1982

event. The earthquake has a focal region across the coastal line from sea to land. Aftershock clusters off Urakawa have disappeared by about half a year from the main shock. In October 2001, small scale earthquake clusters occurred off Tokachi where the 1952 Tokachi-oki Earthquake of $M8.2$ had occurred. These clusters may be related to some stress state changes progressing in the focal region of the previous large earthquake.

I. はじめに

地震には時空間的に群をなして起こる性質があり、群の形態は地震発生場の応力状態と密接に関係していると考えられている。大きな地震に引き続いて発生する余震は典型的な1つの地震群(クラスター)であるが、余震の中でも時空間的に近い範囲にまとまって発生するサブクラスター(ここではこれを余震群と呼ぶ)が存在することがある。大地震の震源域は広いので応力状態は時空間的に一様ではないかもしれないし、地震波の解析手法の進展によって震源域内の断層すべり量の空間分布が明らかにされるようになってきた。ここでは余震群が本震震源域の諸特性をどのように反映しているかに注目して、北海道とその周辺で最近発生した4つの大地震について調べた。

II. 1983年日本海中部地震と1993年北海道南西沖地震の余震活動

1983年5月26日に秋田県沖から青森県西方沖を震源域とするマグニチュード $M7.7$ の地震が発生し、主として津波により104名の死者を出す惨事となった。気象庁はこの地震を1983年日本海中部地震と命名した。この頃、中村(1983)と小林(1983)が日本海東縁に新しいプレート境界があるという説を提唱しており、この地震はこのプレート境界で発生したのではないかとして注目された。それから10年後の1993年7月12日には北海道渡島半島西岸沖を震源域とする $M7.8$ の地震が発生し、再び大津波と地震動などで230名の死者・行方不明者を出し、奥尻島では火災も発生するなど大災害となった。気象庁はこの地震を1993年北海道南西沖地震と命名した。この地震も提唱されているプレート境界で発生したと考えられ、日本海東縁にプレート境界が存在することは確かなことと考えられるようになった。このように、この2つの地震(以下では1983年の地震と1993年の地震という)は日本海東縁のテクトニクスを考える上で重要なので、とくに発震機構を中心に多くの調査研究がなされている。どちらの大地震も多数の余震を伴っていて、余震活動を調べることで本震の情報が得られることが期待される。ここでは、1983年の地震と1993年の地震の余震活動の特徴が2つの地震の発生状況の違いを反映しているかどうかを調べた。

データとして気象庁震源を用いて2つの地震の余震活動を比較するが、1983年からの10年間に気象庁地震観測網の地震検知能力が著しく向上していることを考慮しなければならない。1983年の地震の余震の規模別度数分布から $M \geq 3.8$ の余震ならカタログからもれていることはない判断されるので、1993年の地震の余震についても $M \geq 3.8$ の余震だけを比較の対象とした。た

だし、1993年の地震だけを調べる時には M にかかわらずすべての余震をデータとして使っている。

1. 余震数の比較

1983年の地震の本震と最大余震、1993年の地震の本震と最大余震の震源要素を Table 1 に、それぞれの本震後2ヶ月間の $M \geq 4.0$ の余震の余震域を Fig. 1 に、積算余震回数を Fig. 2 に示す。本震の規模は $M 7.7$ と $M 7.8$ でほとんど等しく、余震域の面積もほとんど同じである。しかし、1983年の場合には、本震後26.14日にその時点までの余震域の北端近くで発生した最大余震が多数の2次余震を伴っていて、結果として本震の余震域を北方へ拡大した。一方、1993年8月8日に江差沖で $M 6.5$ の地震が発生し顕著な余震活動を伴った。この地震は1993年の地震の余震域からは明らかに飛び離れた場所で発生しているが、1993年の地震と無関係に発生したとは考え難く、多くの地震学者はこの地震を1993年の地震の最大余震と考えている(福山, 1994)。したがって、この場合には、本震後26.27日に発生した最大余震は2次余震を伴ったものの本震の余震域を拡大することはなかったということになる。

1983年の地震を起こした破壊は余震域の南端付近から北方へ進み、北緯41度付近で停止した。その後の最大余震で余震域は渡島大島まで拡大した。1993年の地震を起こした破壊は余震域の北端付近から始まり奥尻島南西沖まで進んだが、1983年の地震の震源域までは達しなかった。また、最大余震の発生後ほぼ3ヶ月の間に最大余震の余震域 (Fig. 1 の 42°N , 140°E 付近のかたまり) から1983年の地震の余震域の北端に向かって飛び飛びに移動する4つの小規模な地震群が発生した(笠原・他, 1994) が、2つの大地震の震源域の間を埋めるには至らず、地震が発生していない領域が残ったままである。

本震発生後6日間ほどは1983年の地震と1993

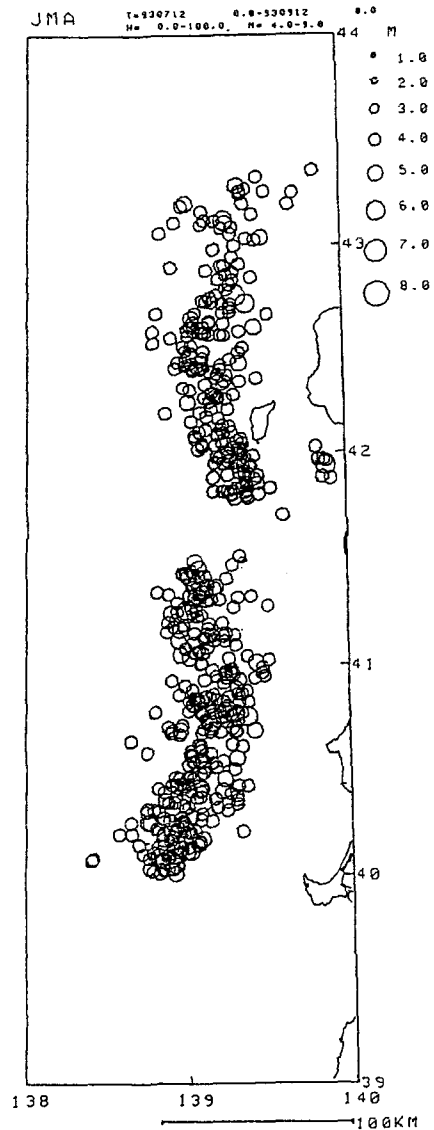
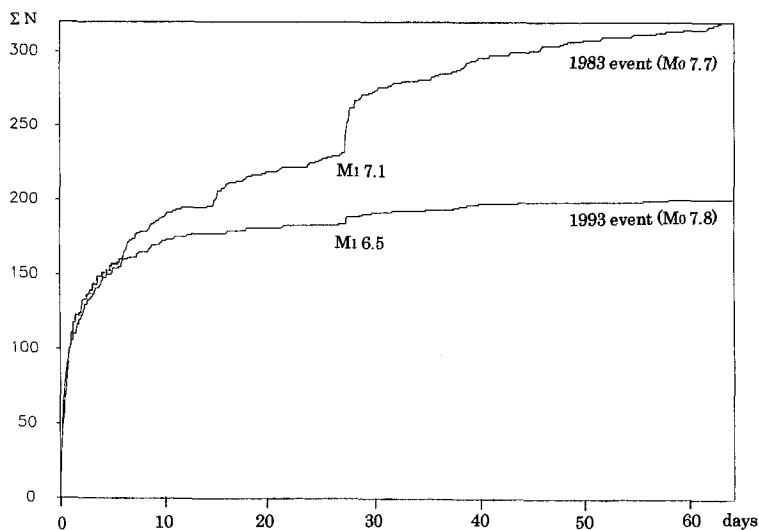


Fig. 1. Aftershock regions of the 1983 event (lower cluster) and the 1993 event (upper one) during two months from respective main shocks. Data from Japan Meteorological Agency (JMA), $M \geq 4.0$, $h < 100\text{km}$.

Table 1. Focal parameters of main shocks and the largest aftershocks.

Y	Date			Time		Epicenter		Depth km	Mag.
	M	D		h	m	N-Lat.	E-Long.		
1983	05	26		11	59	40.356	139.076	14.0	7.7
	06	21		15	25	41.261	139.003	6.0	7.1
1993	07	12		22	17	42.762	139.317	37.4	7.8
	08	08		04	42	41.942	139.877	26.4	6.5

**Fig. 2.** Number of aftershocks of the 1983 and of the 1993 event accumulated from the origin time of respective main shocks. M_1 represents the largest aftershock, which caused secondary aftershocks. Data are the same as in Figure 1.

年の地震の余震活動度はほぼ同程度であったが、その後の1993年の地震の余震活動度の減衰はかなり急で、2ヶ月後の $M \geq 4.0$ の余震総数は1983年の地震では320回、1993年の地震では185回となった。1983年の最大地震による2次余震約30個を差し引いても、1983年の地震の余震活動の方が活発であったことがわかる。大きな余震も1983年の方が多く、 $M \geq 6.0$ の余震が4個(発生順に、 M 6.1, 6.1, 6.0, 7.1)起きているが、1993年の場合は3個(M 6.0, 6.1, 6.5)であった。

2. 群をなす余震から見た余震活動

地震群はその形態によって、「本震-余震」型、「前震-本震-余震」型、「群発」型に分類されることがある。そして、この順序にしたがって地震発生場の局所的な応力集中の度合いのないしは破壊強度の不均一分布の程度が大きくなると考えられている(茂木, 1981)。余震全体が1つの群をなしていることは明らかであるが、余震の時空間分布を調べると余震域の中でもいくつかの余震が群をなして発生していることがある。以下では、そのような群に注目して解析を進める。す

すべての地震から地震群を抽出する時にどのような時空間フィルターを設定するかは調査の目的や震源決定精度に応じて決めるのがよいが、北海道とその周辺の地震については、1日、5km以内にまとまって発生している地震を群と考えると興味深い結果が得られることがわかっている (本谷, 1999)。ここでもこの条件を満たして発生している余震は群をなすものとみなした。1983年の地震と1993年の地震の $M \geq 3.8$ の余震から余震群を抽出した。抽出にあたって余震の深さは考慮していないが、結果として抽出された余震群の中には著しく深さの違う余震は含まれていなかった。本震発生後2年間を対象として調べたが、余震の絶対数が少なくなってしまうこともあって、余震群が認められるのは本震からほぼ1ヶ月以内に限られていた。

1つの群に含まれている余震の個数 N にしたがって、群の発生位置を示したものが Fig. 3 である。すべての余震を考慮した場合には、前節で述べたように、1983年の地震の余震活動の方が1993年の地震の余震活動より活発であったが、 $N \geq 2$ の余震群でみると、1983年の地震の78群に対して、1993年の地震でも72群と、ほぼ同数になっていて、それぞれは余震域の形を保ったままで分布していることがわかる。より顕著な余震群 ($N \geq 5$) だけでみると、1983年には8回の余震群が最大余震の余震域と本震の余震域の中央から南半分だけに分布しているのに対して、1993年には18回の余震群が本震の余震域全体にわたって分布している。これらのことから1993年の地震の余震の方が群をなす傾向が強かったことは明らかである。

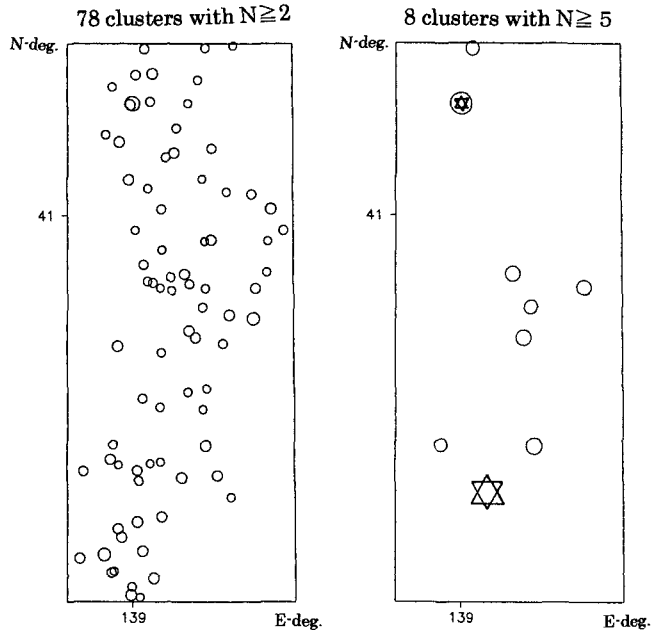
1993年の地震については、すべての余震から群を抽出し直してより詳細に検討した。Fig. 4 に N を変えた場合の余震群の空間分布を示す。 N の小さい余震群は余震域全体にわたって分布しているが、 N が大きくなると余震域の北の方から群をなす余震は発生しなくなり、 $N \geq 20$ の顕著な余震群は奥尻島西方沖から南方沖にしか見られなくなる。しかし、この図からは N の大きい余震群が時間的にも北の方から発生しなくなったのかどうかはわからない。気象庁 (JMA) よりも小さい地震まで観測している北海道大学地震火山研究観測センター (ISV) の震源データを用いてこの点を調べた。

Fig. 5 は ISV のデータから同じ基準で抽出した $N \geq 10$ の余震群の発生位置と時空間分布である。JMA のデータでは58群であったが、ISV のデータからは368群が抽出された。ISV は奥尻島に4観測点を展開しておりこの周辺の地震検知能力は JMA より高いはずであるが、トリガーの設定条件その他も違うので (一柳・笠原, 2001), Fig. 4 の発生位置分布と厳密に比較することは出来ない。しかし、分布全体の形がよく似ていることは見てとれる。そして、時空間分布からは本震発生後半年ほどの間に余震域の北から時間の経過とともに余震群が発生しなくなり、1994年以降の余震群の発生は奥尻島の西方沖より南に限られていることがわかる。他の規模の余震群についても同じような発生経過をたどっていたこともわかった。

3. 群の中の大きい余震の M のそろっている程度

地震群が「群発」型になるほど群の中の大きな地震の M がそろってくるのが期待される。ここでは、茅野 (1982) にならって分配の均等性を表す指標 R を用いて、 $N \geq 5$ の余震群の中の大

1983 event



1993 event

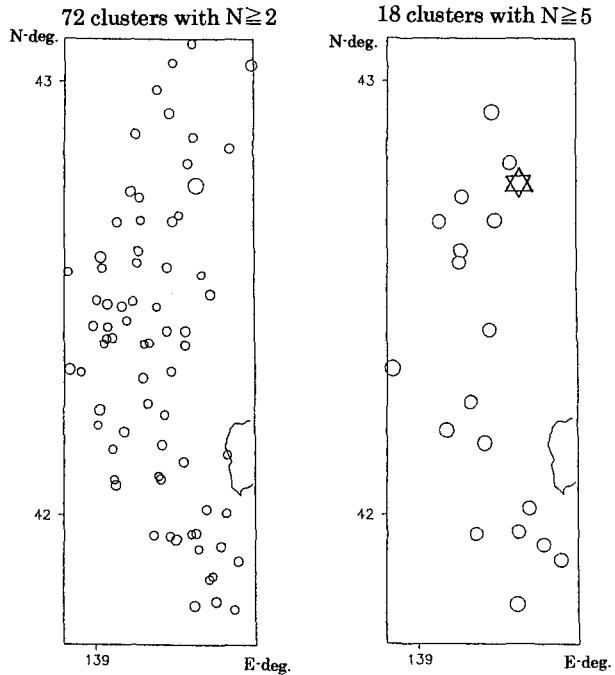


Fig. 3. Locations of aftershock clusters within 1day in time and 5km in space. All the clusters throughout this paper have the same time-space scale. N is number of aftershocks in each clusters. Large and small stars represent the main shock and the largest aftershock, respectively. Data from JMA, $M \geq 3.8$, $h < 100\text{km}$.

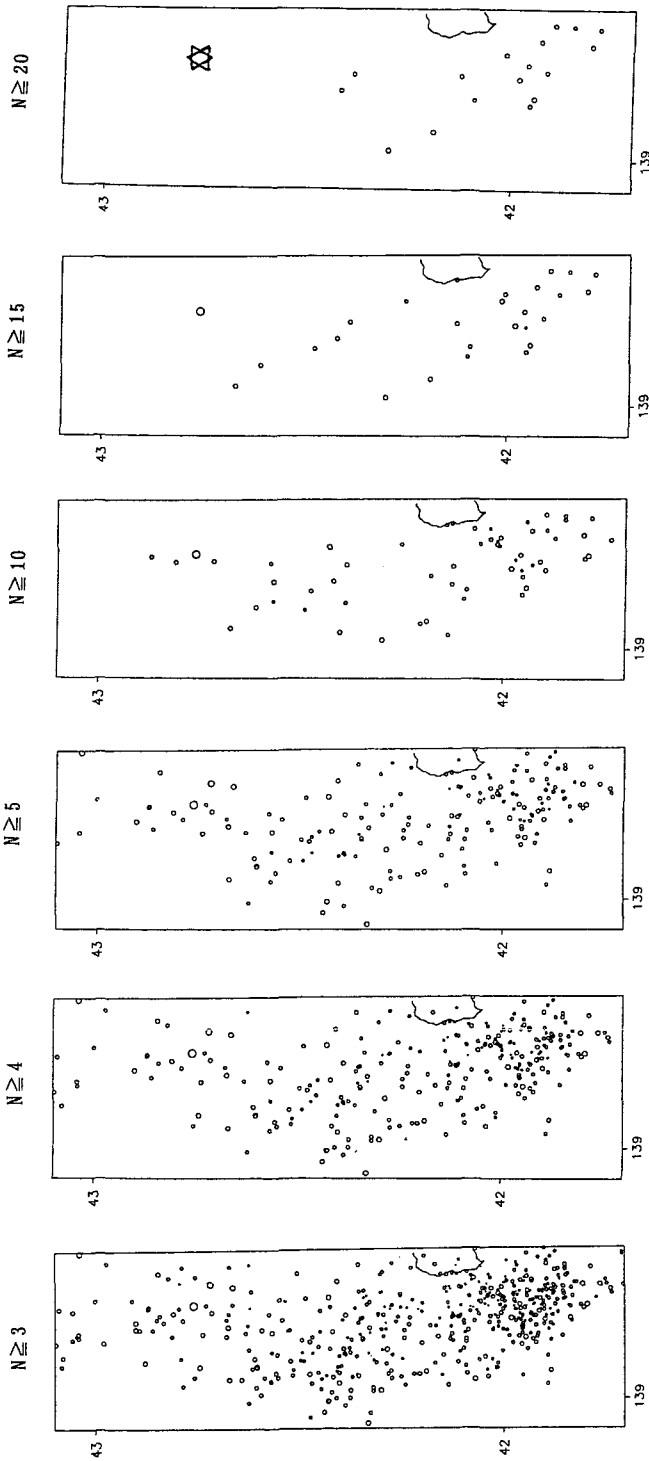


Fig. 4. Location of aftershock clusters of the 1993 event. Data from JMA, regardless of M , $h < 100\text{km}$.

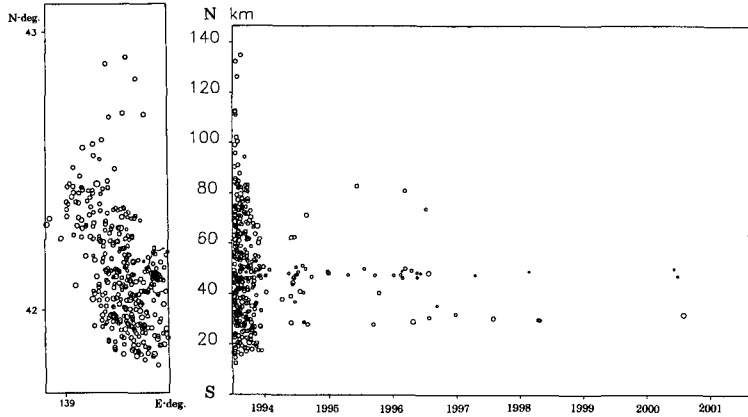


Fig. 5. Location of aftershock clusters with $N \geq 10$ and their space-time plot. Data from Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University (ISV), regardless of M , $h < 100\text{km}$.

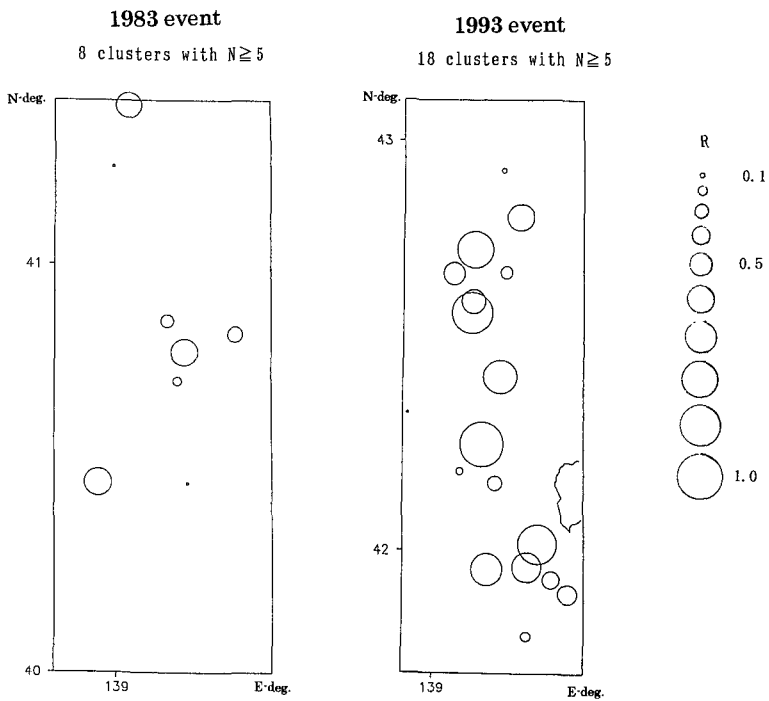


Fig. 6. Comparison of aftershock clusters in the viewpoint of index R . R represents how equal magnitudes of five largest aftershocks in each clusters are. If the five are completely equal, $R=1.0$ and R reduces to zero when an extremely large event appears among the five.

大きい方から5個の余震の M がどの程度そろっているかを調べた。 R は0.0から1.0までの値をとり、5個の M がすべて一致していると $R=1.0$ 、 M に極端な差があるほど0.0に近くなる。 Fig. 6は1983年の地震の余震群と1993年の地震の余震群を R の大小で比較したものである。1993年の地震の方に R の大きい余震群が多かったことは明らかである。

4. 本震の発震機構と余震群

1983年の地震と1993年の地震の起震断層の形態は日本海東縁のプレート境界の議論をする時に重要な意味を持っているので、余震の空間分布から本震を起こした断層面の形態が議論されてきた。ここでは、上に述べた余震群の特徴を本震の発震機構と結びつけて考える。

1983年の地震の断層面は日本海側から陸側に向かって低角で傾斜していると考えられている (海野・他, 2001)。 Shimazaki and Mori (1983) は2枚の断層面のすべりが1983年の地震を発生させたことを示した。彼らの断層面と Fig. 6の余震群を重ねると、群発性が高いと考えられる R の大きい余震群は断層面の中に分布しているように見え、2枚の断層面の境には発生していないことがわかる (Fig. 7)。 また、断層面②の破線部分は通常のすべり速度よりゆっくりすべったと考えられており (Mori and Shimazaki, 1983)、この部分には余震群は発生していない。

1993年の地震では余震の空間分布から余震域の中でも場所によって断層面の傾きが異なっていて (笠原・他, 1994)、1983年の地震よりはるかに複雑な発震機構であったと考えられている。久家・他 (1994) は5枚の断層のすべりで本震が発生したとしており、この断層の位置と Fig. 6の余震群を重ねたものが Fig. 8である。この場合も余震群は断層と対応していて、各断層の境界には余震群は発生していないようにみえる。

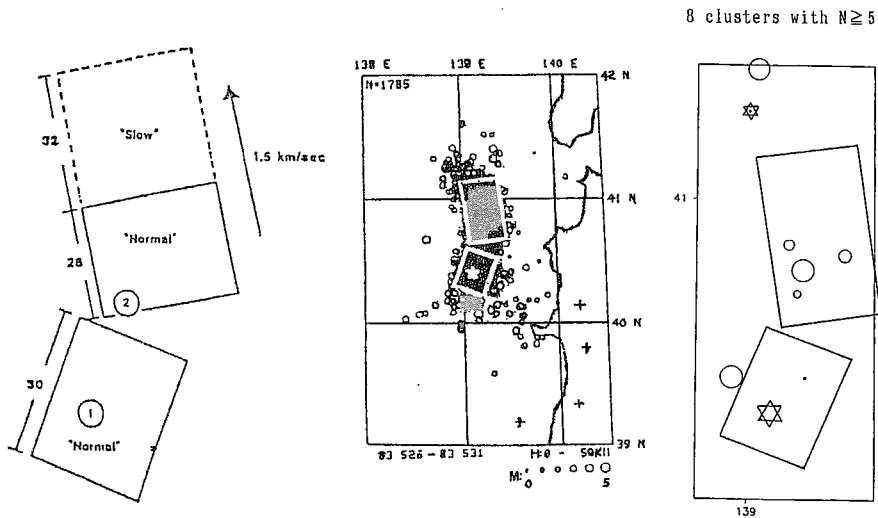


Fig. 7. Location of two faults which generated the 1983 earthquake (Shimazaki and Mori, 1983; Mori and Shimazaki, 1983) and aftershock clusters. Large star and ① show the epicenter of the main shock.

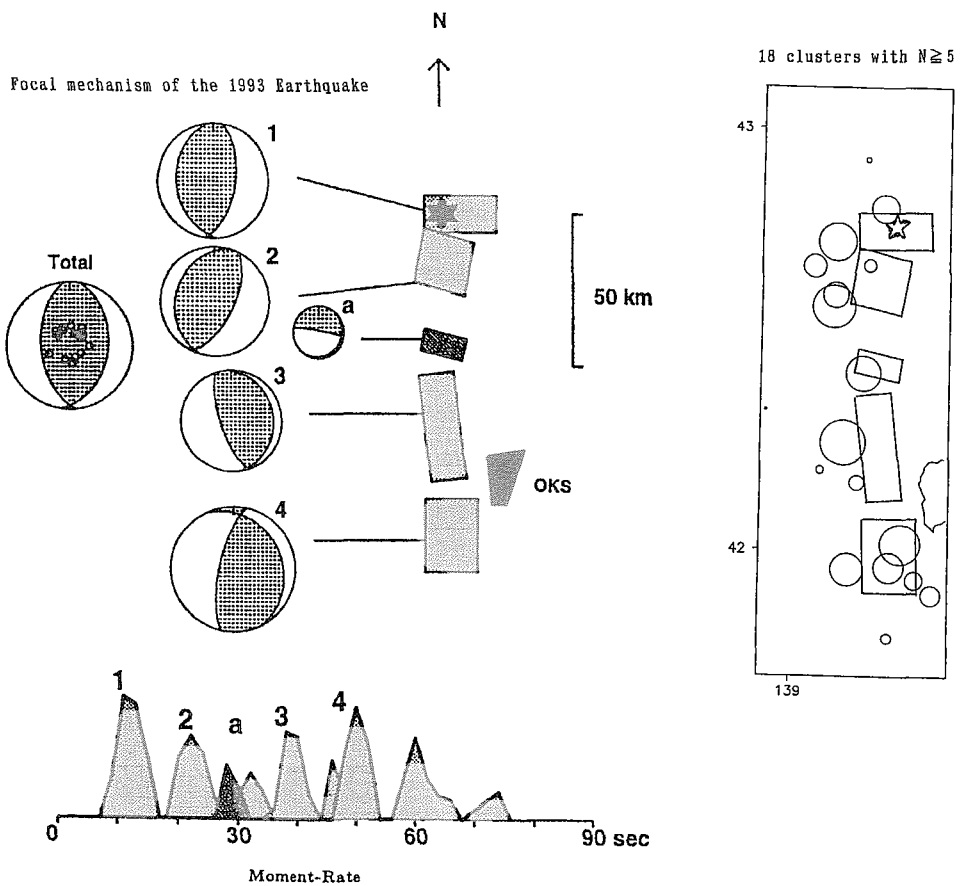


Fig. 8. Focal process of the 1993 earthquake (Kuge et. al. 1993) and aftershock clusters. Star shows the epicenter of the main shock.

5. 1983年の地震と1993年の地震の余震活動のまとめ

余震数で比較すると1983年の地震の余震活動の方が活発であった。両地震とも本震からほぼ1ヶ月後に2次余震を伴う最大地震が発生した。1983年の最大余震は本震の余震域を拡大したが、1993年の最大地震は本震の震源域から離れた所で発生し、本震の余震域を拡大することはなかった。

地震が発生する場の応力状態や構造の不均一さに関連していると考えられる地震が群をなして発生する性質に注目すると、1993年の地震の余震の方が群をなして発生する余震が多く、かつそれぞれの余震群は群発性の強いものであった。これは1993年の地震の方が1983年の地震より発震機構が複雑であったことに対応していると思われる。

III. 1982年浦河沖の震源域とその周辺の地震活動

1982年3月21日浦河沖地震 ($M7.1$) は浦河町にきわめて近い沖合を震源とし、その震源域の一部は陸域にかかっていたので、日高地方を中心に広域的に大きな被害を出した。この地震についてはすでに多くの調査研究がなされているが、群をなす地震に注目すると新たな特徴が見出されるかもしれないので、この地震の震源域とその周辺の地震活動をあらためて調べた。

1. 本震発生前の地震活動

この領域で発生した $M \geq 5.0$ の地震については、1926年から1982年浦河沖地震に向かって震源が集中して行く傾向が見られたことが報告されている (本谷, 2001)。1976年7月から ISV で微小地震の震源データが得られるようになったので、小さい地震についても同じ傾向が見られるかどうかを調べた。Fig. 9 に震央分布と時空間分布を示すが、上に述べた傾向はみられない。しかし、これらの地震から抽出した $N \geq 3$ の地震群では1982年浦河沖地震の震源域に向かって集中して行く傾向が見えてくることになる (Fig. 10)。

2. 本震発生後の地震活動

ここでも群をなす地震を抽出し、 $N \geq 5$ の群について大きい方から5個の地震の M から R を求めた。この R の大小で表示した地震群の空間分布が Fig. 11 である。本震発生から約6ヶ月後には本震の余震域の海域の部分では群をなす地震は発生しなくなったことがわかる。本震発生に伴って生じた局所的な応力集中がこの期間に解消されたためかもしれない。

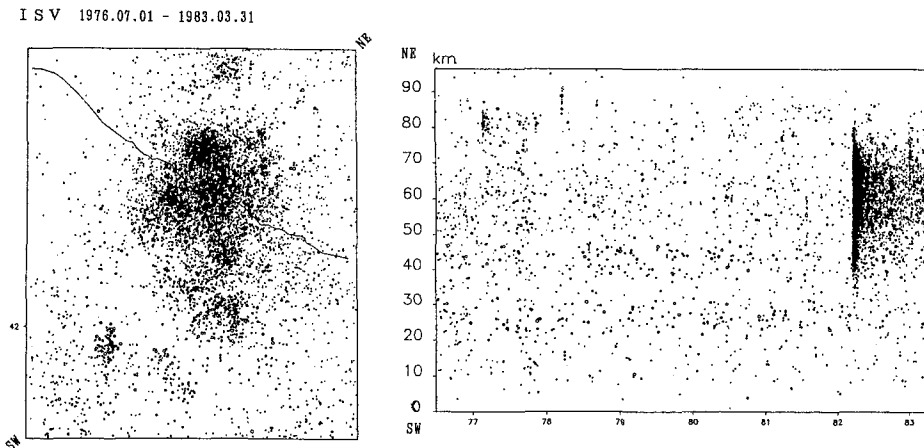


Fig. 9. Epicenter distribution of microearthquakes occurring around Urakawa and their space-time plot.

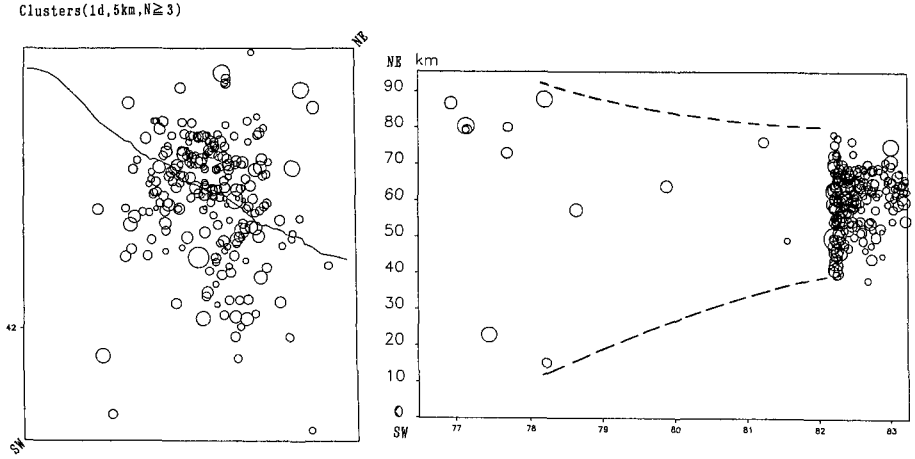


Fig. 10. Location of earthquake clusters around Urakawa and their space-time plot. Clusters are found out from earthquakes in Figure 9. Symbol size depends on magnitude of the largest earthquake in each cluster.

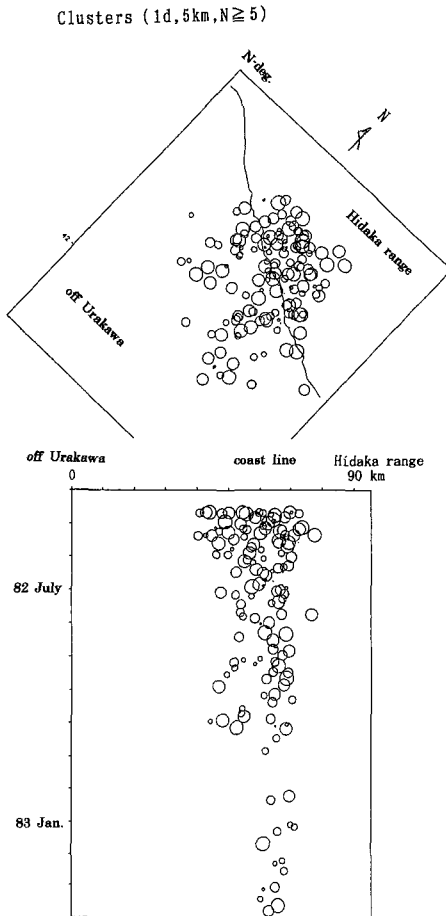


Fig. 11. Location of earthquake clusters occurring after the 1982 Urakawa-oki Earthquake and their space-time plot. Symbol size depends on the R value among five largest events in each cluster.

IV. 十勝沖で群をなして発生する地震

2001年10月27日に十勝沖でいくつかの地震が群をなして発生した。気象庁震源から Fig. 12 の領域で (1日, 5km) 以内に5個以上の地震を含む地震群を探し出すと、1926年から2001年11月までにこのような地震群は50個あった。しかし、地震検知能力向上の影響を強く受けていて、1990年以前のは5個だけである。この領域では $M \geq 4.5$ の地震ならばカタログからもれていることはないと考えられるので、図には各地震群内で最初に発生した地震が $M \geq 4.5$ である27群だけを示してある。○の大きさは各群で大きい方から5個の地震の大きさがどの程度そろっているかを示す指標 R によっている。1994年三陸はるか沖地震 ($M7.5$) が起きた付近と十勝沖 (2001年10月と11月に地震活動があった図中の囲み領域) だけに群発傾向の強い地震群が発生していることがわかる。

十勝沖の地震群のデータを Table 2 に示す。5個の地震がすべて $M \geq 4.5$ の条件をつけると最初の地震群しか残らない。とくに、最後の地震群は地震検知能力が低ければ群とは認識されない

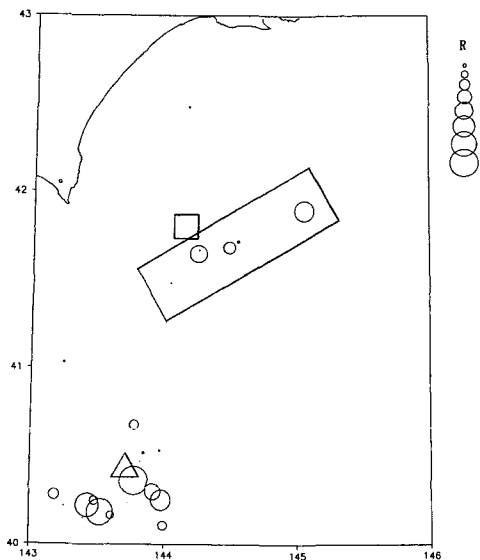


Fig. 12. Location of earthquake clusters around the junction of the Japan Trench and the Kurile Trench, from off Sanriku to off Kushiro. Data from JMA, 1926-2001, regardless of M , $h < 100\text{km}$. Considering improvement of earthquake detection capability of JMA, only clusters in which M of the first event is larger than or equal to 4.5 are shown. Triangle and quadrangle represent the 1994 far off Sanriku Earthquake of $M7.5$ and the 1952 off Tokachi Earthquake of $M8.2$, respectively. Clusters in the inserted box (off Tokachi) are listed in Table 2.

Table 2. Earthquake clusters off Tokachi.

Date	Lat.	Long.	H	N	M1	M2	M3	M4	M5	R
1983 Apr 30	41.48	144.04	37	17	6.7	5.0	4.5	4.5	4.5	0.02
1988 Jul 07	41.68	144.48	45	22	6.2	5.2	5.7	4.2	4.1	0.34
1989 Jan 23	41.72	144.55	10	10	5.8	4.2	4.3	4.0	4.3	0.07
1997 Oct 09	41.89	145.05	32	9	5.6	3.5	5.1	5.1	4.8	0.57
2001 Oct 27	41.65	144.25	7	20	4.7	4.6	3.6	3.1	3.2	0.48
2001 Nov 22	41.68	144.25	5	41	4.9	2.9	2.9	2.8	3.0	0.02

H: depth, km, N: number of events in the cluster, M1- M5: five largest events in occurrence time order, R: see Figure 6.

であろう。しかし、これらの地震群は1952年十勝沖地震(M 8.2)の震源の近傍で発生している、群をなす地震の発生の消長がつぎの巨大地震の震源核形成にいたる応力集中の指標になっているかもしれないので、今後の地震活動の監視は重要である。そして、この海域にはケーブル式の海底地震計も敷設されており(大塚・他, 2001)、最後の地震群は有効な監視に必要な地震検知能力があることを示している。

V. お わ り に

地震が群をなす性質に注目して、1983年日本海中部地震と1993年北海道南西沖地震の余震活動の比較をした。また、1982年浦河沖地震と1952年十勝沖地震の震源域とその周辺の地震活動を調べた。その結果、すべての地震を使う解析ではわからなかったいくつかの興味深い特徴が見えてきた。地殻内で局所的に応力集中が著しい場所では地震が群になって発生すると考えられているので、地震群の発生状況を監視することが応力場の変化を検知することになり、大地震発生の予測に役立つと考えられる。

謝辞 本研究の一部は、科学技術庁振興調整費「陸域震源断層の深部すべり過程のモデル化に関する総合研究」によりました。

文 献

- 福山英一, 1994. 1993年北海道南西沖地震本震および最大余震の震源過程について, 月刊海洋, **7**, 29-34.
- 一柳昌義・笠原 稔, 2001. 気象庁速報検測データを北海道大学地震データ処理(WIN)システムの自動処理検測データに自動的に併合するプログラムの開発, 東京大学地震研究所技術研究報告, **7**, 31-37.
- 笠原 稔・小平秀一・本谷義信・高波鉄夫・前田 壺・岡山宗夫・石川春義・一柳昌義・山本 明・松本 聡・津村紀子・岡田知己・矢部康男・飯高 隆・平田 直, 1994. 1993年北海道南西沖地震の余震活動とその分布, 平成5年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究, 突発災害調査研究成果(No. B-5-2), 文部省科学研究費(No. 05306012), 13-20.
- 茅野一郎, 1982. 地震群の一特性 - 大きい地震の大きさ分布に関する指標 -, 東京大学地震研究所彙報, **57**, 317-336.
- 小林洋二, 1983. プレート“沈み込み”の始まり, 月刊地球, **9**, 510-514.
- 久家慶子・菊池正幸・J.Zhang, 1994. 遠地実体波・表面波でみる北海道南西沖地震(1993年7月12日)の複雑な震源過程, 月刊海洋, **7**, 21-28.
- 茂木清夫, 1981. 地震 - その本性をさぐる -, 東京大学出版会, 164 pp.
- Mori, J. and K. Shimazaki, 1983. Source Process of the May 26, 1983 Japan Sea Earthquake, Abstract, Seism. Soc. Japan, **2**, 16.
- 本谷義信, 1999. 群をなす地震でみた北海道とその周辺の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **62**, 15-24.
- 本谷義信, 2001. 浦河周辺の地震活動(1885年-2000年), 北海道大学地球物理学研究報告, **64**, 183-193.
- 中村一明, 1983. 日本海東縁新生海溝の可能性, 東京大学地震研究所彙報, **58**, 711-722.
- 大塚理代・平田賢治・杉岡裕子・藤江 剛・森田重彦・三ヶ田 均, 2001. 釧路十勝沖海底地震観測総合システムがとらえた地震活動, 地震学会講演予稿集, 2001年度秋季, P 002.
- Shimazaki, K. and J. Mori, 1983. Focal Mechanism of the May 26, 1983 Japan Sea Earthquake, Abstract,

Seism. Soc. Japan, 2, 15.

海野徳仁・伊藤喜宏・五十嵐俊博・長谷川 昭, 2001. 1964年男鹿半島沖地震 (M 6.9) : 1983年日本海中部地震に
19年先行したすべり?, 地震2, 53, 263-268.