



Title	十勝丸山火山付近での群発地震活動とGPSによる地殻変動観測
Author(s)	高橋, 浩晃; TAKAHASHI, Hiroaki; 笠原, 稔 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 163-176
Issue Date	1996-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.59.163
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14238
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p163-176.pdf



十勝丸山火山付近での群発地震活動と GPSによる地殻変動観測

高橋 浩晃・笠原 稔・一柳 昌義・本谷 義信

北海道大学理学部附属地震予知観測地域センター

(1995年12月20日受理)

Relation between the Crustal Deformation Detected by GPS and the Earthquake Swarm around the Tokachi-Maruyama Volcano, Central Hokkaido

Hiroaki TAKAHASHI, Minoru KASAHARA, Masayoshi ICHIYANAGI
and Yoshinobu MOTOYA

Reserch Center for Earthquake Prediction Faculty of Science, Hokkaido University

(Received December 20, 1995)

Tokachi-Maruyama volcano is located in northern part of Tokachi-District, central Hokkaido. In 1989, it was confirmed that this volcano had latest eruption in 1898 by a field survey and a historical record. In January, 1989, the nearly same time of the 1988-1989 eruption of Tokachi-dake volcano, about 30 km west of Tokachi-Maruyama volcano, a remarkable earthquake swarm occurred around Tokachi-Maruyama volcano, and it has continued up to date. We made GPS(Global Positioning System) observation around this volcano at September, 1989 and July, 1994. The result of GPS observation indicates that this area has extensional maximum strain to the direction of N80°E and the minimum strain is also extension. Our result is against to the result of triangulation survey in this area between about 80 years. We think that the extension is due to episodic intrusion of some material into the upper-most crust and that it has also caused the earthquake swarm.

I. はじめに

十勝丸山火山は、北海道中央部、十勝支庁北部に位置する活火山である(Fig. 1)。この山域は北海道内でも特に山深い地域であり、麓の集落から火山体や火口が直接望見できず、研究者の間では活動的な火山であるとは認識されていなかった。その結果、例えば理科年表(1992)などの火山リストからも外れていた。しかし、以前からこの山に火口が存在し、噴気活動があることなどが登山者の間などでは知られていた。

この火山に研究者が注目したのは、十勝丸山火山から西へ約30 km離れた十勝岳での1988-1989年の噴火と時期をほぼ同じくして始まった十勝支庁北部の顕著な群発地震活動からである(鈴木ほか, 1989 a, 本谷ほか, 1989, 鈴木ほか, 1989 b, 森谷ほか, 1989, 清水ほか, 1989)。これを機に、

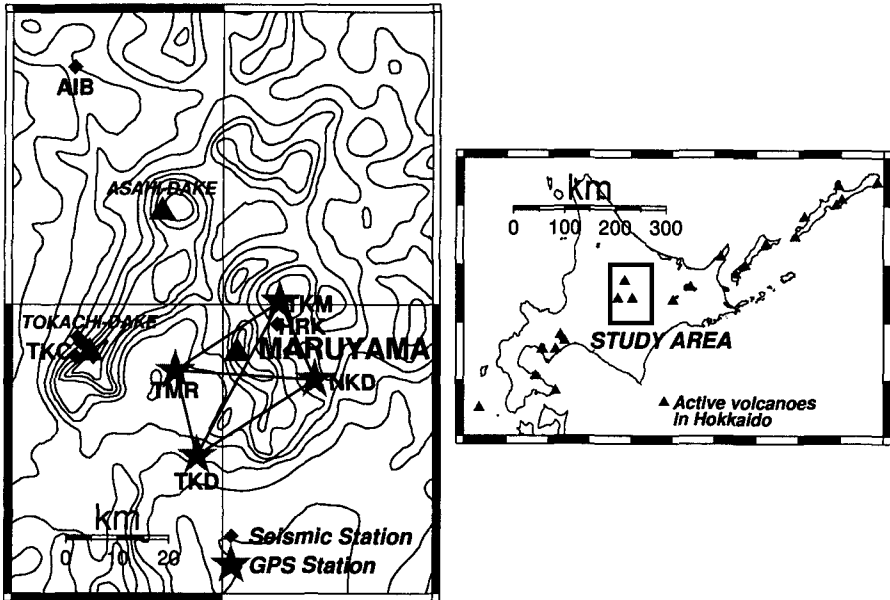


Fig. 1. (a) Location of study area. (b) Map showing the location of Tokachi-Maruyama volcano and GPS (star), seismic (diamond) stations near the Tokachi-Maruyama volcano. TKC seismic station is operated by Usu Volcano Observatory.

1989年7月に第1回目の十勝丸山火山山頂部の爆裂火口周辺部の地質学および地球物理学的調査が実施された(近堂ほか, 1989)。その結果, 山頂東側約200mの地点からN40°W方向に直径100m以内の小火口8個と, 第1, 第3火口が延長約1.2kmにわたって線状配列し, 顕著な裂目火口を形成していること(Fig. 2), 第3火口内には硫気活動が存在し, 90°C前後の地温があることなどが明らかになった。また, この調査から約1ヶ月後に, 帯広市在住の郷土史研究家, 井上寿氏による古文書調査の結果, 十勝丸山火山は1898年12月3日頃に最新の噴火を起こしていたことが明らかになった(帯広畜産大学ほか, 1989)。また, 1991年8月には第2回目の現地調査が実施され, より詳細な基礎データの収集を行なった(岡崎ほか, 1991)。これらの調査をふまえて, 火山噴火予知連絡会は1991年2月1日に十勝丸山火山を活火山と認定した。

また, 斎藤・中川(1993)は, 十勝丸山火山を含む東大雪山系ニベソツ山周辺域の地質調査について報告しており, この地域のニベソツ山, 天狗岳, 軍艦山などが約0.6Maに活動をはじめた第4紀火山群であることを岩石学的に明らかにし, これらを広義のニベソツ火山群とした。このニベソツ火山群の東方の十勝三股-糠平地域においては, 複数のカルデラ性の陥没地形が推定されている(山岸・松波, 1978)。また, 直径約10-15kmに及ぶ十勝三股盆地とその周辺には, 厚い火砕流堆積物が存在することから, この盆地が第3紀のカルデラである可能性が指摘されている(荒牧ほか, 1993)。ここで, 十勝丸山火山を含むニベソツ火山群の一連の活動を, 十勝三股カルデラの再活動とするととらえかたもできるが, 十勝三股盆地がカルデラであるか判断を下せるような地質学的, 地球物理学的データが揃っておらず, ここではこれ以上の言及は避ける。

本報告では, 十勝丸山火山地域での1988年以降の群発地震活動の概要と, この付近で実施されたGPS(Global Positioning System)観測によって得られた地殻変動について報告する。

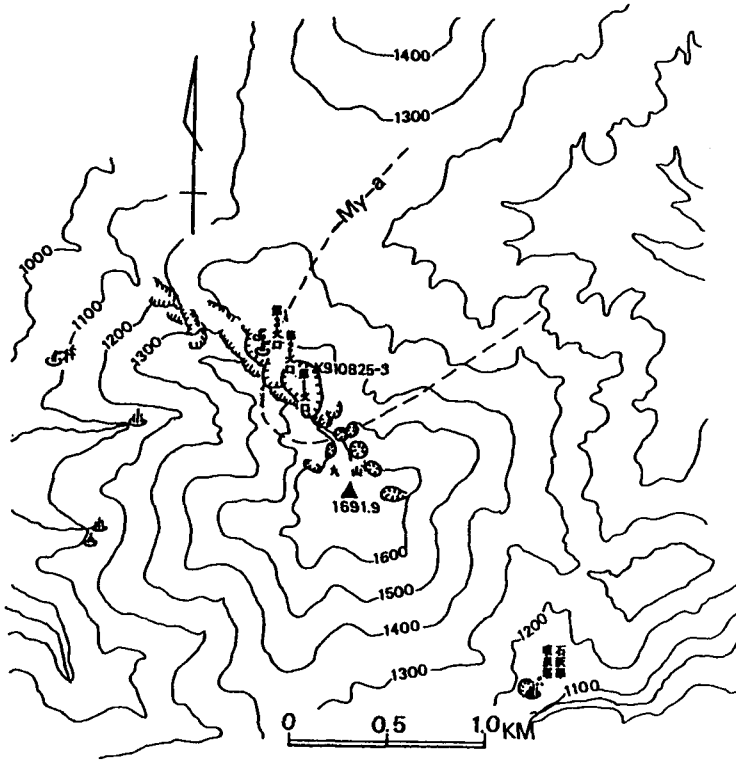


Fig. 2. Map showing the distribution of craters at summit of Tokachi-Maruyama volcano(After Kondo *et al.*, 1989). There are three big craters and eight small ones. Craters stand in line to the direction of N40° W. My-a indicates the distribution of explosion deposit by 1989 eruption.

II. 地震観測の概要

十勝丸山火山西方約 30 km にある十勝岳は、1962 年の噴火以来 26 年ぶりに 1988 年 12 月 16 日から噴火を始め、1989 年 3 月 15 日までに 21 回の爆発的噴火を繰り返した。この噴火が始まってから約 1 ヶ月後の 1989 年 1 月 14 日から、十勝支庁北部、十勝丸山火山付近で顕著な群発地震活動が始まった。北海道大学理学部では、震源域の近くに臨時地震観測網を展開して、この群発地震の調査研究を行なった（たとえば鈴木ほか、1989 a）。

1989 年 10 月には群発地震活動はほぼ終息したが、この地域でのその後の地震活動をモニターするために、震源域に近い幌加温泉 (HRK) に地震計を設置した。データはテレメータ装置により札幌の北海道大学理学部附属地震予知観測地域センターにリアルタイムで送られている。この幌加 (HRK) 観測点のほかに、北海道大学理学部附属地震予知観測地域センターと有珠火山観測所によって維持されている地震観測網を含めた形で、十勝丸山火山付近の地震活動を監視している (Fig. 3)。附属地震予知観測地域センターでは、1993 年に地震観測システムの更新を行っており、それ以降地震検知能力が向上していることに注意する必要がある。

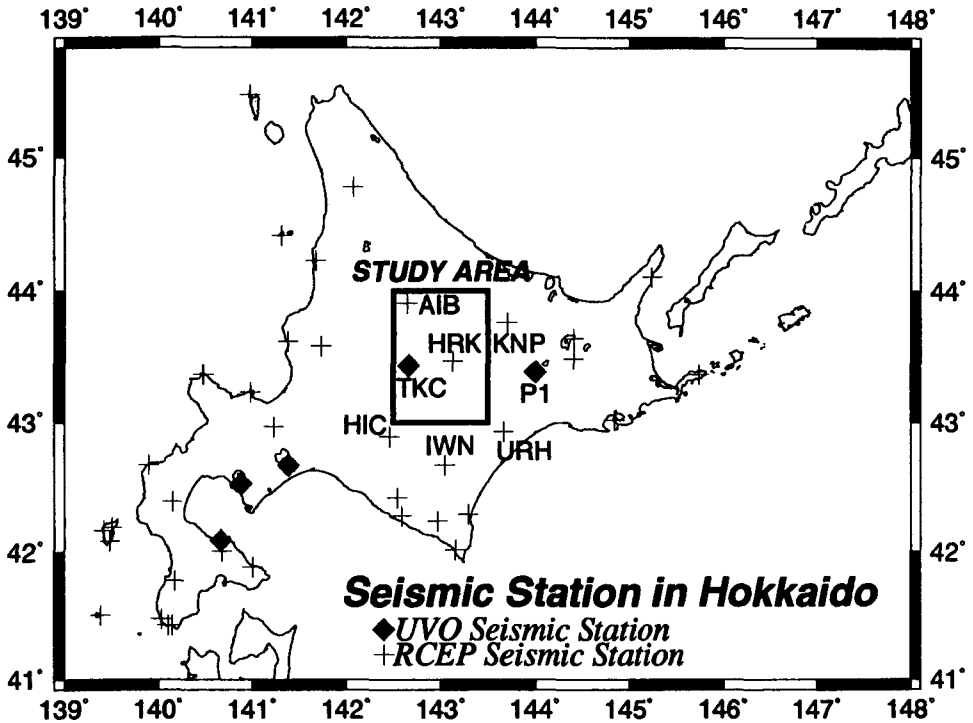


Fig. 3. Map showing the distribution of seismic stations in Hokkaido operated by Hokkaido University. Diamonds and crosses show the stations operated by Usu Volcano Observatory and Research Center for Earthquake Prediction, respectively.

III. GPSの観測と解析の概要

北海道大学理学部では、この地域でのローカルな地殻変動を検出する目的で、群発地震震源域すなわち十勝丸山火山を取り囲む形で、1989年にGPSの観測点を4点、十勝三股(TKM)、糠平ダム(NKD)、十勝ダム(TKD)、トムラウシ(TMR)に設置した(Fig. 1)。基線長は、最も長い十勝三股、十勝ダム間で約34 kmである。GPSの基線長に対する観測精度は、現在では0.1 ppm以下となっており、この観測網においては、少なくともセンチメートルの桁の地殻変動は十分に捉えられると考えられる。

これらのGPS観測点において、筆者らは現在まで6回の観測を行ってきた(Table 1)。この中で、1989年1月と4月の観測は、十勝ダムとトムラウシのみでの観測であり、1990年の観測データは、放送暦の取得が完全ではなかった。1994年と1995年の観測の間には、GPS観測により北海道全域に地殻変動を及ぼしたことが明らかになった1994年北海道東方沖地震(高橋ほか, 1994, Tsuji et al., 1995)を挟んでいるため、この地域においてもその影響があると考えられる。以上のような経緯から、本報告では1989年と1994年の観測による解析結果についてのみの報告とする。

使用したGPS受信機は、1989年はWild-WM102、1994年はGP-R1DY(Ashtech Z-XIIのOEM版)である。1989年の解析には放送暦を使用した。1994年の解析においてはIGS(International GPS Service for Geodynamics)が作成した精密暦を使用した。解析ソフトウェアは全観測ともBernese GPS Software Ver. 3.4を用いた。なお、1989年の解析は、L1のみを用いた解析を行なった。

Table 1. The GPS campaigns in this area from 1989. We made sixth campaign. In this issue, we used only September 1989 and July 1994 data.

YEAR	MON	DAY	STATION	RECEIVER
1989	Jan.	14, 15, 16, 17	TMR, TKD	Wild-WM102
1989	Apr.	22, 23, 24, 25, 26	TMR, TKD	Wild-WM102
*1989	Sep.	10, 11, 12, 13	TMR, TKD, NKD, TKM	Wild-WM102
1990	Jun.	18, 19, 20, 21, 22	TMR, TKD, NKD, TKM	Wild-WM102
*1994	Jul.	17, 18, 19	TMR, TKD, NKD, TKM	Ashtech Z-XII
1995	Jun.	13, 14, 15, 16	TMR, TKD, NKD, TKM	Ashtech Z-XII

*gps campaign used in this study

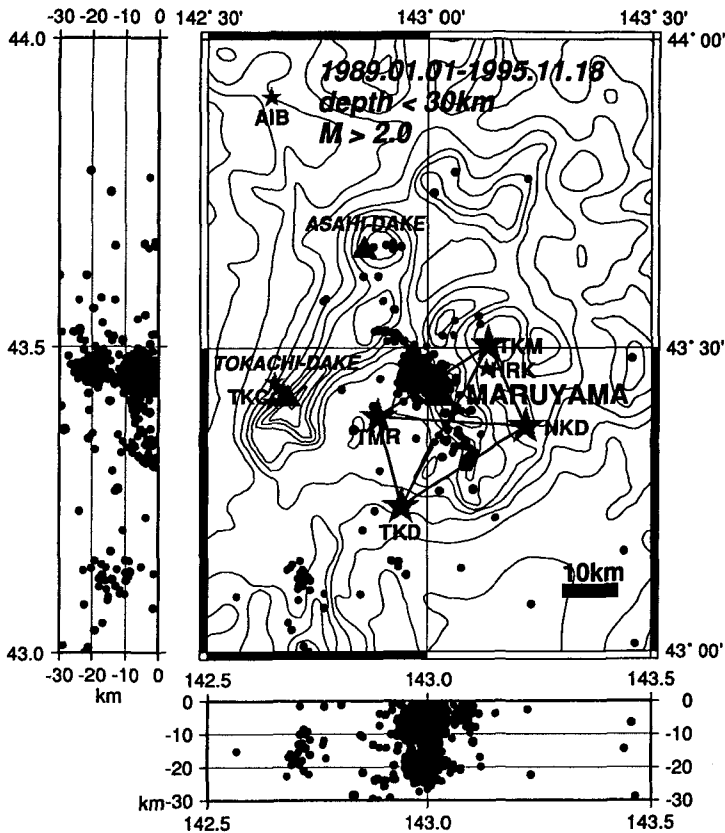


Fig. 4. Map showing the distribution of hypocenters around Tokachi-Maruyama volcano from January 1989 to November 1995. We selected the earthquakes with magnitude greater than 2 and depth less than 30 km. All hypocenter were determined by more than four seismic station data.

IV. 地震活動

1989年からの十勝支庁北部地域における地震活動をまとめてみる。Fig. 4は1989年1月から1995年10月までに地震予知観測地域センターのルーチン処理によって決定された震源分布である。用いた

震源データは4観測点以上で観測されたマグニチュード2以上で、深さ30kmより浅いものである。1989年の群発地震については、定常観測データからマスターイベント法で求めた震源(本谷ほか, 1989)と臨時観測を用いた震源(鈴木ほか, 1989b)が得られているが、ここではデータの統一性を保つためにルーチン処理による震源を用いている。また、北緯43度8分・東経142度40分付近と旭岳付近の地震群は、十勝丸山火山付近の群発地震活動とは別個のものとして考え、今回は扱わないこととする。

震源分布は、十勝丸山火山を中心として、北北西-南南東方向の約16kmに及ぶ線状配列をなして

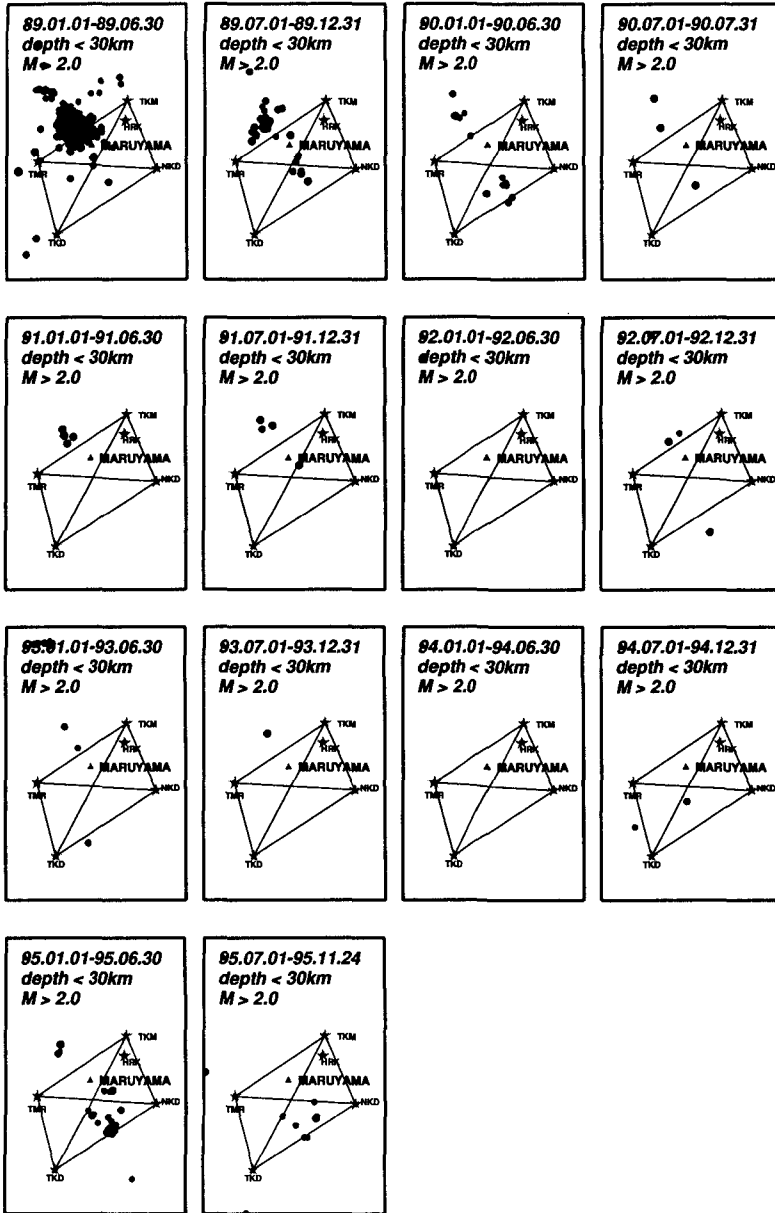


Fig. 5. Display of semiannual epicenter distribution from January 1989 to November 1995, with magnitude greater than 2 and depth less than 30 km.

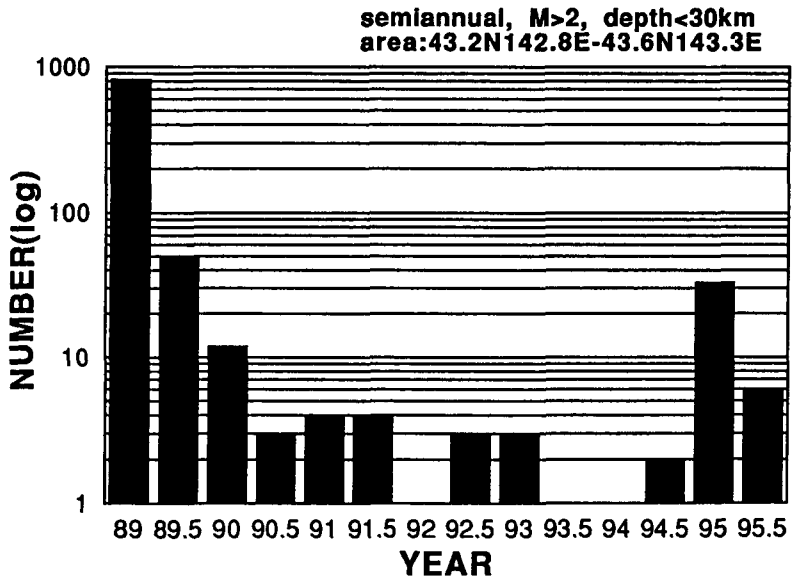


Fig. 6. Histograms of semiannual number of earthquake around Tokachi-Maruyama volcano($43.2^{\circ} N142.8^{\circ} E-43.6^{\circ} N143.3^{\circ} E$) from January 1989 to November 1995, with magnitude greater than 2 and depth less than 30 km.

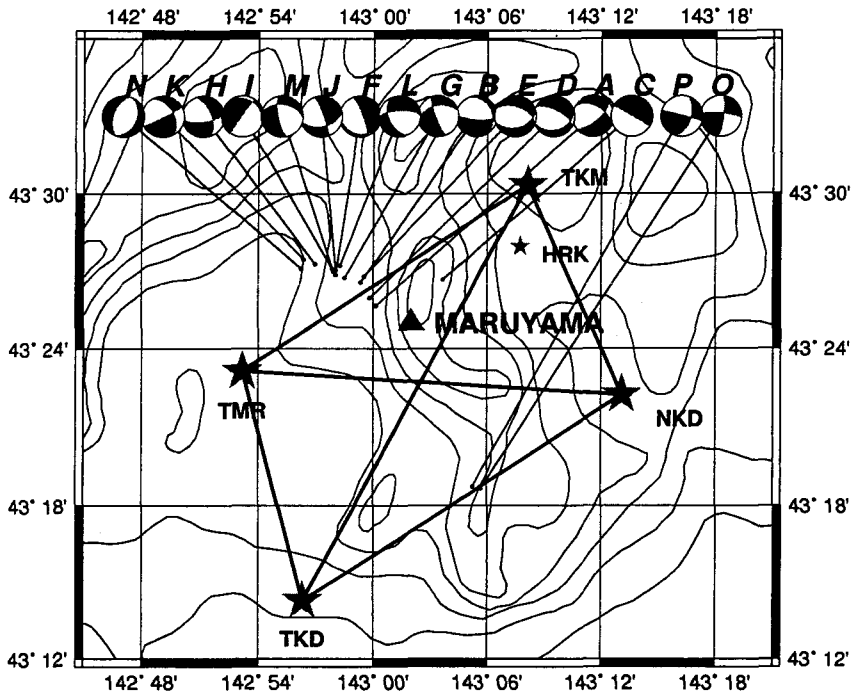


Fig. 7. Map showing earthquake of the source mechanisms in this area. We determined the source mechanism by P-wave initial motion data of more than six stations. At southeast region(P and O earthquakes), there are strike-slip type mechanism. At southwest region, almost mechanisms are mix of normal fault and strike slip fault type mechanism.

Table 2. Earthquake catalog used for determination of the earthquake source mechanism in Fig. 6 and the results. MAG and STR mean magnitude and strike, respectively. The unit of STR (strike), DIP, SLIP, P-axis and T-axis are degree.

YEAR	MON.	DAY	TIME	LAT.	LON.	DEP.	MAG.	STR	DIP	SLIP	STR	DIP	SLIP	P-axis	T-axis	
A	1989	1	15	9:17:28	43.428 N	143.002 E	4.5KM	3.7	A	50 66 -134	B	298 49 -32	P	272 48	T	170 10
B	1989	1	15	23:21:31	43.443 N	142.989 E	12.0KM	4.2	A	94 74 -110	B	330 25 -37	P	338 55	T	200 27
C	1989	2	3	17:02:03	43.445 N	143.061 E	3.8KM	3.2	A	300 89 -90	B	120 0 -89	P	210 45	T	30 44
D	1989	2	9	1:01:41	43.433 N	142.997 E	6.1KM	3.2	A	72 32 -129	B	297 65 -67	P	242 62	T	11 18
E	1989	2	9	8:45:09	43.447 N	142.992 E	7.8KM	3.6	A	75 42 -117	B	291 53 -67	P	257 70	T	5 6
F	1989	2	9	8:49:17	43.448 N	142.967 E	8.3KM	3.2	A	114 14 -134	B	339 79 -79	P	261 54	T	60 34
G	1989	2	14	23:17:51	43.446 N	142.975 E	7.2KM	3.9	A	258 48 -168	B	160 81 -42	P	110 34	T	216 21
H	1989	2	27	10:08:01	43.455 N	142.949 E	4.7KM	3.7	A	83 67 -145	B	338 58 -26	P	303 39	T	209 5
I	1989	2	27	23:05:26	43.452 N	142.964 E	7.9KM	2.9	A	313 19 -170	B	214 86 -71	P	143 44	T	287 39
J	1989	3	6	7:31:50	43.451 N	142.967 E	7.6KM	3.7	A	78 48 -169	B	340 81 -42	P	290 34	T	36 21
K	1989	6	8	3:20:53	43.458 N	142.939 E	7.8KM	3.2	A	62 86 -140	B	329 50 -5	P	294 29	T	189 23
L	1989	7	26	15:04:10	43.454 N	142.971 E	5.4KM	3.5	A	268 67 -133	B	156 48 -30	P	131 47	T	28 11
M	1989	7	29	19:53:42	43.45 N	142.965 E	7.5KM	3.2	A	278 42 -155	B	169 73 -50	P	120 46	T	231 19
N	1989	9	14	4:45:34	43.452 N	142.937 E	7.5KM	3.1	A	20 38 -90	B	200 51 -90	P	110 83	T	290 6
O	1995	1	28	2:46:20	43.311 N	143.095 E	3.5KM	3.6	A	275 78 168	B	7 78 11	P	321 0	T	231 16
P	1995	2	18	16:43:34	43.312 N	143.087 E	4.2KM	3.3	A	285 88 142	B	16 53 2	P	337 23	T	234 26

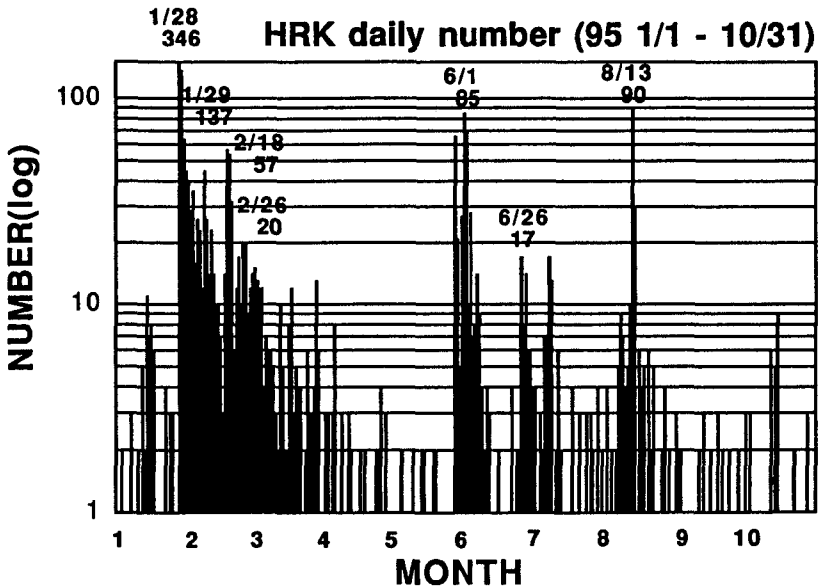


Fig. 8. Graph showing the daily number of earthquake observed at HRK seismic station from January 1995 to October 1995.

いる。Fig. 5は1989年1月から半年毎に区切った震源分布であり、Fig. 6は同じく半年毎の地震の数のグラフである。1989年前半の活動が最も顕著であり、1990年から1994年の間は地震活動度が低い。また、地震活動が活発な1989年と1995年は、それぞれ群発地震震源域の北西、南東域での活動が顕著である。また、1989年と1995年の活動域の中間域は地震活動度が低い。従って、北西部の活動と南東部の活動を別個の地震群とみなすこともできる。しかし、ここではこれらを一連の活動とみなし、その地震活動域を線状配列とみなすと、その方位角はN 63° Wになる。

次に、1989年以降にこの地域で発生した6観測点以上でP波初動方向が読み取れたマグニチュード3.0以上の地震の震源メカニズムを求めた(Fig. 7, Table 2)。群発地震震源域南東部では、ほぼ純粋なストライクスリップであり、P軸は北西-南東方向である。震源域北西部では、ストライクスリップ成分を多少含んだ正断層型が卓越しており、T軸はほぼ南北から南西-北東方向を向いている。

また、幌加観測点(HRK)でしか観測されない地震を含めた、震源決定ができない小さな地震も数多く起きている。Fig. 8は1995年1月からの幌加観測点で観測された地震の1日あたり回数の分布である。1月28日に、この期間最大のM 3.6の地震が発生し、最大数346個を観測した。8月中旬の地震活動の活発な時期には、西方に約30 km離れた十勝岳で火山性微動が観測された。この地域での地震活動と十勝岳の活動との関係は、鈴木(1992)などによって指摘されており、興味深い現象である。

V. GPSによる地殻変動観測の結果

1989年9月と1994年7月に行われたGPS観測のデータを解析した。1989年の十勝ダム(TKD)の観測データは、データの質が悪く、今回の解析からは除外した。従って、ここでは十勝三股(TKM)、糠平ダム(NKD)、トムラウシ(TMR)の3観測点の間の3基線の解析を行なった。その結果をFig. 9

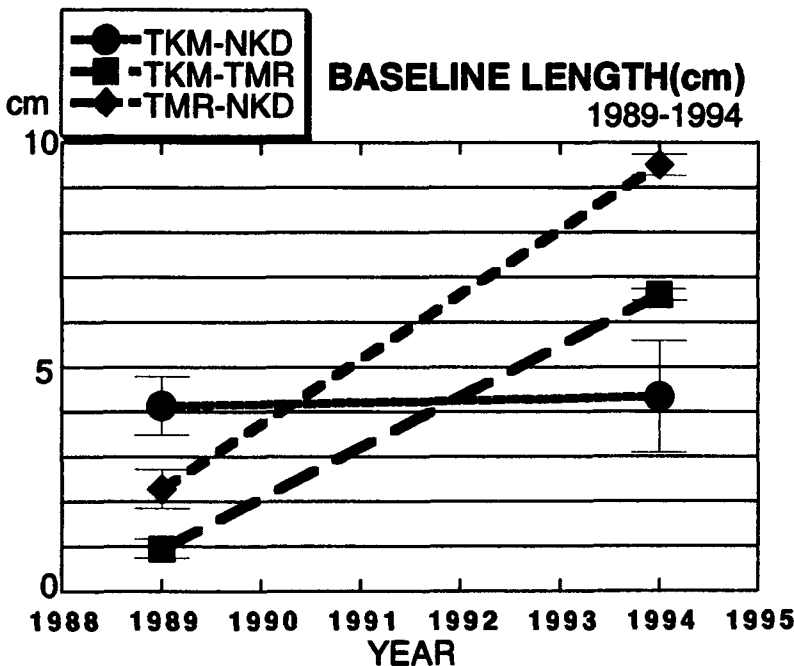


Fig. 9. Length change of each baseline by GPS observation from 1989 to 1994.

Table 3. Results of GPS data analysis by Bernese GPS Software Ver.3.4. All unit is meter. It shows the baseline length for each day of year. AV and SD show the average and the standard deviation of each GPS campaign, respectively. Accuracy of the result is less than 1cm except for TKM-NKD baseline of Jun 1994. We calculate the linear strain of each baseline from the average value of 1989 and 1994 baseline length.

TKM-NKD	BASELINE(m)		TKM-TMR	BASELINE(m)		TMR-NKD	BASELINE(m)	
Sep-89	253	16097.5681	Sep-89	253	25347.3962	Sep-89	253	27149.5862
	254	16097.5704		254	25347.3931		254	27149.5861
	255	16097.5581					255	27149.5937
	AV	16097.5655		AV	25347.3946		AV	27149.5887
	SD	0.0065		SD	0.0021		SD	0.0043
Jul-94	198	16097.5597	Jul-94	198	25347.4528	Jul-94	199	27149.6584
	199	16097.5774		199	25347.4509		200	27149.6617
	AV	16097.5686		AV	25347.4517		AV	27149.6601
	SD	0.0125		SD	0.0013		SD	0.0024
89-94	0.0031			0.0571			0.0714	
STRAIN	1.91E-07			2.25E-06			2.63E-06	
STRAIN/YR	3.81E-08			4.51E-07			5.26E-07	

と Table 3 に示す。各基線解の観測誤差は、94 年の十勝三股—糠平ダム基線を除いて 1 cm 以下である。これらの値から得られた直線歪みを Fig. 10(a) に示す。群発地震震源域を挟んだトムラウシからの基線が約 2×10^{-6} の伸びを示している。また、十勝三股、糠平ダムの基線は、それらよりも一桁小さな約 2×10^{-7} の伸びを示している。これらの 3 基線の解析結果から、最大歪み軸を求めてみた (Fig. 10b)。ほぼ東西方向の $N 80^{\circ} E$ に主軸を持つ伸張場であることがわかり、最大歪速度は $5.54 \times 10^{-7}/yr$ である。また、最小歪みは最大歪みよりも 2 桁も小さく、その値は $2.08 \times 10^{-9}/yr$ の伸びであった。

VI. 考 察

はじめに、GPS から求めた歪みについて考察をおこなう。筆者らの結果は、十勝丸山火山周縁域が、 $N 80^{\circ} E$ に最大軸をもつ伸張場に支配されていることを示しており、その歪みの大きさは $5.54 \times 10^{-7}/yr$ である。この GPS 観測で得た歪場は、Fig. 7 で示されている十勝丸山火山西方域で発生した正断層型の地震によってもたらされた可能性が高い。しかし、GPS で得られた伸びの方向 ($N 80^{\circ} E$) と、震源メカニズムから得られる T 軸の方向に若干の差が生じている。この原因としては、メカニズムを決定する際の地震観測点配置に起因する任意性などが考えられるが、なお詳細な検討が必要である。

ここで、国土地理院 (1987) が 1909-1917 年と 1982-1983 年に実施した三角測量から得られたこの地域の歪場をあわせて Fig. 11 に示す。国土地理院の結果によると、この地域では $N 73^{\circ} W$ に最大圧縮軸をもち、その大きさは $1.86 \times 10^{-7}/yr$ である。また、最小軸は $N 17^{\circ} E$ 方向の伸張を示し、その大きさは $1.57 \times 10^{-7}/yr$ である。この方位角は、震源の線上配列の方位角 ($N 63^{\circ} W$) と調和的である。筆者らの GPS 観測による結果は、最大軸が $N 80^{\circ} E$ の伸張、最小軸は最大軸の値よりも 2 桁小さい伸張となっており、国土地理院の結果とは調和的ではない。この原因として、国土地理院の測量が行われた時期が、この地域の群発地震が始まる以前のものであることがあげられる。札幌管区気象台 (1989) に

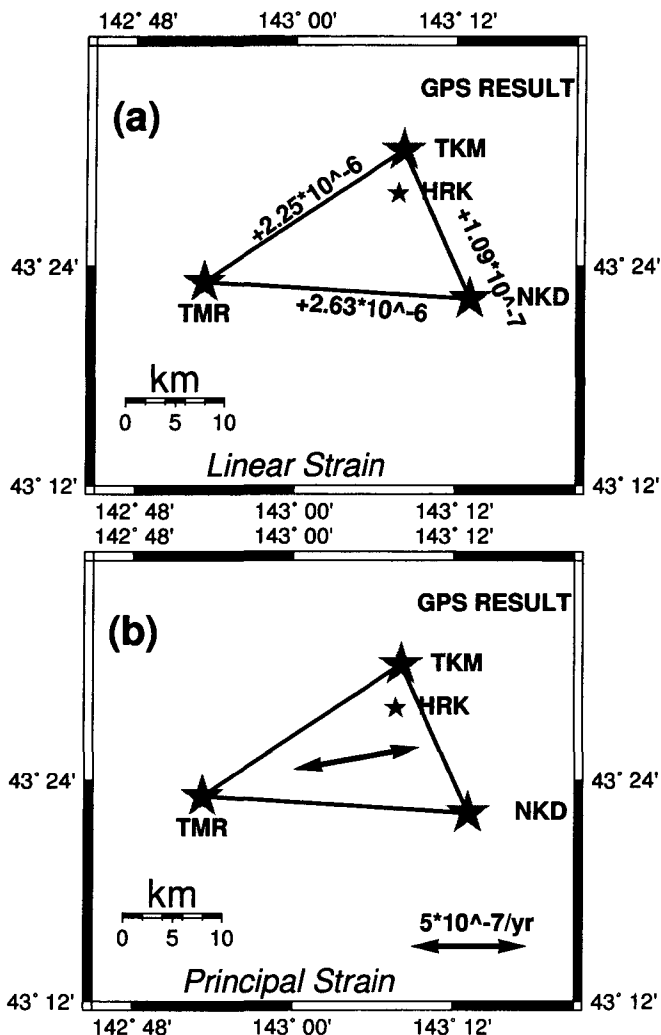


Fig. 10. (a)Map showing the linear strain detected by GPS observation from 1989 to 1994. (b)Showing the principal axis of strain assuming the plane strain state from the observed linear strain. It indicates that this area have the maximum extension strain component to the direction of N80° E. The minimum component of the principal axis of strain was smaller about two order than maximum strain.

よると、この地域においては、1926年以降で1989年の群発地震が始まる以前には、地震検知能力の問題もあるものの特に顕著な地震活動は知られていない。したがって、筆者らのGPS観測により得られた結果と国土地理院の三角測量の結果が異なっていることは、筆者らの結果が一連の群発地震活動によってもたらされたものであることを示している可能性が高い。逆に、地殻変動をもたらす要因となったものが、一連の地震活動を引き起こしたとも考えられる。

群発地震の原因として、GPS観測の結果からこの地域がN80°Eの伸張歪みに強く支配されていることが判明したことから、何等かの物質の震源域への貫入が考えられる。実際に、この群発地震震

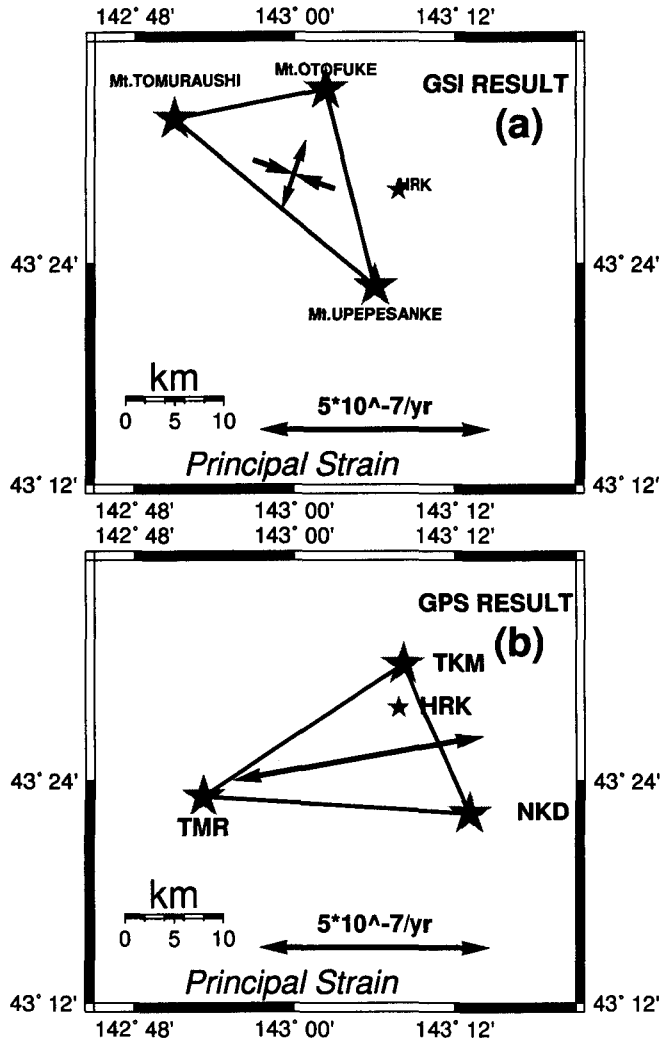


Fig. 11. (a) Map showing the principal axis of strain by GSI (Geographical Survey Institute) triangulation survey from 1909–1983. It indicated that this area had compressional maximum strain to the direction of N70° W. (b) Map showing the principal axis of strain by GPS survey from 1989 to 1994. It indicates that this area have the extensional maximum strain to the direction N80° E. It was against to the GSI result. We think the difference indicate that our GPS result shows the crustal deformation deduced by the earthquake swarm from 1989 in this area.

源域の中央に約 100 年前に噴火を起こした十勝丸山火山が存在し付近に高温の温泉も多いことから、貫入物質としてマグマあるいはマグマに起因する熱水の可能性も否定できない。鈴木(1992)は、震源の移動速度から、群発地震を引き起こした原因は熱水以外には考えられないと述べている。貫入物質の特定のためには、たとえば溶融体反射面検出を目的とした高密度な地震観測などが必要である。

VII. 結 論

筆者らは、顕著な群発地震活動が1989年から継続している十勝支庁北部、十勝丸山火山付近でのGPS観測を行なった。1989年と1994年の観測結果から、この地域では、方位角N80°Eに歪みの最大主軸を持った $5.54 \times 10^{-7}/\text{yr}$ の伸張歪みによって強く支配されていることが明らかになった。この原因として、まず広域的な歪場の変化が考えられるが、国土地理院による過去約80年間の三角測量から得られた結果と一致しないことから、今回GPS観測によって得られたものは、一時的な変動と解釈するのが妥当である。その原因としては、何らかの物質（マグマや熱水など）の震源域への貫入も考えられる。しかし、現時点でそれらの物質を断定するデータがそろっておらず、そのためには溶融体反射面の検出などを目的とした高密度な地震観測が必要である。また、より高密度でのGPS観測が不可欠であり、それらのデータを用いた地殻変動モデル（例えばOkada, 1985）をインバージョンによって求めてみることも必要である。

謝辞 GPS観測や解析の際に、北海道大学理学部附属地震予知観測地域センターの鈴木淳志氏の協力を頂いた。観測にあたっては、北海道開発局十勝ダム管理事務所、幌加温泉湯元鹿の谷の協力を頂いている。震源メカニズムの決定には、弘前大学理学部附属地震火山観測所の小菅正裕先生のプログラムを加筆、修正して使わせて頂いた。本論で使用した震源データは、北海道大学理学部附属地震予知観測地域センターのスタッフによって決定されたものである。ここに記して感謝の意をあらわしたい。

文 献

- 荒牧重雄, 岡田 弘, 中川光弘, 斎藤 宏, 森 濟, 近堂祐弘, 勝井義雄, 鈴木貞臣, 1993. 丸山-火山地質・活動史・活動の現況および防災対策, 北海道における火山に関する研究報告書第12編. 北海道防災会議. 82 pp
- 国土地理院, 1987. 日本の地殻水平歪; 1985-1883
- 国立天文台編, 1992. 理科年表. 1040 pp
- 近堂祐弘, 小柳敏郎, 河内晋平, 中川光弘, 鈴木貞臣, 長谷川 栄, 山之内 統, 川辺百樹, 岸 功志, 岡久保幸, 1989. 東大雪山系丸山火山の最新の活動. 日本火山学会講演予稿集, 1989-2, 160
- 帯広畜産大学環境土壌学研究室, 帯広畜産大学地学研究室, 北海道大学理学部地質学鉱物学教室, 北海道大学理学部地震予知観測地域センター, 1989. 東大雪山系丸山火山の最新の活動. 火山噴火予知連絡会会報, 46-58
- 森谷武男, 鈴木貞臣, 笠原 稔, 本谷義信, 笹谷 努, 道脇正則, 松島 健, 古村 孝志, 宮腰 研, 岡田 広, 1989. 十勝支庁北部の群発地震活動II. 地震学会講演予稿集, 89-1, 290
- 本谷義信, 鈴木貞臣, 岡田 弘, 1989. 十勝岳周辺の浅発地震活動. 地震学会講演予稿集, 1989-2, 145
- 中村一明, 1988. 地殻の力学的弱点としての火山-伊豆大島火山の例-, 火山, 33, 伊豆大島噴火特集号, S1-S6
- Okada, Y, 1985. SURFACE DEFORMATION DUE TO SHEAR AND TENSILE FAULTS IN A HALF-SPACE, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1135-1154
- 岡崎紀俊, 村山泰司, 宮村淳一, 小柳敏郎, 近堂祐弘, 岡山宗男, 鈴木貞臣, 笠原 稔, 1991. 東大雪山系丸山火山の地球物理, 化学的調査, 日本火山学会講演予稿集, 1991-2, 105
- 斎藤 宏, 中川光弘, 1993. 北海道中央部, 第四紀ニペソツ火山群と周辺火山群の地質及び岩石. 日本火山学会講演予稿集, 1993-2, 19
- 札幌管区气象台, 1989. 1989年十勝支庁北部の群発地震. 北海道地震火山月報, 1989-3, 32-35
- 清水 洋, 大見士郎, 宮町宏樹, 前川徳光, 鈴木貞臣, 笠原 稔, 田中和夫, 1989. 十勝岳広域地震観測; 十勝支庁北部の群発地震活動. 日本火山学会講演予稿集, 89-1, 35
- 鈴木貞臣, 笠原 稔, 本谷義信, 岡山宗夫, 石川春義, 岡田 広, 笹谷 努, 森谷 武男, 松島 健, 竹中博士, 高木郎

- 充, 道脇正則, 宮腰 研, 西田泰典, 宮町宏樹, 前川徳光, 岡田 弘, 清水 洋, 田中和夫, 1989 a. 十勝岳周辺の地震観測. 1988年十勝岳火山噴火の推移, 発生機構及び社会への影響に関する調査研究(勝井義雄編), 突発災害調査報告書, 北海道大学, 57-65
- 鈴木貞臣, 本谷義信, 岡山宗夫, 石川春義, 笠原 稔, 1989 b. 1989年十勝支庁北部の群発地震活動と丸山火山, 十勝岳との関係, 日本火山学会講演予稿集, 89-2, 46
- 鈴木貞臣, 本谷義信, 岡山宗夫, 石川春義, 1989 c. 1989年十勝支庁北部の群発地震活動III: 丸山火山, 十勝岳との関係, 地震学会講演予稿集, 89-2, 146
- 鈴木貞臣, 1992. 群発地震の震源と噴火火口の線状配列; 1989年十勝支庁北部群発地震と東大雪山系丸山火山. シンポジウム内陸地震の発生のもと物理, 33-39
- 高橋浩晃, 笠原稔, 三浦哲, 田中和夫, 1994. 1994年北海道東方沖地震に伴うGPS広域観測による地殻変動. GPS研究会(GPSシンポジウム1994)集録, 149-154
- Tsuji, H., Y. Hatanaka, T. Sagiya, and M. Hashimoto, 1995. Coseismic crustal deformation from the 1994 Hokkaido-Toho-Oki earthquake monitored by a nationwide continuous GPS array in Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1669-1672
- 山岸宏光, 松波君雄, 1976. 5万分の1地質図幅及び説明書「糠平」. 40 pp, 北海道立地下資源調査所