



Title	屈斜路カルデラにおける稠密GPS観測
Author(s)	高橋, 浩晃; 一柳, 昌義; 田村, 慎; ワイダカ, フンジャ; 笠原, 稔
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 64, 155-164
Issue Date	2001-03-27
DOI	10.14943/gbhu.64.155
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/14295
Type	bulletin (article)
File Information	64_p155-164.pdf



[Instructions for use](#)

屈斜路カルデラにおける稠密 GPS 観測

高橋 浩晃・一柳 昌義・田村 慎・ワイダカ フンジャ・笠原 稔

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

(平成13年1月12日受理)

Dense GPS Network in Kutcharo Caldera, Hokkaido, Japan

Hiroaki TAKAHASHI, Masayoshi ICHIYANAGI, Makoto TAMURA,

Hunja WAITHAKA and Minoru KASAHARA

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science,

Hokkaido University

(Received January 12, 2001)

Kutcharo caldera is situated in the eastern part of Hokkaido island, northern Japan, and is approximately 20–26 km across. Many shallow medium-size tectonic earthquakes ($M < 6.5$) have frequently occurred within the caldera. To investigate the strain distribution and accumulation near the seismic faults, we established a dense GPS network with 31 sites and have made temporal observations three times since 1997. From comparison of 1999 and 1997 GPS observation data, we calculated the displacement field, which shows that N-S extension is dominant in this region. These results are consistent with those obtained from electrical distance measurement (EDM), triangulation survey and focal mechanism solutions of 1959 earthquakes. It implies that Kutcharo caldera has been under extensional strain field.

I. はじめに

屈斜路カルデラは、北海道東部に位置する東西径約 26 km、南北径約 20 km に及ぶ巨大カルデラである。勝井ほか (1986) によると、このカルデラは約 3 万年前の複数回にわたる大規模なデイサイト質火砕流の噴出によって形成されたと考えられている。屈斜路カルデラを形成する活動の後、その中央部にアトサヌプリ火山を生じ、約 1 万数千–2 万年前にかけてデイサイトの火砕流を噴出して中央部にアトサヌプリカルデラを生成した。その後、アトサヌプリカルデラ内外に合計 10 個のデイサイト質溶岩ドームが噴出した。また、屈斜路カルデラの東壁には約 1 万 5 千年前から摩周火山が噴出し、約 7 千年前の大規模な降下軽石・火砕流噴火によりその頂部に摩周カルデラを生じた。これら一連の屈斜路カルデラ内での火山活動のうち、最新の活動と考えられて

いるものは、新期アトサヌプリ火山で数百年前に熊落し火口を開いた水蒸気爆発である。

また、屈斜路カルデラは浅発内陸地震活動が活発な地域であり、北海道の内陸地震としては最大規模の M 6 を超える地震が発生する地域である。しかし、北海道の他地域と同様に古くまでの地震記録を調査することは難しく、田中館 (1938) のアイヌ古老からの聞き書き記録が最も古くまでこの地域の地震活動を辿れる資料である。文献記録に残る中で最初の地震は、1938 年 5 月 29 日の屈斜路地震 ($M_{jMA}6.0$) である。この地震では、札友内-ヌプリオンド-丸山-和琴半島の北西-南東に連なる地域で顕著な地変や小断層が生じていることが報告されており、この付近に起震断層が想定されている (たとえば、津屋, 1938)。この地震以降も、M 6 以上の地震が 1959 年 1 月 31 日 5 時と 7 時、1967 年 11 月 4 日に発生しており、これらの地震を引き起こした断層の位置は、地変や震度分布などから奥春別地域に推定されている (松本, 1959; 広田, 1969; 活断層研究会, 1991)。ここで挙げた 1938 年以降の一連の地震活動は、火山活動を伴っていないこともあり、構造的な地震と考えられている。

このように、屈斜路カルデラは地震・火山などの地殻活動が活発な地域であり、これまでも種々の地球物理的諸観測が行われてきた (たとえば、広田, 1969; 笠原ほか, 1978; 本谷・一柳, 1996)。ところで近年、GPS (Global Positioning System; 汎地球測位システム) を用いた地殻変動観測が各地で精力的に行われており、地震・火山活動に伴う変動が観測されている。GPS の座標決定精度は 1 cm 程度まで向上してきており、この地域で想定される M 6 程度の地震の断層運動に伴う変動を検出することは十分に可能である。また、地殻変動観測を繰り返し行うことによって、次の地震発生に至るまでの歪の蓄積や、その時空間変動が検出可能であると考えられる。これらの目的のため、屈斜路カルデラに新たに GPS 観測網を構築し観測を実施したので、その概要を報告する。

II. GPS 観 測 網

この地域で想定されている地震は、最大で M 6.5 であり、これは松田 (1975) の式によると長さ 15 km, 平均すべり量 80 cm 程度の断層に相当する。GPS 観測点は、このような中規模地震による地殻変動を効果的に捉えるために、屈斜路カルデラ内に稠密に配置された (Fig. 1)。観測点は、表層地盤の擾乱による影響を受けにくいように、基礎が打ち込まれた RC の建物に設置することが望ましい。この条件を満たす観測点として、弟子屈町内に散在している町営水道の配水施設を利用した (13 点)。Fig. 2 に、水道施設観測点の一例として TS 12 (重内) 観測点の例を示す。観測点は水道施設の屋根にドリル削孔して 5/8 インチのステンレスボルトを埋設固定する形をとった。このほか、町が管理する他の施設にも観測点を設置し (7 点)、また、北大地震火山センターの地震観測点 (3 点)、国土地理院の三角点 (3 点) および GPS 連続観測点 (1 点)、露岩 (1 点)、コンクリート打ち込み (2 点) を加え 31 点からなる観測網を構築した。三角点以外の観測点は、埋め込みボルト式アタッチメントであるため、アンテナ設置は 1 cm 以内の高精度で行うことができる。

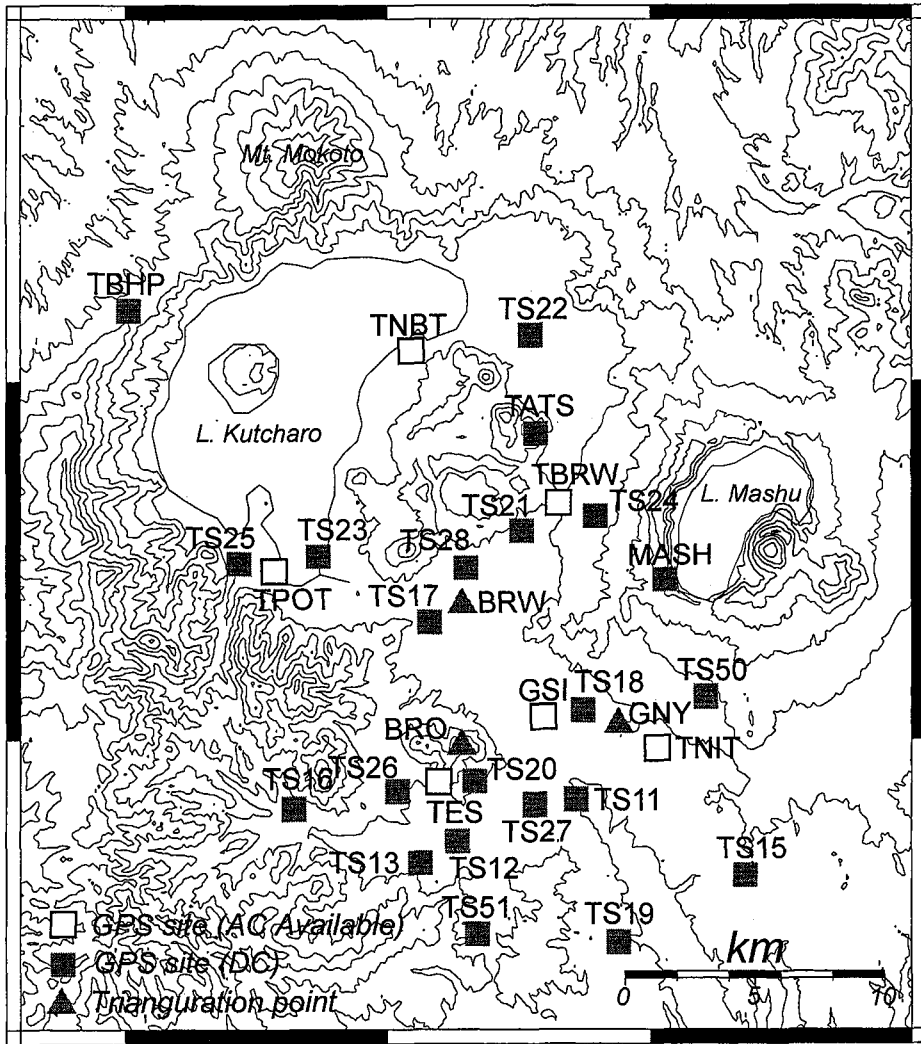


Fig. 1. Map showing the GPS network in Kutcharo caldera.

III. 観測およびデータ解析

観測は、1997年4月、1998年4月と1999年5月に行った (Table 1)。データサンプリングは30秒とし、AC電源を確保できる観測点ではできるだけ長く観測を行い、電源がない観測点ではバッテリーを用いて最低2、3時間程度の観測を実施した。使用したGPS受信機は2周波型のAshtech Z-XIIと700718または700578アンテナである。

Table 1. Log of GPS campaigns.

No.	Year	Month	Observation day
1	1997	April	10, 11, 12
2	1998	April	7, 8, 9
3	1999	March	9, 10, 11, 12

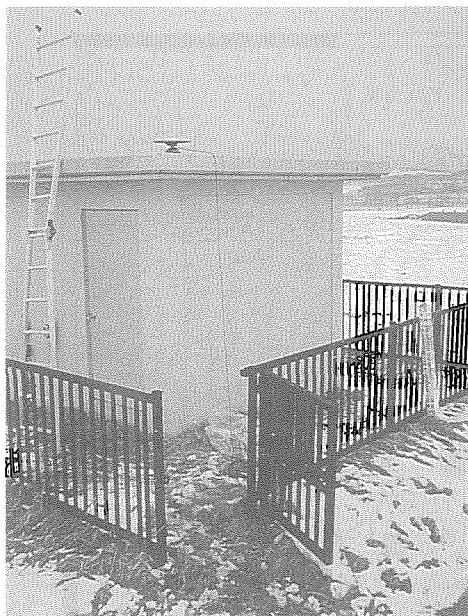


Fig. 2. GPS observation at TS12 site. We used the roof of reinforced concrete building to fix the antenna attachment.

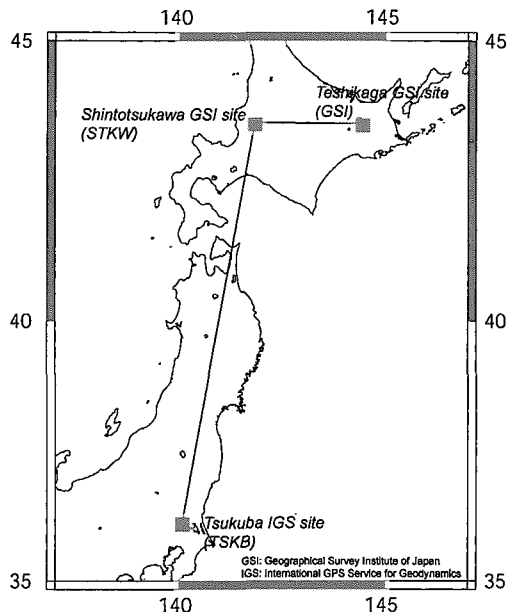


Fig. 3. Location of Tsukuba (TSKB) and Shintotsukawa (STKW) sites. STKW was used to collocate the sites at Kutcharo GPS network.

今回は、データ欠損があった1998年のデータを除く1997年と1999年の観測データについて解析を行った。解析には、Bernese GPS Software Version 4.2, IGS (International GPS Service for Geodynamics) 精密暦, IERS (International Earth Rotation Service) Bulletin-B 地球回転パラメータを用いた。基準座標系は、ITRF (International Terrestrial Reference Frame) 96を採用した。観測点座標は、以下の方法で求めた。

本観測網で座標を求める際の固定観測点として国土地理院の新十津川 GPS 観測点を選択した(以下 STKW) (Fig. 3)。この観測点は、千島海溝から 350 km 以上離れており太平洋プレートの沈み込みによる地殻変動の影響は少ない。また、この観測点の構内には ITRF 系座標が求められている VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 観測点があるため、将来の座標変換作業の際に変換パラメータが与えやすいという利点がある。

まず始めに、STKW の1997年4月10, 11, 12日の座標を ITRF 96 での座標が与えられている IGS のつくば観測点から結合した (Fig. 3)。この3日間の平均座標値を STKW の座標値として固定し、以後の解析の基準観測点として用いる。次に、キャンペーンごとに国土地理院弟子屈 GPS 観測点 (以下 GSI) の座標を STKW から結合して3日分の座標を求め、その平均値を各キャンペーンの GSI の座標値として固定する。この計算の際に用いた STKW および GSI の座標値を Table 2 に示す。ここまでの解析には、30秒サンプリング24時間のデータを1日分として使用した。そして、最後に GSI から各観測点を結合して座標値を求め、1997年と1999年の間の地殻変

動量をそれらの座標値の差分から求めた。したがって、ここで得られた地殻変動量は STKW の座標が不動とした場合のものであるが、任意に固定点を設定して観測網全体から新しく設定した固定点の STKW に対する変動量を引き去ることにより、任意の基準観測点を設けた地殻変動量を表すことが可能となる。

I. IV. 結果と考察

Figure 4 に、STKW を基準とした 1997 年 4 月から 1999 年 5 月の約 2 年間分の水平変位ベクトルを、Table 3 に観測点のキャンペーンごとの座標値を示す。なお、観測期間が短いので、観測誤差の大きい上下成分についての議論はここでは行わない。得られた結果を見ると、観測網全体が 3-4 cm の北西向きの変動を示していることが分かる。この変動の大部分は、太平洋プレートの沈み込みに伴う影響である (Ito et al., 1999; Mazzotti et al., 2000)。このため、Fig. 4 のままではこの地域のローカルな地殻変動を議論しづらい。そのため、GSI を固定点として網全体を平行移動させた場合の変位場を Fig. 5 に示す。

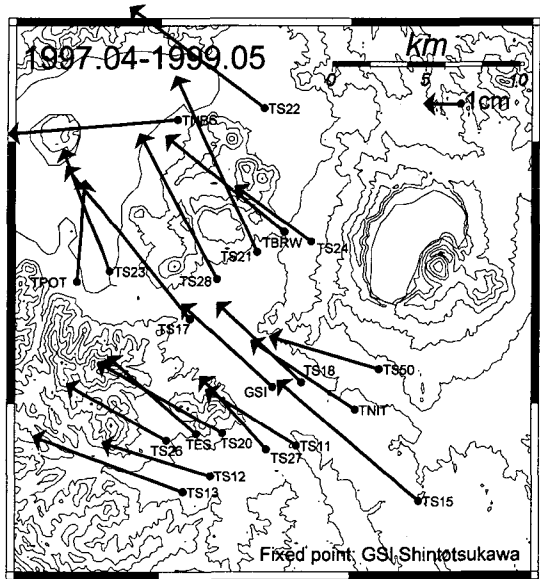


Fig. 4. Horizontal displacement field between April 1997 and May 1999 with respect to STKW.

変位量は、多くの点で 2 cm 以下となっており、特に 1 cm を切るような変位量の観測点では、アンテナ設置誤差や GPS 観測自体の精度を考えると、個々の変位ベク

トルについて議論することは観測期間の短い現段階では難しい。しかし、観測網全体の大まかな変動パターンとして、北部と南部では変位ベクトルのパターンが異なっていることが分かる。概して、南北方向に伸張するような変動場として解釈することができよう。歪量は、おおよそ $1 \times 10^{-6}/\text{year}$ である。ところで、道東地域は太平洋側で起こるプレート沈み込み型巨大地震に伴うリバウンド時を除いて、系統的な圧縮場にある (たとえば、Fig. 7; Mazzotti et al., 2000)。このため、屈斜路カルデラで観測された伸張場は、この地域だけのローカルなものであると考えられる。

笠原・鈴木 (1978) は、1972 年から 77 年にかけて美羅尾山三角点 (BRO) を基点とした光波測量を行い、各基線で伸びを観測している (Fig. 6)。和琴基線の歪は、おおよそ $2 \times 10^{-6}/\text{year}$ であり GPS の結果と調和的である。国土地理院の三角点測量による 1994 年-1985 年の 10 年間にわたる歪場でも (国土地理院, 1999)、屈斜路カルデラは南北に主軸をもつ伸張場となっている (Fig. 7)。しかし、歪量は $2 \times 10^{-7}/\text{year}$ と GPS や光波測量の結果よりも一桁小さい。また、1959 年

Table 2. STKW and GSI sites coordinates collocated with ITRF96 reference frame.

Site	Year	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Height (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
GSI Shintotsukawa	ALL	43 31 43.756667	141 50 41.194030	118.6295	-3642148.5133	2861482.2236	4370365.6529
GSI Teshikaga	1997	43 30 28.298358	144 26 56.433125	177.2767	-3769742.8297	2693996.4897	4368717.2683
	1999	43 30 28.299069	144 26 56.432053	177.2883	-3769742.8102	2693996.5054	4368717.2922

*GSI: Geographical Survey Institute of Japan

Table 3. Site coordinates and rms errors of each campaign with respect to STKW.

Site	Year	X(m)	rms(m)	Y(m)	rms(m)	Z(m)	rms(m)	Latitude(D:M:S)	rms(m)	Longitude(D:M:S)	rms(m)	Height(m)	rms(m)
GSI	1997	-3769742.8297	0.0005	2693996.4897	0.0004	4368717.2683	0.0006	43 30 28.298358	0.0001	144 26 56.433125	0.0002	177.2767	0.0009
	1999	-3769742.8102	0.0005	2693996.5054	0.0004	4368717.2922	0.0006	43 30 28.299069	0.0001	144 26 56.432053	0.0002	177.2883	0.0009
TES	1999	-3768822.3234	0.0011	2698290.6607	0.0008	4366959.4035	0.0013	43 29 7.960965	0.0003	144 23 57.145557	0.0003	236.4831	0.0018
	1997	-3768822.3053	0.0011	2698290.6765	0.0008	4366959.4265	0.0013	43 29 7.961631	0.0003	144 23 57.144518	0.0003	236.4949	0.0018
TATS	1999	-3763486.2383	0.0035	2689852.0099	0.0023	4376704.9229	0.0037	43 36 23.306906	0.001	144 26 44.580914	0.0016	246.1972	0.0052
TBRW	1997	-3765507.9514	0.0007	2690230.5507	0.0005	4374744.1373	0.0008	43 34 55.628002	0.0002	144 27 23.250951	0.0002	244.8423	0.0011
	1999	-3765507.9229	0.0009	2690230.5689	0.0007	4374744.1603	0.001	43 34 55.628825	0.0003	144 27 23.249554	0.0003	244.849	0.0015
TNIT	1997	-3772988.4323	0.0007	2690895.7954	0.0005	4367866.8812	0.0008	43 29 49.578841	0.0002	144 30 12.707638	0.0002	201.0895	0.0011
	1999	-3772988.4124	0.0008	2690895.8152	0.0006	4367866.9019	0.0009	43 29 49.579431	0.0002	144 30 12.706405	0.0002	201.1004	0.0013
TNBS	1997	-3758849.2902	0.0009	2692435.0094	0.0007	4379027.643	0.001	43 38 8.483897	0.0002	144 23 10.551513	0.0002	206.7468	0.0014
	1999	-3758849.1895	0.0013	2692434.9921	0.0009	4379027.55	0.0014	43 38 8.483774	0.0004	144 23 10.549523	0.0003	206.6161	0.0021
TPOT	1997	-3760592.9671	0.0007	2700151.3668	0.0006	4372759.7839	0.0008	43 33 29.273001	0.0002	144 19 16.299763	0.0002	167.4533	0.0012
	1999	-3760592.9433	0.0011	2700151.3652	0.0008	4372759.8018	0.0013	43 33 29.273875	0.0003	144 19 16.299201	0.0003	167.4509	0.0018
MASH	1999	-3769779.9993	0.0022	2688226.883	0.0015	4372792.0449	0.0025	43 33 18.148171	0.0006	144 30 26.513852	0.0005	575.3779	0.0035
TS11	1997	-3772211.61 4	0.001	2694192.1714	0.001	4366413.3789	0.0016	43 28 46.8078	0.0004	144 27 53.219938	0.0004	131.3676	0.0023
	1999	-3772211.5915	0.0026	2694192.1849	0.0019	4366413.3897	0.0031	43 28 46.808288	0.0007	144 27 53.218867	0.0006	131.3674	0.0044
TS12	1997	-3770469.1051	0.0032	2698578.1992	0.0023	4365291.6025	0.0031	43 27 55.162343	0.0013	144 24 29.390978	0.0007	182.1328	0.0048
	1999	-3770469.1105	0.0028	2698578.2382	0.0021	4365291.6402	0.0033	43 27 55.162626	0.0007	144 24 29.38971	0.0006	182.1784	0.0047
TS13	1997	-3770115.0794	0.0037	2700097.4476	0.0034	4364698.5666	0.0034	43 27 27.919153	0.0015	144 23 25.274567	0.0011	207.2	0.0058
	1999	-3770115.0772	0.0029	2700097.4946	0.0022	4364698.611	0.0035	43 27 27.919627	0.0008	144 23 25.272812	0.0006	207.2491	0.005

Table 3. (Continued)

Site	Year	X(m)	rms(m)	Y(m)	rms(m)	Z(m)	rms(m)	Latitude(D:M:S)	rms(m)	Longitude(D:M:S)	rms(m)	Height(m)	rms(m)
TS15	1997	-3777696.8768	0.0018	2690101.7234	0.0013	4364368.3914	0.0019	43 27 12.111034	0.0005	144 32 43.058315	0.0005	242.0668	0.0028
	1999	-3777696.7573	0.0019	2690101.6841	0.0013	4364368.3212	0.0021	43 27 12.112062	0.0005	144 32 43.056657	0.0005	241.9313	0.0031
TS16	1997	-3766207.908	0.0017	2703260.9311	0.0013	4366279.631	0.002	43 28 34.790591	0.0005	144 19 49.623147	0.0004	328.1196	0.0029
TS17	1997	-3765156.7888	0.0041	2696101.0111	0.0023	4371328.8888	0.0037	43 32 25.562143	0.001	144 23 41.402819	0.001	159.0979	0.0058
	1999	-3765156.7236	0.002	2696101.0044	0.0014	4371328.8905	0.0022	43 32 25.563452	0.0005	144 23 41.401371	0.0005	159.0578	0.0032
TS18	1997	-3770515.1842	0.0015	2692651.0925	0.0011	4368920.0557	0.0017	43 30 36.49038	0.0004	144 28 5.155074	0.0004	205.4834	0.0024
	1999	-3770515.1756	0.0024	2692651.1141	0.0016	4368920.0901	0.0026	43 30 36.491063	0.0007	144 28 5.154069	0.0006	205.5111	0.0038
TS19	1997	-3776248.8798	0.0016	2695054.9806	0.0011	4362440.4305	0.0018	43 25 48.961191	0.0004	144 29 6.327982	0.0004	147.9627	0.0026
TS20	1997	-3769590.1811	0.0017	2697146.2104	0.0012	4366942.8633	0.002	43 29 8.501487	0.0005	144 24 58.44659	0.0004	194.8602	0.0028
	1999	-3769590.1012	0.0015	2697146.1937	0.0011	4366942.8183	0.0017	43 29 8.502096	0.0004	144 24 58.445127	0.0004	194.7749	0.0024
TS21	1997	-3765257.2518	0.0024	2691803.9519	0.0023	4373920.7239	0.0028	43 34 20.422633	0.0007	144 26 19.703739	0.0012	192.2342	0.0042
	1999	-3765257.1977	0.002	2691803.9399	0.0013	4373920.7394	0.0022	43 34 20.424136	0.0005	144 26 19.702775	0.0005	192.208	0.0032
TS22	1997	-3761175.345	0.003	2688459.6039	0.0022	4379418.416	0.0033	43 38 27.075822	0.0009	144 26 35.17112	0.0006	171.2441	0.0049
	1999	-3761175.2573	0.0014	2688459.5849	0.001	4379418.3741	0.0016	43 38 27.076681	0.0004	144 26 35.169534	0.0004	171.1556	0.0023
TS23	1997	-3761262.1948	0.0027	2698544.5246	0.002	4373165.4795	0.0029	43 33 47.579241	0.0008	144 20 31.849747	0.0006	162.059	0.0043
	1999	-3761262.1702	0.0027	2698544.5222	0.0021	4373165.5039	0.0031	43 33 47.58029	0.0007	144 20 31.849196	0.0006	162.0603	0.0045
TS24	1997	-3766670.5467	0.0042	2689305.2391	0.002	4374415.7075	0.0037	43 34 38.799748	0.001	144 28 26.925811	0.0015	314.2065	0.0057
	1999	-3766670.5499	0.0014	2689305.2661	0.001	4374415.7452	0.0016	43 34 38.800224	0.0004	144 28 26.924913	0.0004	314.2458	0.0024
TS25	1999	-3759646.6381	0.004	2701138.6144	0.0024	4372989.1044	0.0037	43 33 38.96005	0.0011	144 18 15.976812	0.0016	185.8369	0.0056
TS26	1997	-3768114.7218	0.0028	2699722.5099	0.0023	4366692.4214	0.0033	43 28 55.92169	0.001	144 22 47.011082	0.0009	240.2829	0.0047
	1999	-3768114.713	0.0022	2699722.5359	0.0016	4366692.4495	0.0026	43 28 55.922174	0.0006	144 22 47.009912	0.0005	240.308	0.0037
TS27	1997	-3771402.3868	0.0021	2695575.4585	0.0018	4366277.1415	0.0022	43 28 40.355516	0.0007	144 26 42.20654	0.0006	143.3707	0.0034
	1999	-3771402.3513	0.0025	2695575.4545	0.0018	4366277.1389	0.0029	43 28 40.356148	0.0006	144 26 42.205763	0.0005	143.3462	0.0041
TS28	1997	-3764812.6225	0.0028	2694117.9386	0.002	4372844.5037	0.003	43 33 33.170463	0.0009	144 24 44.312245	0.0007	163.9002	0.0044
	1999	-3764812.592	0.0033	2694117.9418	0.0023	4372844.5352	0.0037	43 33 33.171714	0.0008	144 24 44.311341	0.0008	163.9052	0.0054
TS50	1997	-3772579.1393	0.0015	2689064.9958	0.0011	4369473.6874	0.0017	43 30 58.481581	0.0004	144 31 8.488965	0.0004	294.683	0.0025
	1999	-3772579.1378	0.0019	2689065.0304	0.0013	4369473.7173	0.0021	43 30 58.481861	0.0005	144 31 8.487672	0.0004	294.7172	0.0031

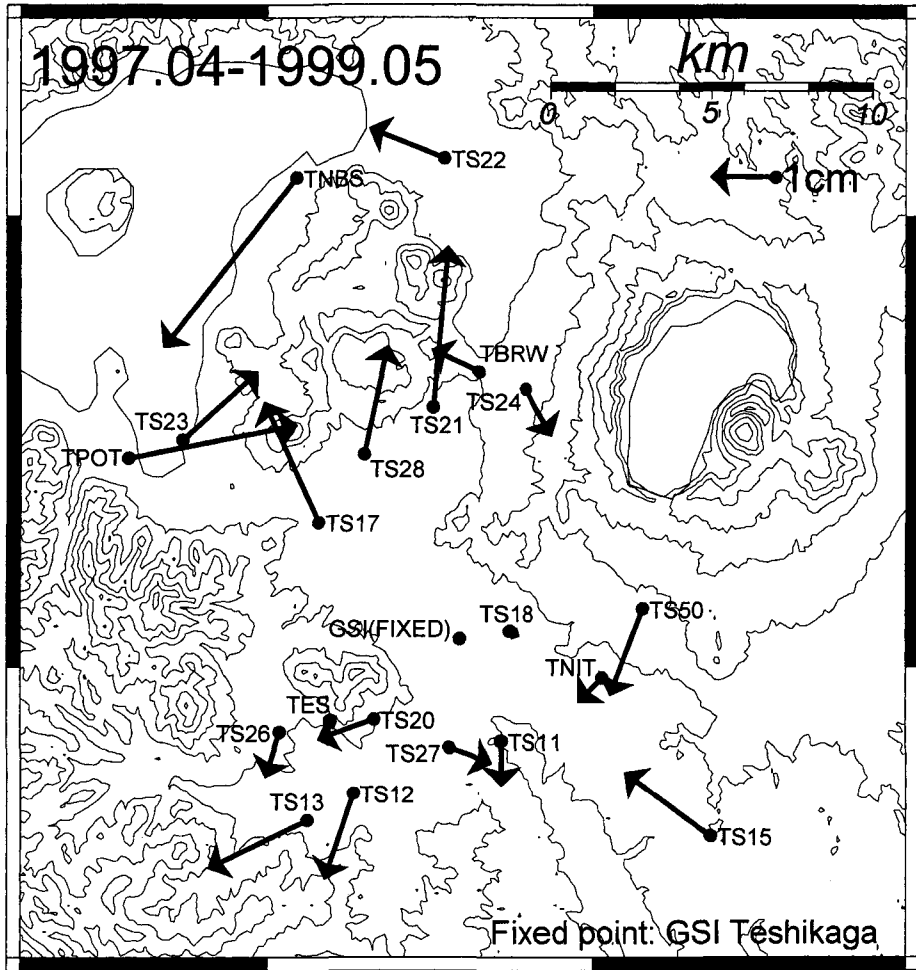


Fig. 5. Horizontal displacement field between April 1997 and May 1999 with respect to GSI.

弟子屈地震のメカニズム解のT軸はほぼ南北であり (Ichikawa, 1971), これは上記の地殻変動観測結果とよく合っている。今回得られたGPS観測の結果は、光波測量、三角測量および地震のメカニズム解と調和的であり、屈斜路カルデラが少なくとも1970年代から現在まで一貫して伸張場が卓越する地域である可能性を示している。

ところで、光波測量を行っていた基線と同じ基線でGPS観測を行うことにより、この30年間の累積変動を明らかにすることができると考えられる。光波測量点のうち、美羅尾三角点(BRO)と原野三角点(GNY)は現在でも保存されている。この基線を用いたGPS観測を行うことにより、基線長の比較が可能になるが、BROが電波塔密集地帯にあるためGPS信号との混信と思われるノイズがデータに多く、精度のよい解析結果が得られていない。今後、対策を施してこの基線のGPS観測を再度行いたいと考えている。

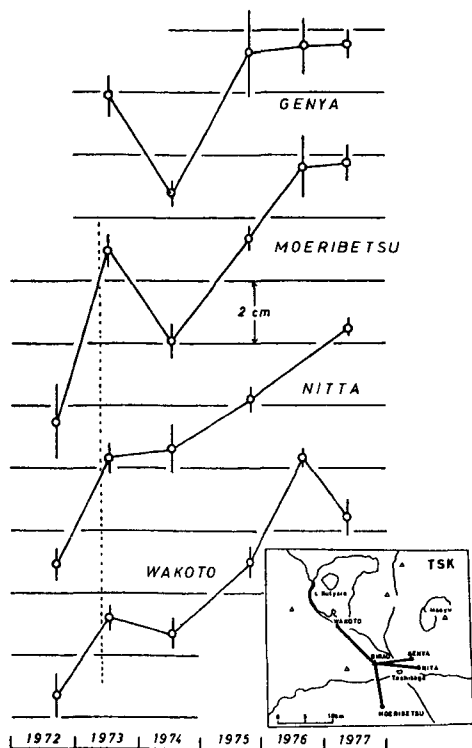


Fig. 6. EDM baselines change between 1972 and 1977 (After Kasahara and Suzuki, 1978).

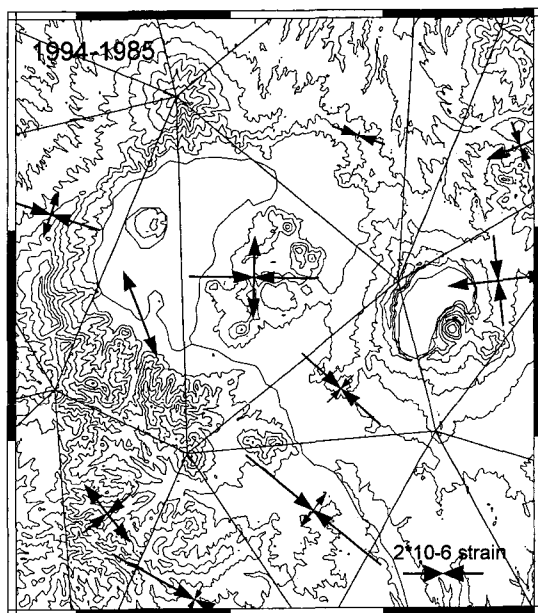


Fig. 7. Triangulation strain field in Kutcharo caldera between 1985 and 1994 (After Geographical Survey Institute of Japan, 1999).

また、観測網の中心部 (GSI と TS 17 の間、美留和原野地区) には観測点がないため、データの空白域となっている。これは、この地域に観測点を設置できる環境がなかったためであるが、独自に観測ピラーを設置するなどして、より一層の観測網の充実を図る必要がある。

V. ま と め

屈斜路カルデラでの地殻活動に伴う地殻変動を検出するため、新たに 31 観測点からなる GPS 稠密観測網を構築し、1997 年、1998 年、1999 年に観測を行った。このうち、1997 年と 1999 年のデータを解析して、21 観測点におけるこの期間の地殻変動を明らかにした。その結果、基準点を新十津川 (STKW) におくと、この地域は太平洋プレートのカップリングによる影響を強く受けているためにローカルな変動が掴みにくいことが分かった。このため、基準点をこの観測網内にある国土地理院弟子屈 GPS 観測点として変動を表現した。その結果得られた地殻変動のパターンから、この地域が南北方向に伸張するような変動場であることが明らかになった。このような伸張場は、光波測量や国土地理院の三角点測量によっても観測されており、この地域を支配する歪場である可能性がある。しかし、観測期間が短いため観測された変動量は数 cm 程度と小さく、

詳細な議論するにはさらなるデータの蓄積が必要である。このため、定期的な観測を繰り返し行う予定である。

謝辞 弟子屈町役場には、上水道配水施設、川湯公民館、清掃センター、アイヌ民族資料館、屈斜路研修センター、摩周第一展望台、デイサービスセンター、泉ふれあいセンターに観測点の設置を許可して頂き、また観測実施にあたっては便宜を図って頂いた。国土交通省国土地理院に提供して頂いた全国 GPS 連測観測点のデータを使用した。北大地震火山センターの本谷義信助教授には原稿をチェックして頂いた。記して感謝の意を表したい。

文 献

- 広田友保, 1969. 弟子屈周辺の地震活動 (1926-1968), 北海道大学地球物理学研究報告, **22**, 49-73.
- Ichikawa, M., 1971. Reanalysis of mechanism of earthquakes which occurred in and near Japan, and statistical studies on the nodal plane solutions obtained 1926-1968, *Geophys. Mag.*, **35**, 207-203.
- Ito T, S. Yoshioka, and S. Miyazaki, 1999. Interplate coupling in northeast Japan deduced from inversion analysis of GPS data, *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **176**, 117-130.
- 笠原稔・鈴木貞臣・北構宗夫, 1978. 弟子屈地域の光波測量による地殻変動の観測, 1973年6月17日根室半島沖地震調査報告, 27-35.
- 笠原稔・鈴木貞臣, 1978. 1973年根室半島沖地震後の弟子屈および根室における地殻水平歪変化と弟子屈浅発地震について, 2つの特定地域における地震活動の研究, 自然災害科学科学研究費研究成果, 43-54.
- 活断層研究会, 新編日本の活断層, 斜里, 56, 東京大学出版会.
- 勝井義雄・横山泉・岡田弘・西田泰典・松本佳久・川上則明, 1986. アトサヌプリ・摩周 (カムイヌプリ) - 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策, 104 pp, 北海道防災会議.
- 国土地理院, 1999. 過去 10, 年 100 年の地殻変動情報, <http://www.gsi.go.jp/HIZUMI/hizumi.html>.
- 松田時彦, 1975. 活断層から発生する地震の規模と周期について, *地震II*, **28**, 269-283.
- 松本利松, 1959. 1959年1月31日北海道弟子屈地震の余震観測報告, 東京大学地震研究所彙報, **37**, 531-544.
- Mazzotti, S., X. LePichon, P. Henry, and S. Miyazaki, 2000. Full interseismic locking of the Nankai and Japan-west Kurile subduction zones: An analysis of uniform elastic strain accumulation in Japan constrained by permanent GPS, *Jour. Geophys. Res.*, **105**, 13159-13177.
- 本谷義信・一柳昌義, 1996. 北海道東部弟子屈地域, アトサヌプリ周辺の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **59**, 211-220.
- 田中館秀三, 1938. 昭和 13 年屈斜路地震 1, *地震 I*, **10**, 529-542.
- 津屋弘達, 1938. 昭和 13 年 5 月 29 日屈斜路地震調査報告, *地震 I*, **10**, 285-313.