



Title	弟子屈の新しい体積歪観測システム
Author(s)	高波, 鐵夫; TAKANAMI, Tetsuo; 笠原, 稔 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 61, 189-201
Issue Date	1998-03-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.61.189
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14269
Type	departmental bulletin paper
File Information	61_p189-201.pdf



弟子屈の新しい体積歪観測システム

高波 鐵夫・笠原 稔・高田 真秀・浅井 康広

北海道大学理学部付属地震予知観測地域センター

I.S. サックス・A.T. リンデ・M. アシエルノ・B. パンデット

カーネギー研究所地磁気部門

(1997年11月28日受理)

The New Volume-Strain Observation Systems in Teshikaga, Hokkaido

Tetsuo TAKANAMI, Minoru KASAHARA, Masamitsu TAKADA, and Yasuhiro ASAI
Research Center for Earthquake Prediction, Faculty of Science, Hokkaido University

I.S. SACKS, A.T. LINDE, M. ACIERNO, and B. PANDIT

Department of Terrestrial Magnetism, Carnegie Institution of Washington

(Received November 28, 1997)

In order to measure the strain change in the source area of the 1938 Teshikaga earthquake, Sacks-Evertson borehole volumetric strainmeters of a resilient steel cylinder about 4 m long and 7 cm in diameter were installed in the bottom of about 180 m-deep wells at two stations of Nita (NIT) and Kusharo (KUT) in Teshikaga, Hokkaido, Japan. 4.5 Hz velocity-type seismometers (3-comp.) were also installed just above the strainmeters. The instrument sensitivity of strainmeter is about 10^{-11} in strain. It has a constant response to strain over the frequency range from 0 Hz to about 20 Hz; this is equivalent to a seismometer with constant response to velocity over the same wide frequency range. The dataloggers at each station are designed to give the high dynamic range digital data stream of about 130 dB by using 24 bit A/D converter (64sps and 128sps are possible), to store continuous long-term data up to about 4 months, and to provide communication for diagnosis of observation system and for transmission of data from a remote station by using phone lines. For acquiring necessary auxiliary data, up to 8 separate inputs can be multiplexed into a 20 bit A/D converter. Timing is controlled by signals from a GPS receiver. The auxiliary data channels now include strainmeter temperature, atmospheric pressure, ambient subsystem temperature and supply voltages.

I. はじめに

北海道東部に位置する弟子屈町周辺で、1938年、59、65、67年に被害地震が発生している(例えば、宇津, 1968; 広田, 1969; 札幌管区気象台, 1985など)。とくに1938年の屈斜路地震では家屋の倒壊、地割れ・山崩れなどの地変が目立った。これらの地表分布から、この地震は、北西-南東の走向を持つ左横ずれの断層運動であった可能性が高い(例えば、笠原・鈴木, 1978)。また広域的に見た場合、当地域の浅発地震が海溝沿いの大地震と呼応して起きていた可能性もあり、それらの大地震の発生を

考える際、当地域の歪の連続観測データが大変重要となる。

この観点から、この地域で歪の変化を連続観測するための新しい観測システムを弟子屈町仁田地区と屈斜路地区に設置した。本報告でその新観測システムを紹介する。

II. 観 測

1. これまでの観測

北海道大学理学部地震予知観測地域センター(RCEP)では、1983年以來、弟子屈町美羅尾山にテレメータによる北海道東部地域の地震及び地殻変動の連続観測を実施してきた。このデータは有線テレメータでRCEPに送られている。さらに、これらのテレメータによる定常観測のほか、臨時の地震観測や光波測量による地殻変動観測が何回か実施されてきた(たとえば、広田, 1969, 笠原・他, 1974; 田治米・他, 1977)。また、すでに仁伏地区に展開した微小地震観測用トリパタイト(NBT)では、屈斜路湖東岸のアトサヌプリ周辺で時々起きている群発地震の推移も監視出来るようになった(本谷・一柳, 1996)。これらの観測をさらに充実させ、当地域およびその周辺海域に発生する地震の発生場を詳しく解明するため、1996年に地震及び地殻変動の総合観測を開始した。これらの新観測システムは、多目的、高感度の総合観測網の1つとして平成7年度補正予算で設置された。新体積歪観測システムはその一貫として設置したものである。今回の総合観測の中には、GPSによる地殻変動精密観測やVAN法による地電位観測も含まれている。ここでは弟子屈町屈斜路地区と仁田地区に新設した新体積歪観測システムについて紹介する(Fig. 1)。

2. 屈斜路観測点(KUT)

KUTは、屈斜路湖の南方やく2 km, 山地形と火山灰地形との境界部に位置し、林道に面している(Photo. 1)。その標高は約200 mである。南方の山地形は、概して急峻であり、また沢地形が発達している。観測点周辺の地質は、新第三紀の緑色凝灰岩～変朽安山岩(イクルシベ層)を基盤とし、火山灰台地ではこれを覆って沖積層の摩周火山の噴火によって形成された火山碎屑物(摩周軽石)が分布している(北海道開発庁, 1962)。センサー埋設のために採取したボーリング・コアによれば、深さ120 m以深では亀裂の少ない硬質の緑色凝灰岩の基盤である。

3. 仁田観測点(NIT)

NITは、弟子屈町の市街から東北東約4 kmにある仁田小学校跡地に位置する(Photo. 2(a))。付近一帯は、標高100～200 mの丘陵性火山灰台地地形となっていて、台地の開析が進んでいる。観測点の標高は約170 mである。この地域の地質は、第四紀の地層から構成され、台地の基盤となるものは屈斜路火山噴出物と推定される軽石流堆積物でこれを覆って砂、礫が発達している(北海道開発庁, 1965)。観測点でのボーリング・コアからは第三紀以前の基盤は確認されなかった。

III. サックス・エバートソン埋め込み式体積歪計

1938年の弟子屈地震時に生じた地震断層を挟むように、屈斜路と仁田の2地点にサックス・エバートソン埋め込み式体積歪計を埋設した。この2地点で掘削したボアホールの深さは約180 mあり、その底部から9 mの裸孔下部に、体積歪計と地中温度計とを格納したステンレスパイプと、さらにその上に3成分地震計(固有周期約4.5 Hz)を入れた真鍮の籠を一緒に埋設した(Photo. 3)。この歪センサーである、長さ4 m, 直径7 cmのステンレスパイプを埋設する際、膨張セメントを用いてこのパイプを岩盤に固着させた。これによって、センサー一部が周囲の岩盤の収縮、膨張に追従するようになる。

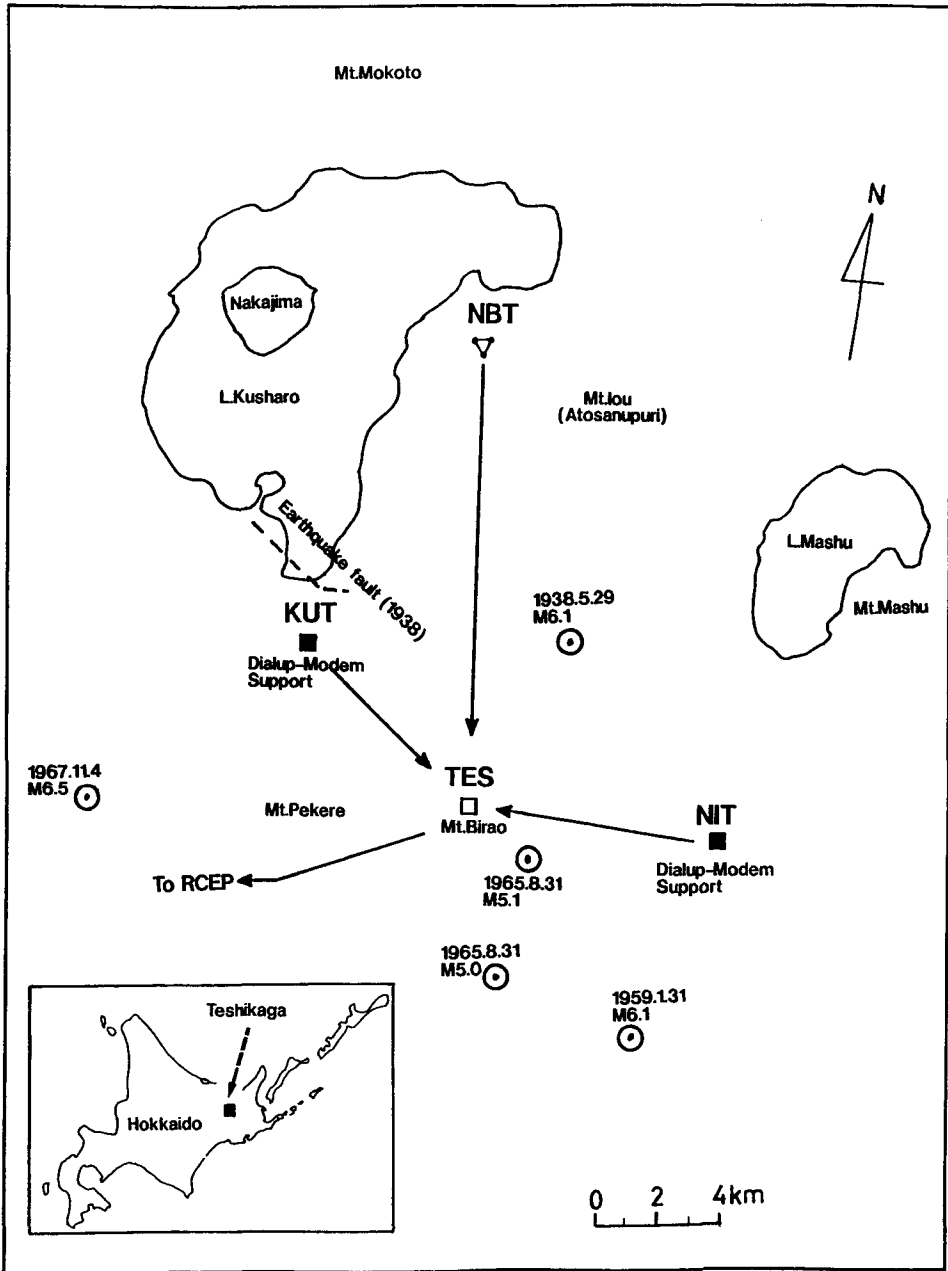


Fig. 1. Map of observation network in Teshikaga.

NBT is a tripartite network, TES is the transit telemetry observation site, and both KUT and NIT are the new volumetric strain observation sites. RCEP is the central recording site of Hokkaido University in Sapporo. Circles with dot indicate the epicenters of the damaging earthquakes since the 1938 Kusharo earthquake.

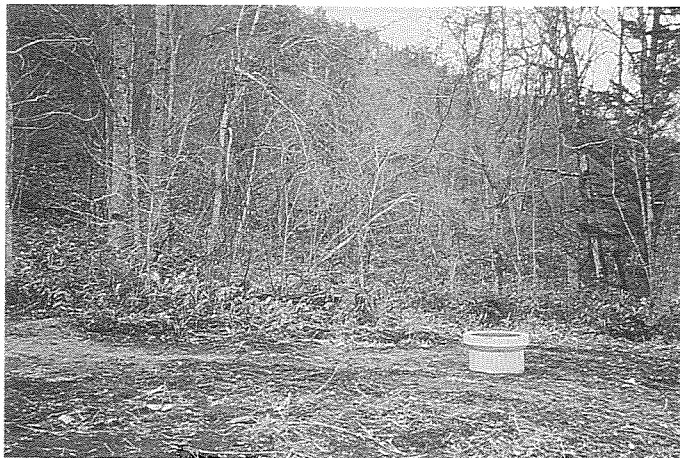


Photo. 1(a). Station KUT. Strainmeter, seismometers and thermometer are installed at the bottom of the 180.56 m deep well.

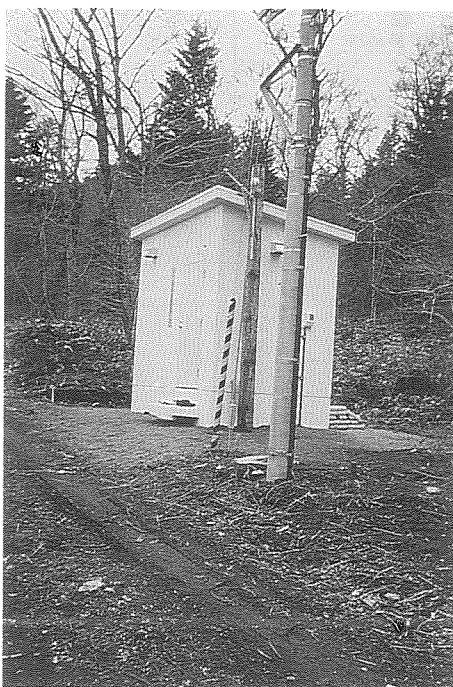


Photo. 1(b). Strainmeter electronics, datalogger, sensors of atmospheric pressure, ambient sub system temperature, dialup-communication system, and PC are set inside the hut being at 60 km distant from the well. The wooden pole for GPS antenna stands close by the hut.

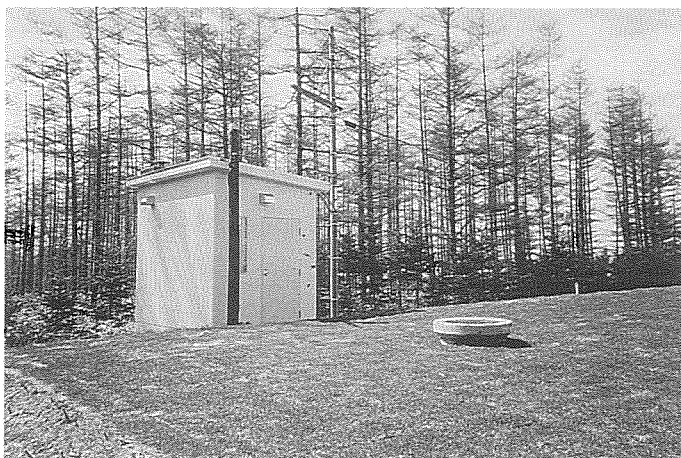


Photo. 2(a). Station NIT. An overall view.



Photo. 2(b). GPS antenna put on the end of steel arm fixed to the wooden pole. Strainmeter electronics, data logger, and sensors of atmospheric pressure, ambient sub system temperature, dialup-communication system, and PC are set inside the hut being 30 m distant from the well(Photo. 2(a)).



Photo. 3. Installation of the sensors at KUT(left). Strainmeter and 3-comp seismometers lifted up by crane and lowered to the bottom of the well at KUT(right).

パイプの下部 3 m の受感部は真空蒸留したシリコン油で完全に満たされている。上部には隔壁があり、それに小さな隘路があげられている。その上部は伸縮自由なベローズに通じている。隔壁より上の部分も同じシリコン油で満たされているが、ベローズの内外が完全に分離されているのでベローズおよび受感部内のシリコン油と上部のシリコン油とは互いに完全に独立である。ただし、上部には 1 気圧の不活性ガスで満たされた気体空間があり、上部のシリコン油は自由表面をもっている。したがって周囲の岩石の歪変化に起因して歪計内部の体積変化が生じる。この変化がシリコン油に対する圧力変化を生じさせ、それにとまなうシリコン油の体積変化がベローズの上下変位を生じさせる。したがってこのベローズの上下変位を差動変圧器で検出することで岩盤の歪が測定できる。今回埋設した歪センサーは、歪変化 10^{-11} の感度特性、DC から 20 Hz まで平坦の周波数特性、そしてダイナミックレンジが 130 dB というすぐれた性能をもっている。この種の歪センサーは、カーネギー研究所が開発 (Sacks et al., 1971) し、その後幾つかの改良を重ねてきたものである。今回埋設した歪みセンサー部の概図を Fig. 2 に示す。これは基本的には開発時のものとほとんど同形であり、北大理学部附属浦河地震観測所の敷地内には開発当時の歪計が 1982 年 11 月に設置され、観測を継続している (Takanami et al., 1997)。

歪みの変化に応じて差動変圧器の電気的信号が変化するが、そのアナログ信号を地上の観測小屋でデジタルデータに変換している。そのデジタルデータの収録装置については次章で述べる。

IV. 収録・処理体制

歪みセンサーからのアナログ信号は、観測小屋に設置したデータ収録装置に送られ、A/D 変換される。そこでデジタル化されたデータは、最終的には交換可能なハードデスクに連続記録される (Photo. 4)。収録システムに用いる GPS 時計は、電柱に備え付けた専用アンテナで受信している (Photo. 2

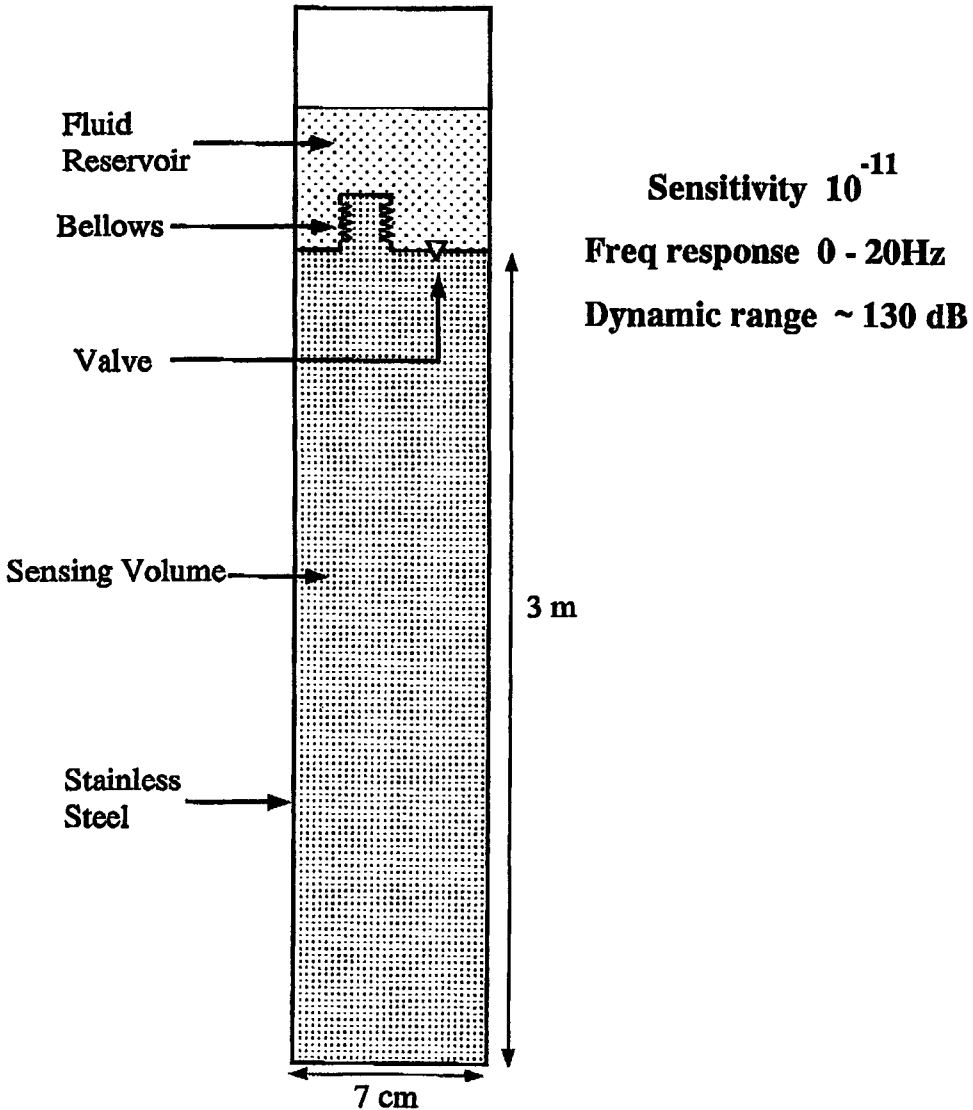


Fig. 2. Diagrammatic representation of borehole strainmeter.

(b). データ収録装置の制御は、PCによって行われている (Photo. 4). Fig. 3 にセンサーからデータ収録装置までの全体のシステム図を示した。このデータ収録装置の特長は、大きいダイナミックレンジデータの収録、PCを用いたデータ収録の効率化、そして現地収録装置の遠隔操作等の実現にある。この章ではこの特長を備えたデータ収録装置について詳しく述べる。

Fig. 3 に示した収録装置には、大まかには体積歪計からのアナログ信号をデジタル化するデータ変換機能と、センサー部にあるバルブの開閉を行う機能とがある。さらに細かなシステム構成は、制御とデータ変換のためのサブシステムと、データ収録とデータ通信のサブシステムとに分けて説明する。

1. 制御とデータ変換のサブシステム

このサブシステムには、(1) 直流信号供給、(2) アナログ歪計信号のデジタル化 (24 ビット)、そして (3) 複数の補助データのデジタル化 (20 ビット) とその多重化、という 3 つの機能からなっている。

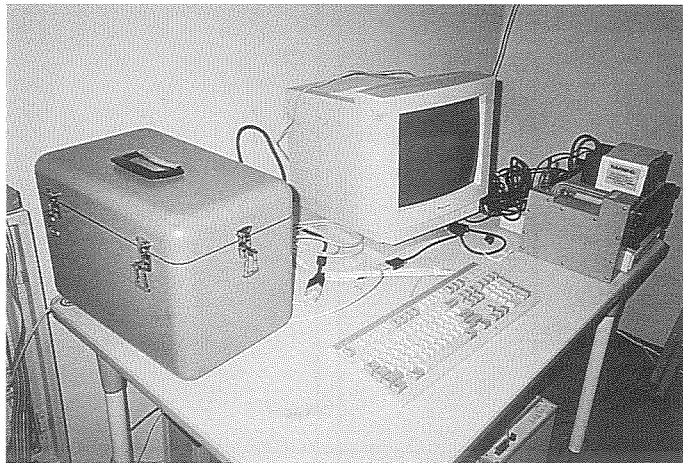


Photo. 4. Sub-system A : Regulated DT supply (valve opener circuit), 24 bit ADC for strain data and 20 bit ADC for auxiliary data. DC12 volt is supplied to every system by using the automatic battery chargers (top). Sub-system B : PC based data acquisition and storage system (bottom).

いる。(2)と(3)で離散化されたデジタルデータは、データ収録装置とデータ通信装置とに光ファイバーケーブルを介して送り出されている。それらのデジタルデータはシリアルデータとしてRS232Cのインターフェースからも出力が可能である。

(1) 直流信号供給

これには、歪計の差動変圧器(DT)に加える基準電圧の供給と、センサー部の隔壁にあるバルブの開閉を行うための電流供給との機能がある。

(2) 差動変圧器からのアナログ歪信号の24ビットA/D変換

これは差動変圧器からのアナログ歪信号を24ビットのA/D変換を行う機能である。これによって、大きなダイナミックレンジのデジタルデータが確保できる。このA/D変換は、1秒間に64回(128

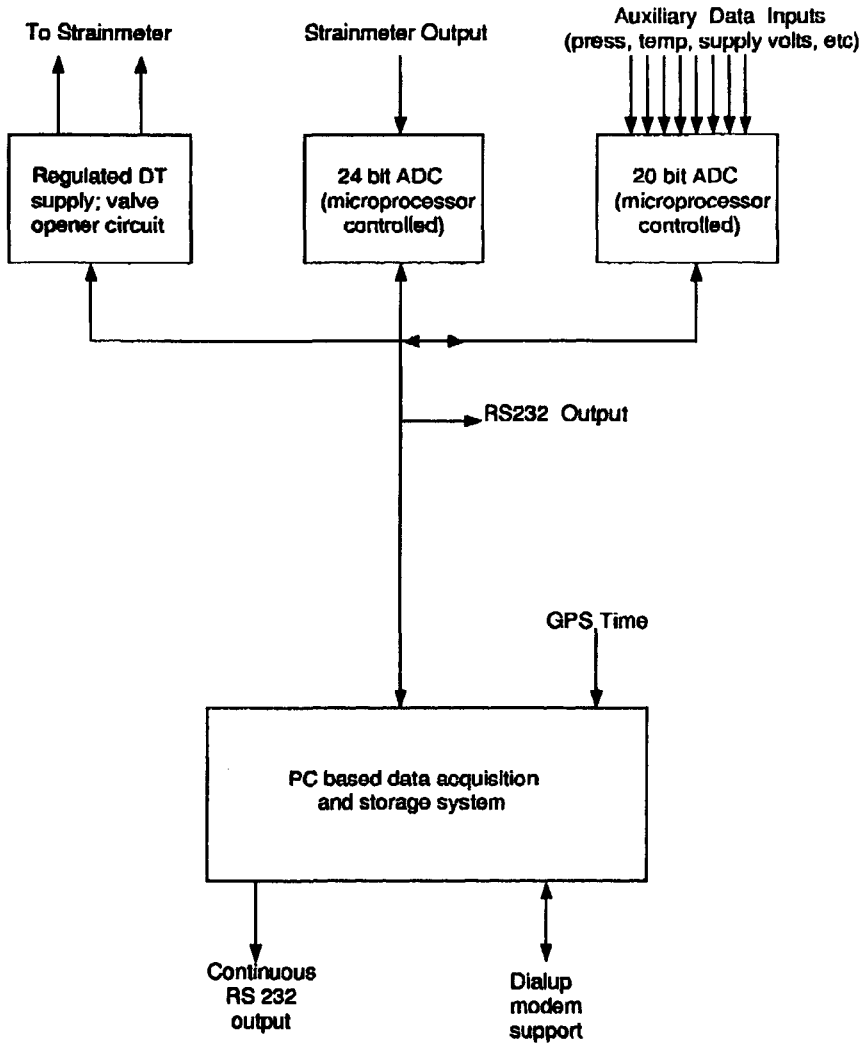


Fig. 3. Block diagram of strainmeter control and datalogger.

回も可能)のサイクルで行っている。このサンプリングレートの精度は、GPS 時計からのクロック信号に依存しているが、そのタイミング精度は0.1ミリ秒以下である。さらにこの離散化されたデジタルデータは、遮断周波数 30 Hz の FIR ローパス・フィルターを通過している。

(3) 補助データの20ビット A/D 変換

これは、センサー部での地温、大気圧、気温などの補助データのアナログ信号を20ビットのデジタル値にする A/D 変換機能である。最大補助データ8成分の A/D 変換が可能である。この種のデータは、歪データのような特別大きなダイナミックレンジを必要としない。ここでは20ビットの A/D 変換を行っている。

2. データ収録とデータ通信のためのサブシステム

データの収録とデータ通信を掌るこのサブシステムには、i486 タイプの CPU を搭載し、(1)PC 制御、(2)入力データバッファ、(3)GPS 時計の受信、(4)データ圧縮、(5)データ保存、(6)

連続データ出力、(7)端末制御、そして(8)電話用モデムの制御等の7つの機能がある。以下で各々の機能について述べる。

(1) PC 制御部

i486 タイプの CPU が、このサブシステムを制御している。その制御のためのプログラムやコンフィグレーション・ファイルは非揮発性の RAM に書き込んである。この制御部は、電源の割り込みや、ハード的な障害が発生した場合にも自動的にデータ収録の初期化や通信回線接続の初期化が行えるように設計してある。このように、PC 制御部は無人観測向きにデザインされている。

(2) 入力データのローカルバッファ

これは、マイクロプロセッサによって前出のサブシステムの A/D 変換部に GPS 時計の情報を伝えたり、また多重化デジタルデータを受け取ったりするための通信制御機能である。このローカルバッファの機能によって、入力データを細切れにして PC に送ることが可能となり、必ずしも PC は実時間に対応する必要がない。

(3) GPS 時計受信

これは、GPS 受信機から出力した絶対精度の時計信号をデータチャンネルで用いるための機能である。この時計信号は、(2)の入力バッファ用マイクロプロセッサにも用いられている。

(4) データ圧縮

これは、デジタル化されたデータを圧縮する機能である。

(5) データ保存

この機能は、圧縮された全チャンネルの連続データを取り外し可能な大容量のハードディスク (4 Gbytes) に保存するためのものである。

(6) 連続データの出力

これは、解凍した各成分のシリアルデータを RS232C インターフェースから出力する機能である。これにより遠隔地にデータ転送が出来る。

(7) 端末制御

これは、キーボードとモニター画面とでデータ収録装置のローカル制御を行う機能である。

(8) 電話回線用モデム制御

これは、モデム用 RS232C ポートを介して公衆電話から現地の観測システムを遠隔操作するための機能である。これを利用して、北海道大学キャンパスの RCEP から現地の観測システムの監視、臨時のデータ吸い上げ等を行っている。さらにこの装置は、RCEP のワークステーション・ネットワークと接続しているので、データ流通作業を容易にしている。RCEP に設置した会話型端末装置を Photo. 5 に示す。

最後に、KUT で観測された地震の体積歪記録の 1 例を示す。Fig. 4 の地震記録は、1996 年 6 月 10 日 13 時に起きたアリューシャンの地震 ($M_s=7.7$) である。Fig. 5 にこの地震の震央とメカニズム解

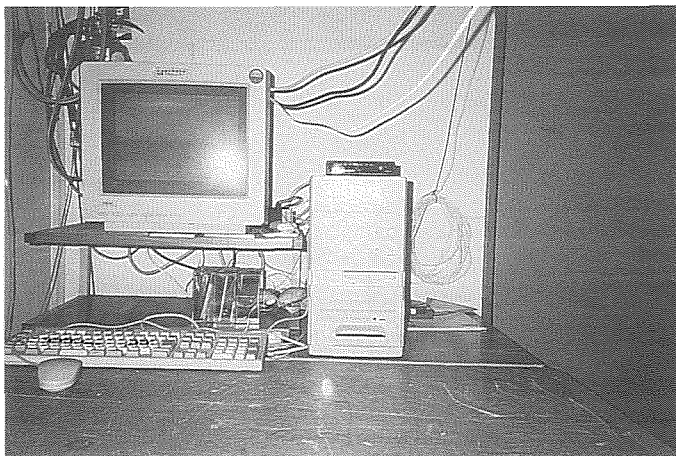


Photo. 5. PC for communication with the remote stations NIT and KUT by dial-up modem at RCEP. PC can also transfer the data files in the removable hard disk (4G-bytes) at NIT and KUT to the work station of RCEP.

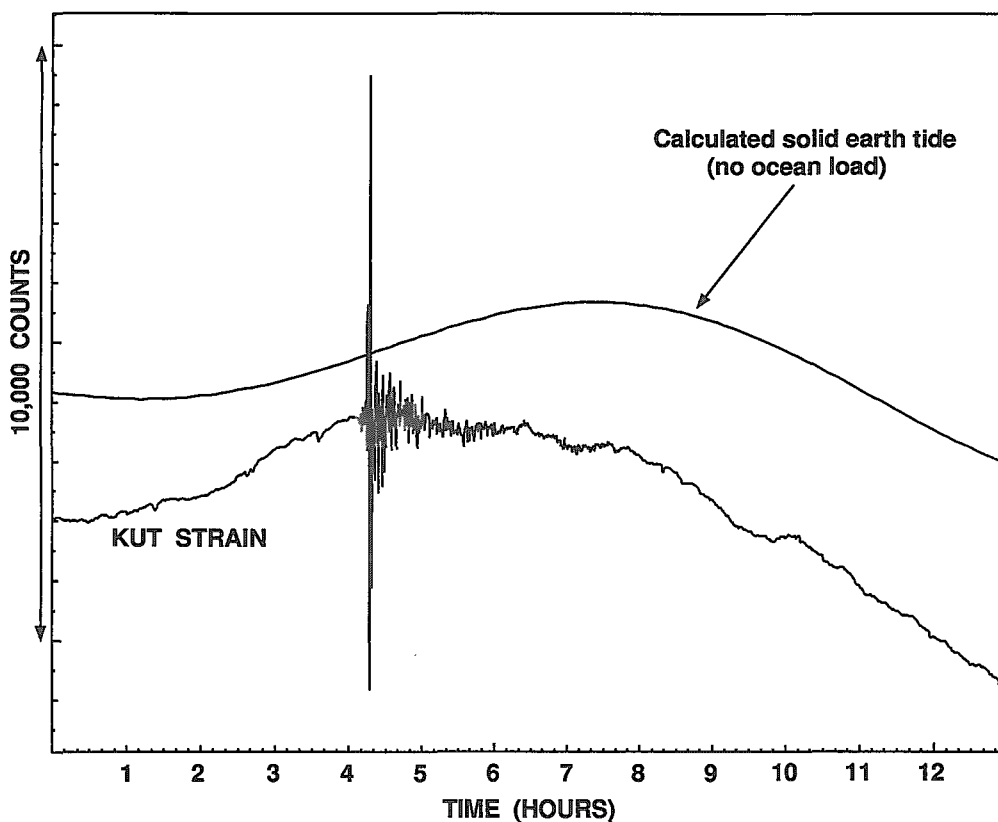


Fig. 4. Seismogram of the 1996.6.10 Aleutian earthquake ($M_s=7.7$) recorded by the strainmeter at station Kusharo (KUT).

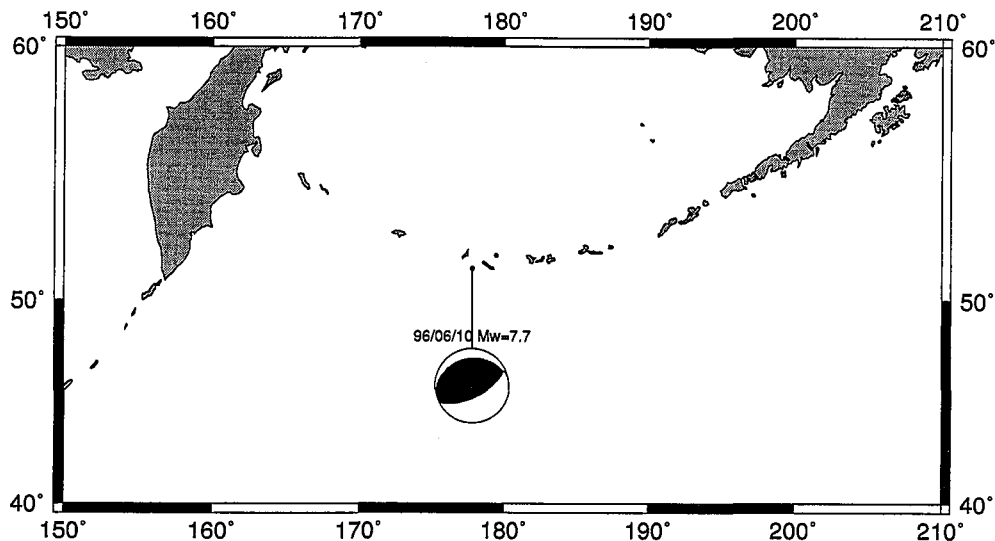


Fig.5 Location of the epicenter of the 1996.6.10 Aleutian earthquake ($M_s=7.7$) and its mechanism solution determined by Kikuchi (1996).

Table 1. Source Parameters of the 1996.6.10 Aleutian earthquake ($M_s=7.7$) after Kikuchi(1996).

Epicerter	Depth	(strike, dip, rake)	M_0	M_w	S	D	$\Delta\sigma$
N51.4° E177.8°	45km	260° 27° 105°	4.1	7.7	5	1.2	2.9

M_0 = moment ($\times 10^{20}$ Nm) ; S = fault area ($\times 10^6$ m²) ; D=dislocation (m) ;
 $\Delta\sigma$ = stress drop (Mpa).

を地図上に図示した。設置して間もない生データであるが、潮汐の半日周期成分と地震による変化が明瞭に見て取れる。Table 1 に示した菊地 (1996) の地震のメカニズム解および応力降下からみて、この地震は、太平洋プレートがベーリング海の下に沈み込む際に起る典型的なプレート間地震であったのが理解される。また生の歪み記録には破壊継続時間 (45 s) に相当した、大きな振幅の孤立波群が認められる。今回新設した歪記録の解析によって、さらに詳細な震源情報が期待できよう。

V. おわりに

弟子屈地域に設置した 2 地点の観測システムは、運用を開始したばかりで、ソフトとハードの初期障害がまだある。我々は、その度に改良を加えているが、当地域の歪の定常的変動レベルをできるだけ早くから把握しておくことは、当地域の地震予知研究にとって非常に重要であり、この歪み観測を維持することで、地震予知に貢献するであろう貴重なデータが得られるものと期待している。なお今回の観測システムの設置は、北海道大学とカーネギー研究所との共同作業で行われた。

謝辞 体積歪観測のシステム設置にあたり、弟子屈町役場、弟子屈営林署、環境庁阿寒国立公園川湯管理官事務所、北海道大学事務当局の協力を得た。また図作成に関しては、当地震センターの勝俣 啓

氏, および大学院生の高橋浩晃君のお世話になった。

文 献

- 宇津徳治, 1968, 北海道およびその周辺の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **20**, 51-75.
- 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, 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果 No.A-53-5, 43-54.
- 北海道開発庁, 1962, 5万分の1地質図幅説明書, 屈斜路湖, 42 pp.
- 北海道開発庁, 1965, 5万分の1地質図幅説明書, 屈斜路湖, 18 pp.
- 広田知保, 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**, 49-72.
- 菊地正幸, 1996, YUC(横浜市立大学)地震学レポート, No.56.
- Sacks I.S., S. Suyehiro, D.W. Evertson and Y. Yamagishi, 1971, Sacks-Evertson strainmeters, its installation in Japan and some preliminary information concerning strain steps, *Papers Meteorol. Geophys.*, **22**, 195-208.
- 札幌管区气象台, 1985, 北海道の地震活動, 地震津波防災資料(1), 292 pp.
- 田治米鏡二・鈴木貞臣・笠原稔, 1977, 北海道東部の地震および地殻変動観測(1972-1977), 第14回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 453-456.
- Takanami, T., T. Ogawa, I.S. Sacks, A.T. Linde, and I. Nakanishi, 1997, Long-Period Volume-Strain Seismogram of the 8 August 1993 Eashi-Oki earthquake, off southwest of Hokkaido, Japan and its source mechanism, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. VII*, **11**, No. 2, 523-543.
- 本谷義信・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(1926-1995), 北海道大学地球物理学研究報告, **59**, 211-220.