



Title	1995年北サハリン地震日口合同余震観測
Author(s)	勝俣, 啓; KATSUMATA, Kei; 笠原, 稔 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 177-188
Issue Date	1996-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.59.177
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14239
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p177-188.pdf



1995年北サハリン地震日ロ合同余震観測

勝俣 啓・笠原 稔

北海道大学理学部附属地震予知観測地域センター

S. セン・C. キン・S. セルゲイ・A. イワシエンコ

ロシア科学アカデミー海洋地質学地球物理学研究所

R. タテウォシヤン・S. ルキアネンコ・K. プルトネフ・V. ストラホフ

ロシア科学アカデミー地球物理学研究所

(1995年11月30日受理)

Japan-Russia Joint Observation of Aftershocks of the 1995 Sakhalin Earthquake

Kei KATSUMATA, Minoru KASAHARA

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

S. SEN, C. KIM, S. SERGEY, A. IVASCHENKO

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch, Russia Academy of Sciences

R. TATEVOSSIAN, S. LUKYANENKO, K. PLETNEV, V. STRAKHOV

United Institute of Physics of the Earth, Russia Academy of Sciences

(Received November 30, 1995)

On May 27, 1995, a large earthquake ($M_w=7.0$) occurred at the northern part of Sakhalin Island, Russia. Seventeen apartments with five stories fell down at Neftegorsk and more than 2000 people were killed. In order to obtain a detail distribution of aftershocks we deployed 12 temporal seismic stations in and around the focal area from June 7 to July 8. Six of them were telemetered by radio operated by Russian team and other six were off-line stations controlled by Japanese team. The routine work in situ to obtain the distribution of aftershocks and to monitor the activity were that (1) Russian team read arrival times of P - and S -waves to produce an event list, (2) Japanese team also read arrival times according to the list, and (3) Russian team compiled both data and calculate hypocenters. We found that (1) the aftershocks occurred in an area adjacent to the seismic fault ruptured by the 1995 Sakhalin earthquake, (2) the azimuth of the aftershock area was $N20^\circ E$ almost same as that of the seismic fault, (3) the dip of the aftershock area was $70^\circ-80^\circ$ to the west, and (4) the azimuth and the dip of the aftershock area agree with those of a nodal plane of the focal mechanism of the main shock obtained by Harvard University. Therefore we concluded without doubt that the 1995 Sakhalin earthquake was caused by one of inland right-lateral faults at the northern part of Sakhalin Island.

I. はじめに

米国地質調査所の観測によると、グリニッジ標準時 1995年5月27日13時3分(現地時間28日1時

3分)頃、サハリン島北部の北緯52.51度、東経142.87度、深さ11km付近を震源とするMw7.0の地震が発生した。本論文では以後この地震を「1995年北サハリン地震」と呼ぶ。この地震により、ロシア共和国サハリン州の州都ユジノサハリンスクから北へ約650kmにあるネフチェゴルスク(人口約3000人)では、2000人以上が死亡した。コンクリート製5階建てアパート17棟が原型をとどめないうほど完全に倒壊し、犠牲者の多くはそれらの下敷きとなった。1995年北サハリン地震発生時に周辺で機能していた定常地震観測点は、ニコライエスク・ナ・アムール(NKL)、ユジノサハリンスク(YSS)それから国後島・択捉島の2点および大陸極東地区の数カ所のみであった(Fig.1)。ロシア科学アカデミー極東支部海洋地質学地球物理学研究所(Institute of Marine Geology and Geophysics, FarEast Branch, Russia Academy of Sciences, IMGG)のユジノサハリンスク地震観測所では、これら定常観測点のデータを用いて本震および余震の位置を決定した(Fig.2)。これによると余震はサポの東約20kmから海岸線に沿って約100km南まで続き、南北に細長い範囲にわたって発生しているように見える。震源域と観測点との距離は、NKLが約150km、YSSが約650km、千島列島の観測点が約900kmである。しかし、Fig.2に示した本震・余震の震央は、実際の震央よりもかなり大きくずれていると考えられる。その理由は、(1)震源域付近に観測点がない、(2)Mw7.0の地震としては余震域が広すぎる、(3)大きな被害が出たネフチェゴルスクからかなり離れている、である。余震の発生してい

Okhotsk Sea Area

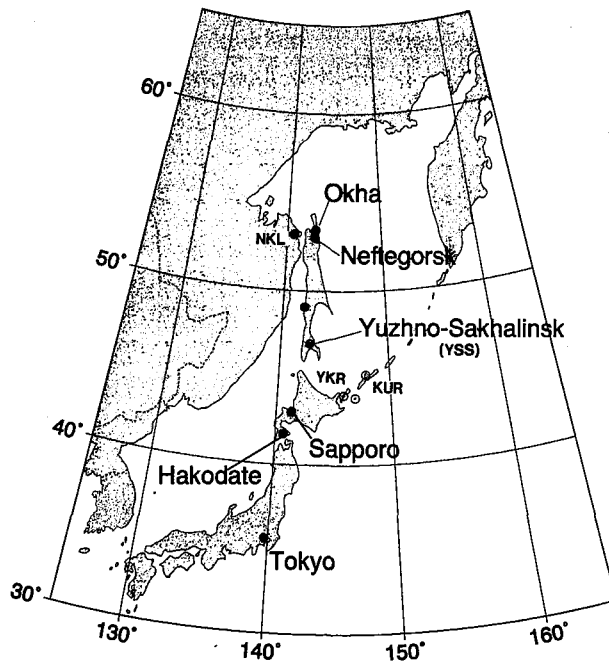


Fig. 1. Wide view of Okhotsk Sea area. The 1995 Sakhalin earthquake occurred in the northern part of Sakhalin island on May 27, 1995, which killed more than 2000 people in Neftegorsk. The Institute of Marine Geology and Geophysics (IMGG) determined epicenters of the main shock and aftershocks using data from NKL, YSS, YKR and KUR.

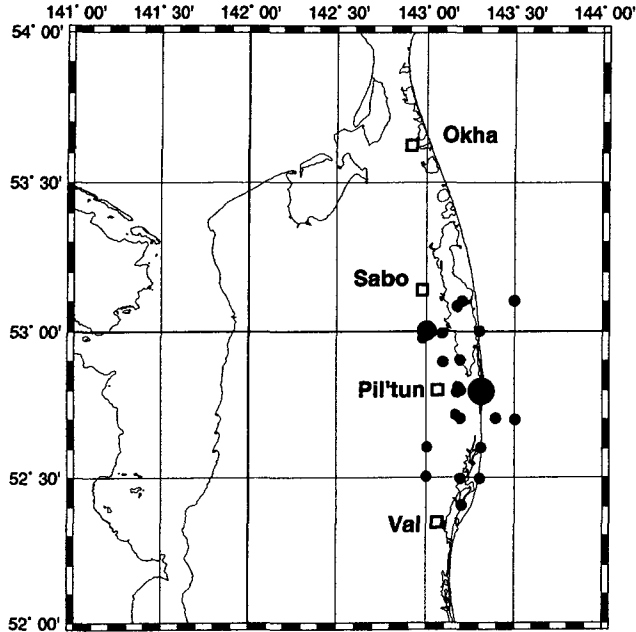


Fig. 2. Epicentral distribution of aftershocks of 1995 Sakhalin earthquake during a week after the main shock determined by IMGG. The biggest filled circle is the epicenter of the main shock located by IMGG. The second biggest filled circle at 143°E, 53°N denotes the location of Neftegorsk.

る深さは全く分からなかった。本震直後の余震域は本震で破壊された領域とほぼ一致すると考えられるので、地震の発生原因を推定する上で有力な拘束条件となる。したがって余震の発生している範囲を3次元的に把握することは非常に重要である。そこで我々はより精度が高くかつ詳細な余震分布を得るためにネフチェゴルスク付近で臨時合同地震観測を行った。本論文では、臨時観測の概要と余震分布について報告する。

II. 観測システム

北海道大学理学部附属地震予知観測地域センターとIMGG（以後データマークチームと呼ぶ）およびロシア科学アカデミー地球物理学研究所（以後モスクワチームと呼ぶ）が設置した臨時地震観測点について述べる。

データマークチームは現地到着後3カ所で臨時観測のための予備観測を行った。本観測ではFig. 3に示すように、6か所に観測点を設置した。予備観測、本観測とも各点は、Mark Products社のL-28B（固有周波数4.5 Hz、3成分）1台、白山工業のデジタルデータロガーDatamark LS-8000SH（20MB RAM内蔵）1台、8 Ahのバッテリー（日本電池、PORTALAC）1台で構成されていた。L-28Bは上下動1成分と水平動2成分計3成分が一体となっている。コイル抵抗は約36 kΩ、感度は0.982 V/cm/sである。地表面に深さ20 cm程度の穴を掘りL-28Bを埋設した。LS-8000SHの仕様をTable 1に示す。このデータロガーは非常に小型・軽量で取り扱いが簡単である。今回は自然地震モードすな

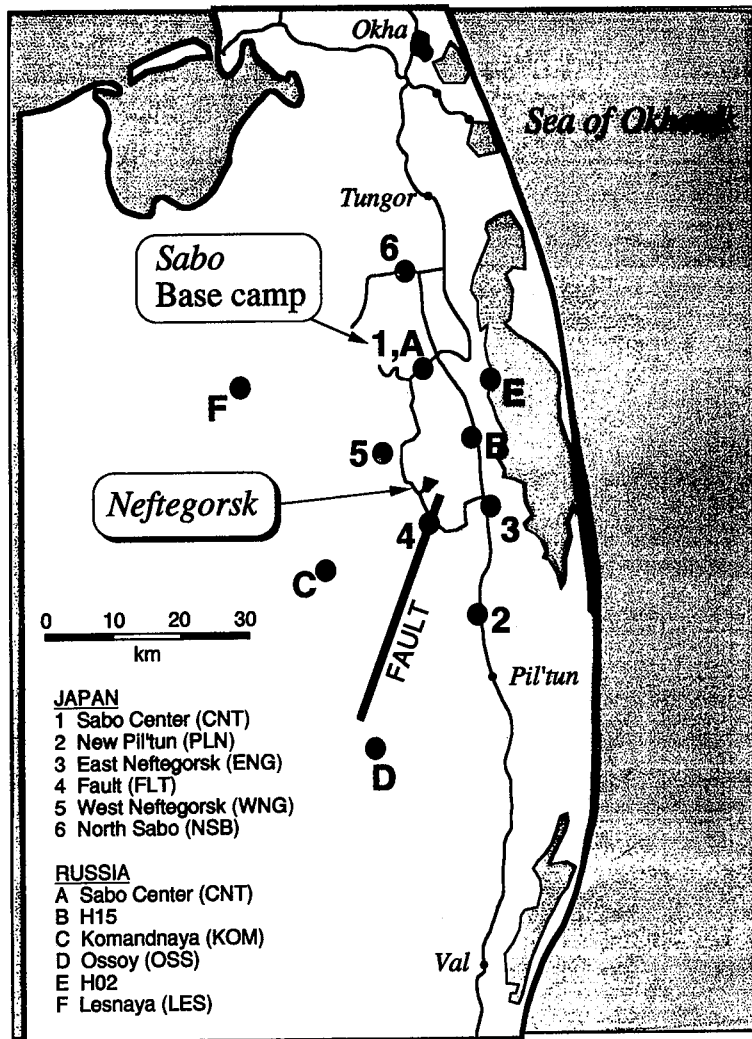


Fig.3. Temporal seismic stations deployed in the focal area. FAULT indicates a ground trace of the seismic fault ruptured by 1995 Sakhalin earthquake. Villages including Neftegorsk are also shown with main roads.

わちイベントトリガ方式で波形を取録した。クロック周波数は 3.072 MHz, サンプル周波数は 100 Hz, 1 ファイルの長さは約 33 秒, プレトリガ時間は 15 秒, 取録チャンネルは上下, 東西, 南北の 3 チャンネル, アンゲインは各チャンネルとも 40 dB に設定した。この設定の場合, 20 MB の RAM には 1000 ファイル保存することができる。LS-8000SH は, タイムスケジュールに設定された時刻になると, GPS 衛星からの電波を受信する機能を持っている。GPS 衛星からの時刻情報を利用して, LS-8000 SH の内部時計を自動較正する。今回は 1 日 4 回, 6 時間に 1 回自動較正を行い, 時刻が 10 ミリ秒以上ずれないようにした。LS-8000SH からのデータ回収は, 高速パラレル通信(最大 500 kB/s)により, IBM-PC Think Pad 230Cs(540 MB ハードディスク内蔵)を用いて行った。データ回収に要する時間は 10 分以内であった。回収したデータは光磁気ディスク (Logitec, LMO-450H) に保存した。外部バッテリーは余裕を見て 3 日毎に交換した。観測点の設置に際しては, 町と町をつな

Table 1. Specifications of DATAMARK LS-8000SH developed by Hakusan Industrial Corporation in Tokyo.

Input	the number of channels for input=4
Gain of amplifier	0, 6, 20, 30, 40, 50, 59 dB
Low pass filter	no filter, 30, 60, 120, 240 Hz
Resolution of A/D converter	16 bits
Sampling interval	1, 2, 4, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 250, 500, 1000ms
RAM	20 MB
Data area	the maximum number of data area=1000
Clock adjustment	done by GPS, accuracy = +5 microseconds
Internal clock	accuracy = +1 ppm
Trigger mode	explosion seimology mode, earthquake mode
Power	four inside dry batteries or an outside battery
Power consumption	70 mA/h
Data transmission to IBM PC	RS232C (2400-9600bps)
Size	253×146×40 mm
Weight	900 g without batteries
Condition range	Temprature-10°C-+50°C Humidity 30-90%

幹線道路はかなり交通量が多いので、わき道を数 km 入った静かな場所を選ぶようにした。この付近は昔から石油探査のための大規模な反射法地震探査が行なわれており、その測線の跡が林道のように残っていた。これらの道を利用すると、かなり奥まで車で入ることができた。

モスクワチームは Fig. 3 に示すように、6 か所に観測点を設置した。各点は、固有周波数 1 Hz の地震計(上下, 南北, 東西が各 1 台), 160 MHz 帯の無線データ送量器, アンテナ, 1 か月分のバッテリーなどで構成されていた。観測センターのサボでデータを受信し、IBM-PC を用いて分解能 12 ビットで AD 変換し、イベント・トリガー方式で波形をハードディスクに蓄え、最終的には Digital Audio Tape にデータを保存した。観測センターの時計は GPS 衛星の電波を受信して較正した。このシステムの長所は、(1) 1 度設置してしまえばデータの回収に行く必要がないこと、(2) リアルタイムで地震の発生状況が把握できることである。短所は、(1) 電波の伝播特性上、観測点を設置できる場所が制約されること、(2) 機材が多いので設置が大変であることである。モスクワチームはできるだけ高い場所にヘリコプターで機材を運び観測点を設置した。しかしネフチェゴルスク周辺は高くても 100 m 程度の山があるのみであり起伏がなく、テレメータ点だけでは観測点分布がどうしても偏ってしまう。そこでその間を埋めるようにデータマークチームが観測点を展開し、日ロ双方の観測機材の長所をうまく生かすことができた。なおサボには比較のため日ロ双方の地震計を約 50 cm 離して設置した。

III. 予備観測の結果

日本では本震発生直後からかなり高い精度の余震分布が、ほぼリアルタイムで把握できる。そこでその余震域を覆うような観測網を展開し、余震の深さ分布や詳しい活動状況、メカニズム解などを調査するのが普通である。しかし今回の場合、6 月 7 日に現地に到着した時、まずしなければならなかつ

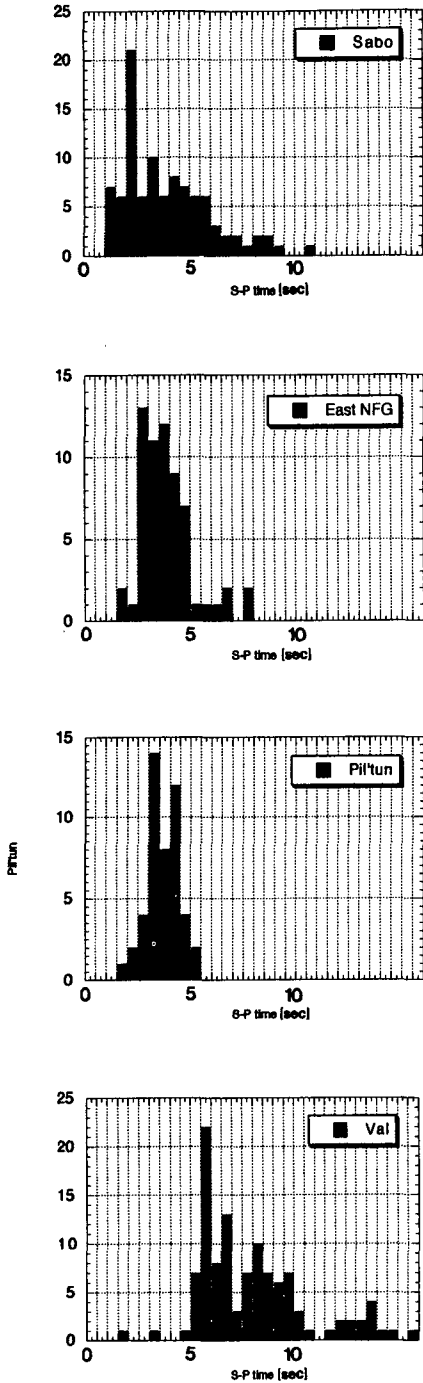


Fig. 4. Histograms of S-P times every 0.5 s at each station. These are preliminary results from quick observations from June 7 to 10.

Hourly Number of Aftershock recorded at each station

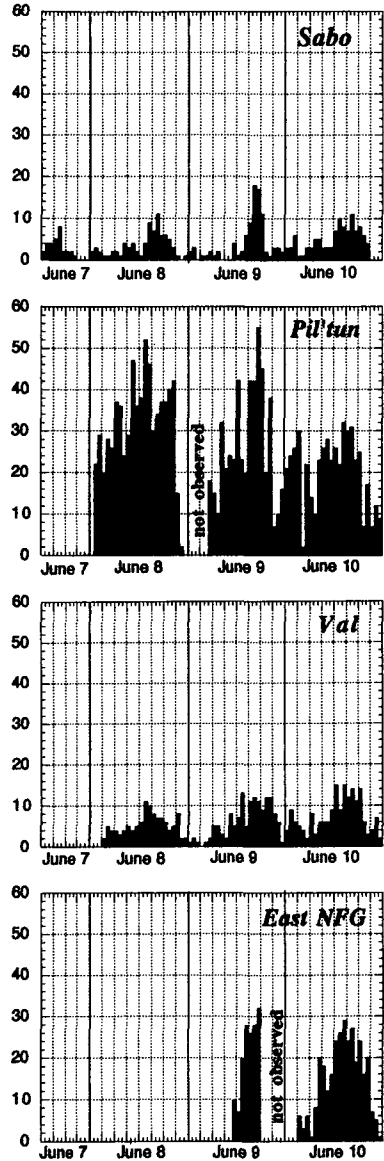


Fig. 5. The number of aftershocks per hour counted at each station. These are preliminary results of quick observations from June 7 to 10.

たことは、余震が発生しているおよその範囲を特定することであった。そのために、サボとピリトン(サボの南約40 km)とバル(サボの南約100 km)の3か所にLS-8000SHを設置し、1日後にデータを回収し、地震のS-P時間から震央の広がりやを推定する予備観測を行った。

Fig. 4にサボ、ピリトン、バルおよび東ネフチェゴルスクのS-P時間の頻度分布を示す。サボのS-P時間は、1.0秒から6.0秒の間に集中している。これは震央距離が数kmから50 kmくらいであることを意味している。ピリトンではS-P時間のばらつきが小さく、ほとんどの地震は3.0秒から4.5秒の値を示している。これは震央距離が20 kmから40 kmくらいであることを意味している。さらにFig. 5から明らかなように、ピリトンでの発生回数が3か所の内で最も多かった。これはピリトンが余震活動域の中心に最も近いからであると我々は解釈した。一方バルではS-P時間のごく短いものではなく、5.0秒よりも長い地震がほとんどであった。これはバルが余震域から40 km程度離れていることを示している。これらの観測結果をもとに、我々は6月9日に以下のような結論に達した。(1)1995年北サハリン地震の余震域の北の端はサボ付近である、(2)余震域の南の端はバルよりも約40 km北である、(3)恐らく余震は海岸付近ではなく、ピリトンやネフチェゴルスク付近を中心とした内陸部に発生している。この予備観測の結果は、本観測の観測点配置を決める際に参考となった。

IV. 現地処理により得られた余震分布

6月11日以降、データマークチームは毎日データを回収し、モスクワチームからトリガリストをもらい、そのリストにある地震のP波、S波の到着時を読み取ってモスクワチームに渡した。データマークチームのデータ回収は、SBS, PLN, ENG, FLT, WNG, NSBの順番で行った。通常午前9時頃SBSを出発し、午後1時頃一旦SBSに戻り、昼食をとった後NSBに向かい、午後3時頃回収作業が終了した。その後、その日に回収したデータの検測作業を行った。検測作業は白山工業が開発したプログラムDatamark Assistを用いた。モスクワチームはテレメータ観測点のP波、S波の到着時とデータマークチームのS-P時間を使ってただちに震源決定を行った。約1日遅れとはなるが、この連携作業により余震の発生状況を現地において把握することができた。

6月10日から7月7日までに現地で決定された地震の数は699個である。Fig. 6は震源決定の際に仮定したP波速度構造である。ポアソン比は0.25、すなわち $V_p/V_s=1.732$ と仮定した。Fig. 7に本観測により得られた余震分布およびハーバード大学によって決定されたCMT解(Harvard Quick CMT Solution)を示す。余震域の走向は、およそN20°Eである。CMT解の1つの節面の走向がN16°Eである。したがって余震域の走向とCMT解の節面の走向はほぼ一致している。今回の地震では地表に地震断層が長さ約30 kmに渡って出現した。余震の震央分布の走向は、この地震断層の走向と一致している。また走

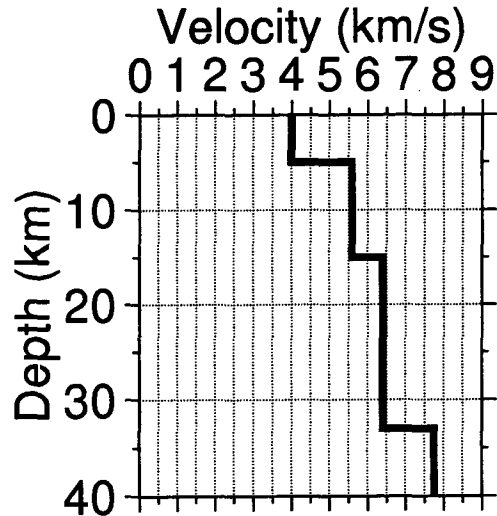


Fig. 6. The P-wave velocity structure assumed in calculation of hypocenters. The Poisson's ratio was assumed to be 0.25 in each layer.

Aftershocks of 1995 Sakhalin Earthquake

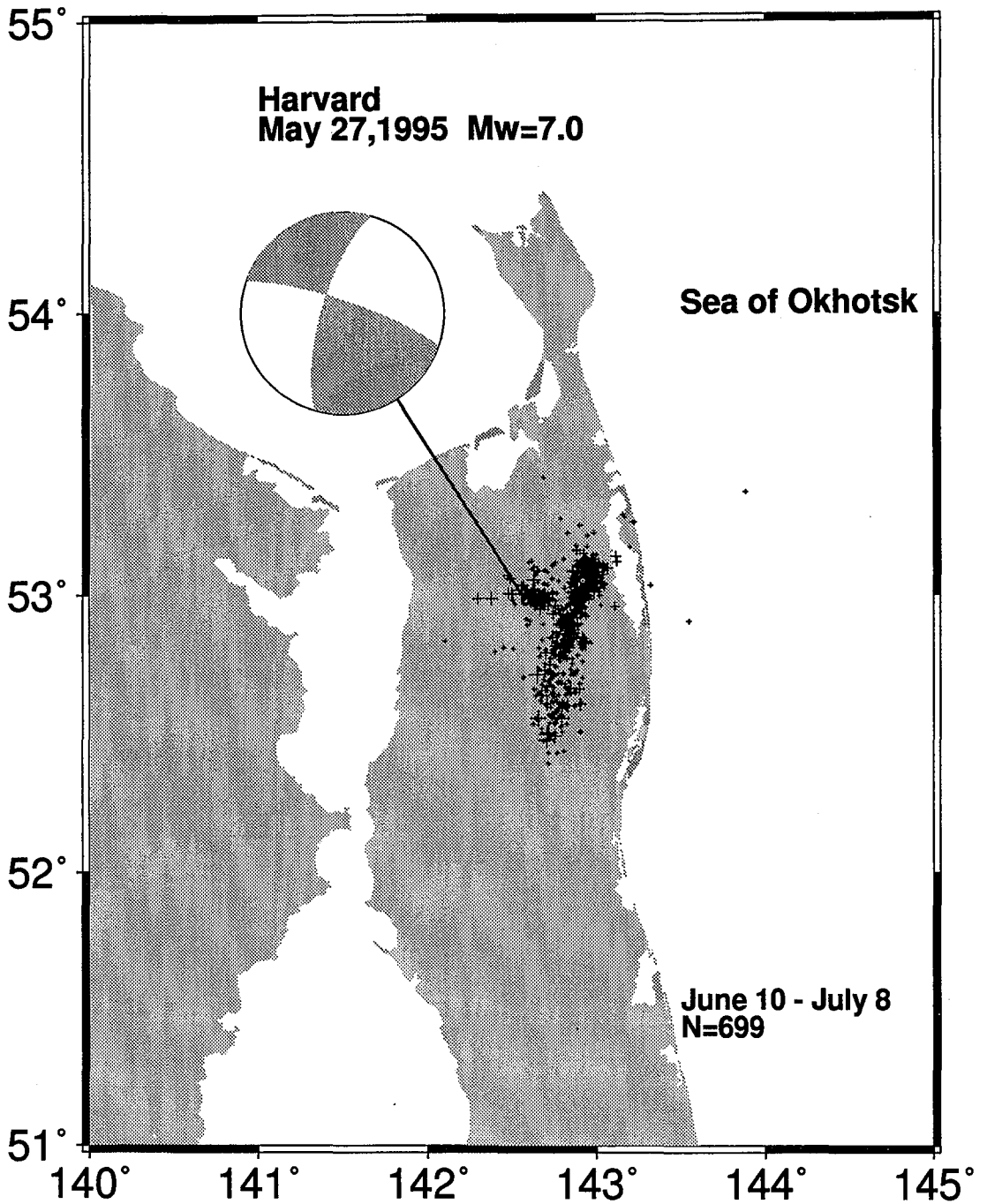


Fig. 7. The epicentral distribution of aftershocks of the 1995 Sakhalin earthquake from June 10 to July 8. They were located using the temporal seismic stations shown in Figure 3. The Harvard quick CMT solution of the main shock is also shown.

Aftershocks of 1995 Sakhalin Earthquake

(June 10 - July 8)

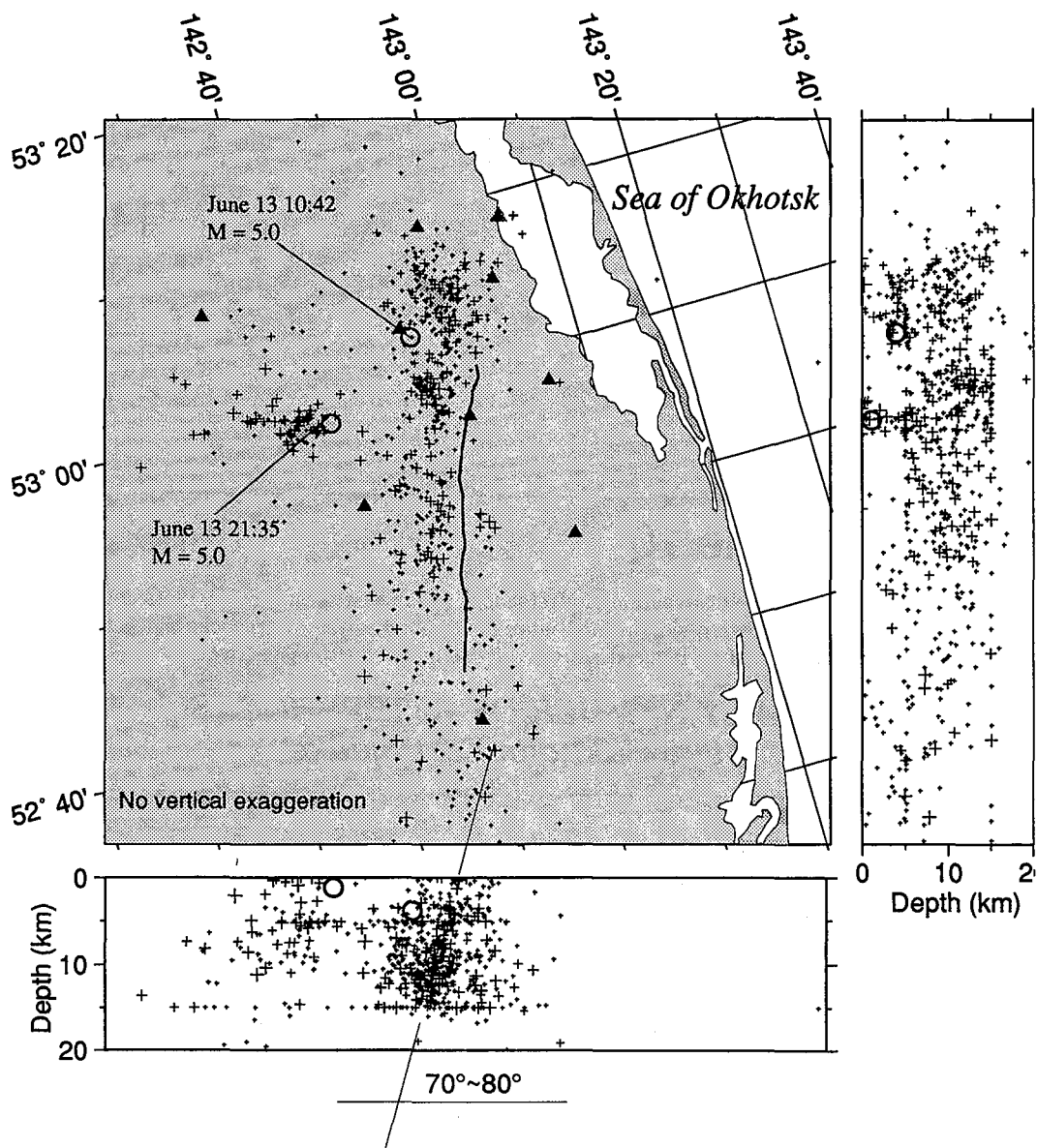


Fig. 8. A seismicity map highlighting the focal area. The top of the map was rotated to the direction of N20°E. A solid line in the map of epicenters denotes the ground trace of the seismic fault determined by Dr. Kozulin in United Institute of Geophysics, Russian Academy of Sciences. Filled triangles indicate the location of the temporal seismic stations.

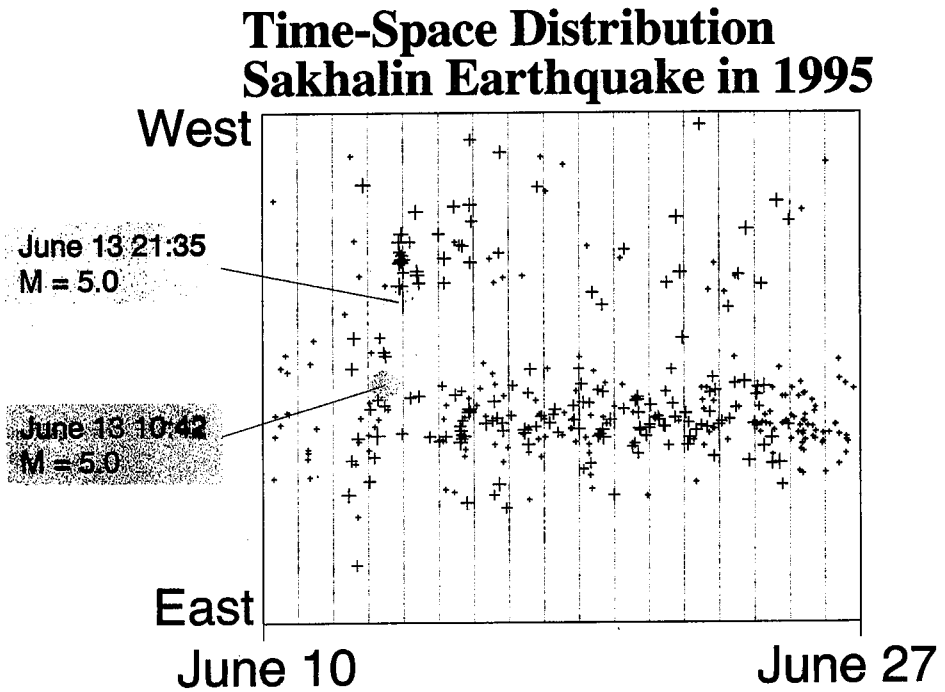


Fig. 9. A time-space distribution of aftershocks for an east-west section. Plots of the eastern and western side in this figure correspond to the aftershocks along the seismic fault and an induced activity by the main shock, respectively.

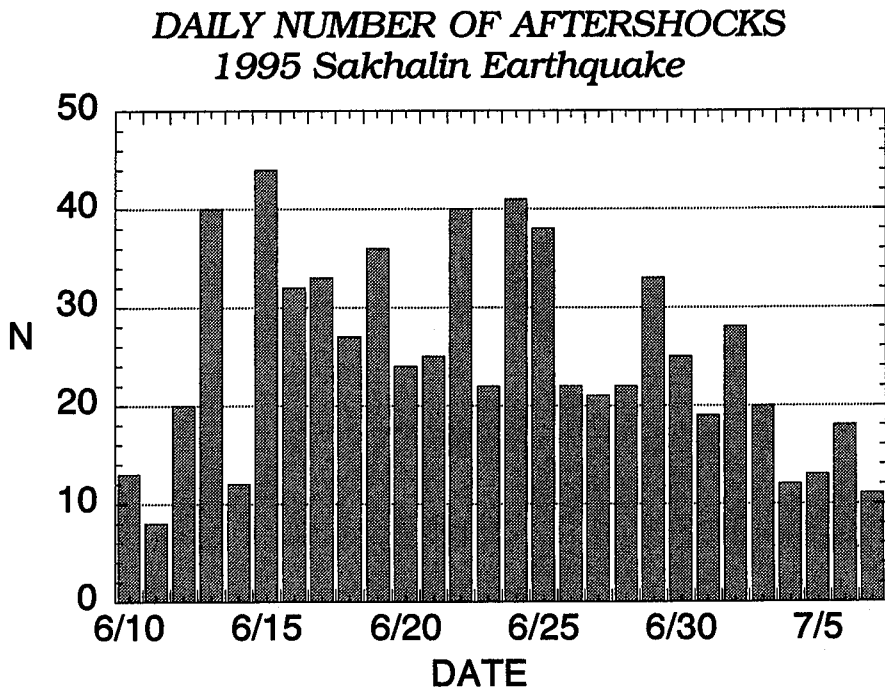


Fig. 10. The daily number of the aftershocks which were observed and located using the temporal seismic stations.

向に直交する方向の断面図を見ると、西に $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 傾斜する面上に余震が集中して発生していることが分かる (Fig. 8). CMT 解の内、走向が $N 16^{\circ}E$ の節面の傾斜は西に 73° である。したがって余震が集中して発生している面の傾斜と CMT 解の節面の傾斜はほぼ一致している。以上より、走向がおよそ $N 20^{\circ}E$ で、西に $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 傾斜した右横ずれ断層が、1995年北サハリン地震の断層面であったことが明らかとなった。この断層面が地表に達し、長さ約 30 km の地震断層を地表面に形成したと考えられる。ただし以下の理由により、断層面の大きさについては余震分布だけでは断定できなかった。(1)余震の震央は、北緯 53.1 度、東経 143.0 度付近から南南西にのびて、ネフチェゴルスク付近を通り、北緯 52.5 度、東経 142.8 度付近までの長さ約 70 km である。これは地震断層の長さよりも明らかに長い。(2)この付近の速度構造があまりよく分かっていないため、余震域の深さの上限と下限の評価が正確ではない。(1)の原因は、(a) 地表に現れた地震断層以外に、地下に隠れている伏在断層が存在する、(b) 本震の破壊は地表の地震断層とほぼ同じ長さだったが、時間とともに余震域が断層の走向方向に拡大した、の2つが考えられる。本震直後の数時間以内あるいは1日以内といった期間の余震分布や地殻変動のデータが、(a)と(b)のどちらなのかを決定する重要な根拠となる。今回の場合、1日以内の余震分布は分からないが、地震後 GPS による測量が行われ (高橋・他, 1995)、(b)が有力であるとの結果であった (笠原私信)。一方、地震断層に平行な余震域の西側、北緯 53.0 度、東経 142.7 度付近を中心とした半径約 5 km の領域では、6月13日 21時 35分に $M 5.0$ の地震が発生し、その後余震活動が続いた。Fig. 9にこの活動の時空間分布を示す。この $M 5.0$ の地震は本震の断層運動によって誘発されたものであると考えられる。この地震の約 11 時間前にも $M 5.0$ の地震が地震断層の北端部で発生した。これら2つの地震により、サポでは日本の震度 4 程度の揺れを感じた。Fig. 10は日別震源決定数を示す。徐々に数が減少していることが分かる。また Fig. 11 から余震全体の b 値は約 0.9 であることが分かる。世界的に種々の地震群の b 値を見ると、ほとんどの場合 $0.7\sim 1.0$ であり、1995年北サハリン地震の余震の b 値もこの範囲に含まれる。

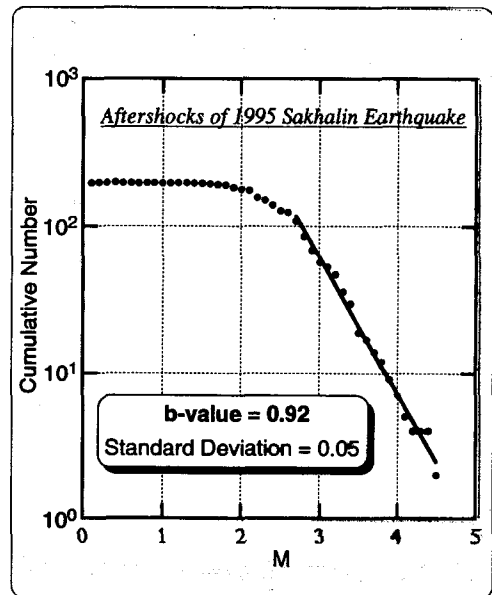


Fig. 11. Plots of the cumulative number shows that the b -value for the aftershocks of the 1995 Sakhalin earthquake was approximately 0.9.

V. おわりに

1995年5月27日にサハリン島北部で発生した $M_w=7.0$ の地震の詳細な余震分布を得るために、日本及びロシア共和国の3つの機関が協力して、臨時合同地震観測を行った。3機関とは、北海道大学理学部附属地震予知観測地域センター、ロシア科学アカデミー極東支部海洋地質学地球物理学研究所 (ユジノサハリンスク) およびロシア科学アカデミー地球物理学研究所 (モスクワ) である。6月10日から7月7日までに 699 個の余震が観測され、現地においてそれらの震源が決定された。その結果以下のようなことが明らかとなった。(1)ネフチェゴルスクの近くを通る地震断層に平行な領域で多

くの余震が発生している, (2)余震域の走向はおよそ $N 20^{\circ}E$ で, 西に $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 傾斜している, (3) (2)の結果は, ハーバード大学によって求められた本震の CMT 解と調和的である. 故に, 1995 年北サハリン地震の本震は, サハリン島内陸部における右横ずれの断層運動が原因であった, ということは間違いない. 本震後, 余震域は地震断層の北方および南方延長線上に拡大して行ったと考えられる. 地震断層から西方へ約 20 km 離れた場所では, 本震の断層運動によって誘発されたと思われる活動が見られた.

謝辞 本研究で使用した DATAMARK LS-8000SH のソフトウェアに関して, 東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センターの森田裕一氏から多大な支援を頂いた. 記して謝意を表します.

文 献

高橋浩晃・笠原稔・N. ワシレンコ・金春雄・A. イワシエンコ・木股文昭・瀬野徹三, 1995, 1995 年北サハリン地震による地震断層北部の地殻変動, 日本測地学会第 84 回講演会要旨, 85-86.