



Title	2003年十勝沖地震による強震動
Author(s)	前田, 宜浩; MAEDA, Takahiro; 笹谷, 努 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 67, 167-179
Issue Date	2004-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.67.167
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14342
Type	departmental bulletin paper
File Information	67_p167-179.pdf



2003年十勝沖地震による強震動

前田 宜浩・笹谷 努

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

(2003年12月24日受理)

Strong Ground Motions from the 2003 Tokachi-oki Earthquake

Takahiro MAEDA and Tsutomu SASATANI

Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received December 24, 2003)

A large earthquake ($M_J=8.0$) occurred on September 26, 2003 (JST) at the southernmost part of the Kurile-Hokkaido arc. This earthquake, named the 2003 Tokachi-oki earthquake, is the plate boundary earthquake and has nearly the same source region as the 1952 Tokachi-oki earthquake ($M_J=8.2$). Many strong motion records were obtained by the high-dense networks such as K-NET and F-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. We study characteristics of strong ground motions from the 2003 event based on these records.

First we make a simple comparison between displacement seismograms from the 2003 and 1952 events at several Japan Meteorological Agency (JMA) stations. The waveforms at the same station are mutually similar while the amplitudes of the 1952 seismograms are slightly larger than those of the 2003. Second we investigate spatial distributions of peak ground accelerations (PGAs) from the main shock and the largest aftershock ($M_J=7.1$) of the 2003 event; large PGA values are observed in the northern and eastern sides of the main shock epicenter, while those are observed in the western side of the largest aftershock epicenter. This is confirmed by comparing S-wave spectral ratios of the main shock to the largest aftershock; the S-wave spectral ratios at high frequencies are larger than about 10 at the eastern stations, while those are about 1 at the western stations. These features suggest different rupture direction between the main shock and the largest aftershock. Finally we compare strong motion seismograms from the 2003 event with those from the 1993 Kushiro-oki earthquake ($M_J=7.5$) which is characterized by an intra-slab event. The S-wave acceleration spectrum for the 1993 event has nearly the same amplitude level as the 2003 event at high frequencies despite the smaller magnitude. Since the seismic moment of the 2003 event is several times larger than the 1993 event, this indicates strong radiation of high-frequency seismic waves during the 1993 Kushiro-oki intra-slab earthquake.

I. はじめに

2003年9月26日午前4時50分頃に、十勝沖を震源とする気象庁マグニチュード (M_J) 8.0の地震が発生した。この地震では北海道の太平洋側の広い範囲で震度6弱が観測され、気象庁により平成15年(2003年)十勝沖地震(以下、03年十勝沖地震と呼ぶ)と命名された。この地震は、北海道から南千島にかけての領域を震源域として周期的に発生している、太平洋プレートと陸側プレートの境界で発生するプレート間巨大地震であると考えられる。また、この地震に引き続いて多くの余震が発生し、9月26日午前6時8分頃に余震域の南西端付近で発生した最大余震 ($M_J=7.1$) では、浦河町潮見で震度6弱を観測した。

また、この地震により北海道から東北地方にかけての太平洋沿岸で、最大で約4mの津波が観測された(気象庁・大学等津波合同調査班, 2003)。さらに、GPS観測結果によれば、今回の地震に伴い北海道の広い範囲で地殻変動が観測されており、広尾で南東方向に1m近く移動するなど、特に襟裳岬周辺で南東に大きく移動している(国土地理院, 2003a)。また、襟裳岬付近を中心に北海道の広い範囲で余効変動が観測されている(国土地理院, 2003b)。

本稿では、03年十勝沖地震とその余震による強震動の特徴について検討した結果について報告する。

II. 1952年と2003年の2つの十勝沖地震による強震動の比較

今回の地震の震源域では1952年に $M_J=8.2$ の地震(以下、52年十勝沖地震と呼ぶ)が発生しており、Yamanaka and Kikuchi(2003)による遠地記録を用いた今回の地震の震源インバージョン解析によれば、その震源域は52年の震源域とほぼ重なっている。そこで、まず52年と03年の2つの十勝沖地震による強震動の定性的な比較を行う。

2つの十勝沖地震による地震動を比較するために、同一観測点における記録の比較が可能な気象庁の記録を用いる。厳密には観測点の位置が若干移動している点もあるが、ここでは主に長周期成分に注目して比較するので、その影響は小さいと考える。52年の地震では、気象庁1倍強震計(変位計)による観測が行われており、井上(1954)に波形記録が記載されている。一方、現在は気象庁95型震度計(加速度計)による強震動観測が行われている。これら2つの地震計は互いに周波数特性が異なるため、ここでは03年の地震記録に対して帯域の狭い1倍強震計の計器特性を施して計算した変位波形と

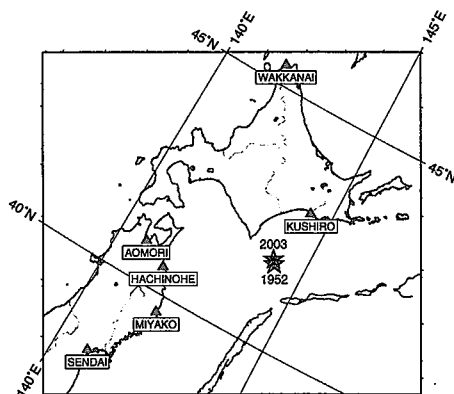
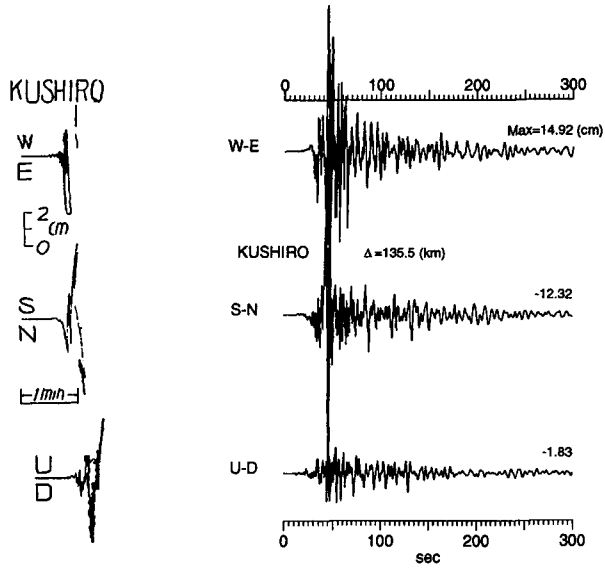


Fig. 1. Location map showing JMA seismic stations (▲) and epicenters (☆) of the 1952 and the 2003 Tokachi-oki earthquake.

(a)



(b)

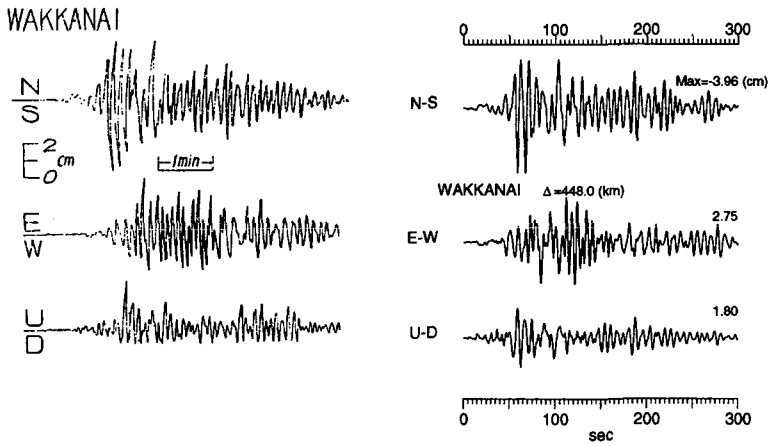
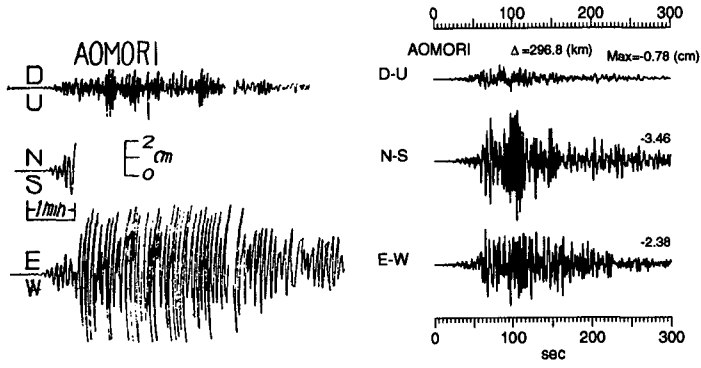


Fig. 2. Displacement seismograms observed at JMA stations during the 1952 and the 2003 Tokachi-oki earthquake. Left: the 1952 event, and right: the 2003 event. (a) Kushiro, (b) Wakkanai, (c) Aomori, and (d) Miyako, Hachinohe and Sendai. The seismograms for the 2003 event were originally recorded by the JMA 95-type accelerometer. These were two times integrated then corrected for the JMA strong motion seismograph that recorded the seismograms for the 1952 event. The seismograms are depicted on the same scale.

(c)



(d)

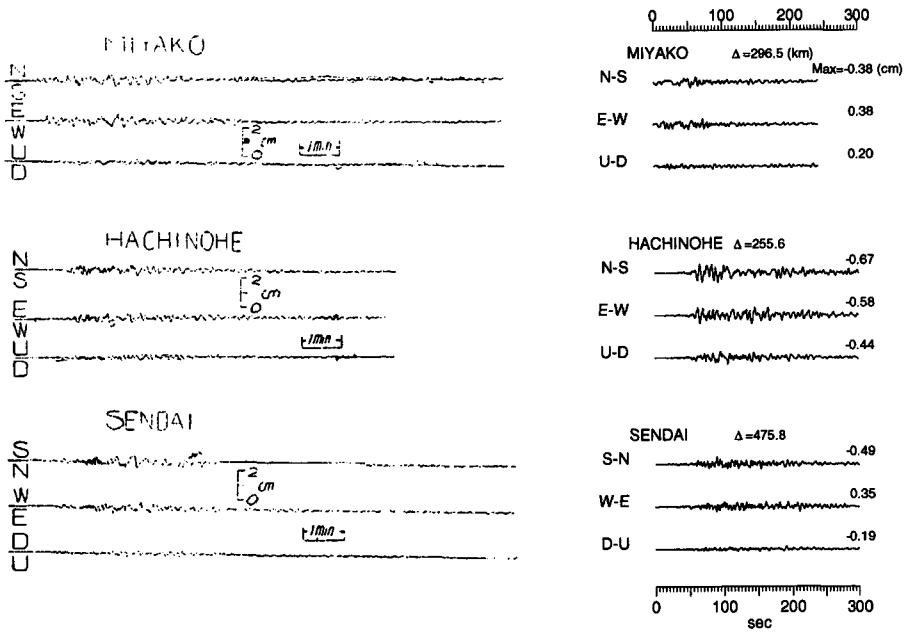


Fig. 2. Continued

52年の記録を比較した。釧路、稚内、青森、宮古、八戸、仙台の6地点(Fig. 1)における2つの地震の記録を、Fig. 2(a)~(d)に示す。52年の記録ではやや不鮮明な部分もあるが、波形の包絡形状や振幅レベルについて定性的に比較することは可能である。

52年の釧路の記録は全成分がS波部分で振り切れているため、波形全体についての比較はできないが、立ち上がり部分に注目すると、52年と03年の記録は互いによく似ている。稚内では、52年の方が03年よりも振幅がやや大きい。2つの地震の波形形状は成分毎に非常に似ている。青森の52年のN-S成分が振り切れているが、52年の方が03年よりも振幅が2倍近く大きい。振幅レベルの低い、宮古、八戸、仙台では、波形の形状についての比較は困難であるが、2つの地震による振幅レベルの差は顕著ではないことがわかる。震源に近い釧路の記録が振り切れてしまっているため、震源過程の詳細についてこれらの波形から考察することはできないが、稚内や青森では52年の方が03年よりも振幅レベルが高く、 M_f の違いを表していると考えられる。

III. 03年十勝沖地震の本震と最大余震による強震動記録の特徴

1. 最大加速度値の空間分布と距離減衰関係

今回の地震では、多くの観測点で強震動記録が得られている。ここでは、防災科学技術研究所によるK-NETの記録を用いて、本震と最大余震による最大加速度値の空間分布と距離減衰関係について検討する。まず、最大水平加速度(PGA)分布をFig. 3に示す。本震では300 cm/s²を超える大加速度が北海道の太平洋側の複数の観測点で観測されている。一方で、最大余震では加速度の大きな領域は震源から西側に集中している。震源よりも東側の十勝、釧路、根室地方では本震の方が最大余震よりも最大加速度が10倍以上大きな領域が見られるのに対し、西側では2つの地震による最大加速度に大きな差は見られない。これは、directivityの効果(例えば、筧(2003))などの震源過程を反映した現象であると思われる(Fig. 6参照)。

次に、本震と最大余震のPGAの距離減衰関係をFig. 4に示す。この図では、火山フロントよりも前弧側と背弧側の記録を異なる印でプロットしているが、同じ距離で比べた場合には、前弧側と背弧側でPGAに大きな違いは見られない。図中にはプレート間地震に対する司・翠川(1999)による経験式も示している。

ここでは点震源を仮定して横軸に震源距離を取っているが、これら2つの地震は M_f が7以上の大地震であり、断層の大き

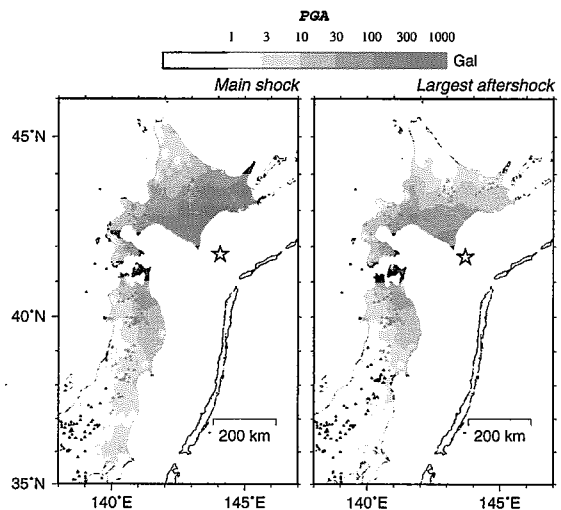


Fig. 3. Spatial distribution of peak ground accelerations (PGA) at the K-NET stations. Left: the 2003 Tokachi-oki main shock, and right: its largest aftershock. Triangles indicate active volcanoes.

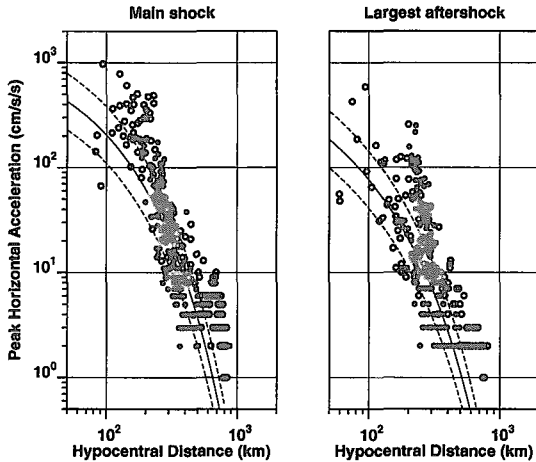


Fig. 4. Attenuation relations of peak ground accelerations. Left: the 2003 Tokachi-oki main shock, and right: the largest aftershock. Solid and open circles denote data recorded at the back-arc side and the fore-arc side of the volcanic front, respectively. Solid and dashed lines represent an empirical attenuation relation and its standard deviations by Shi and Midorikawa (1999).

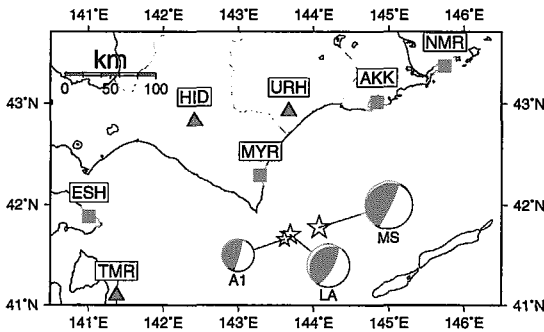


Fig. 5. Location map showing seven strong motion observation sites where broadband velocity-type seismometers are installed. Squares and triangles are the sites maintained by Hokkaido University and F-net, respectively. Stars are epicenters of the 2003 Tokachi-oki main shock (MS), the largest aftershock (LA) and the October 9, 2003 aftershock (A1). The focal mechanisms are taken from Harvard CMT solutions.

さを無視することはできない。その結果、震源から近距離の範囲では経験式からのずれが大きくなっている。また、最大余震では本震に比べ同距離でのPGAのばらつきが大きい。震源距離が200 km程度でも前弧側の観測点間で約10倍の差があることから、ばらつきの原因として震源距離の評価法以外が要因となっていることも考えられる。

2. 広帯域速度計による強震動記録

北海道から東北地方の太平洋沿岸に設置されている広帯域速度型強震計 (Fig. 5) の記録を用いて本震と最大余震の強震動記録を比較する。このうち、NMR (根室)、AKK (厚岸)、MYR (茂寄)、ESH (恵山) は北海道大学により設置された強震観測網 (笹谷・他, 1990; 笹谷・他, 2002) の観測点、URH (浦幌)、HID (日高)、TMR (泊) は防災科学技術研究所のF-netの観測点であり、AKK以外は岩盤をくりぬいた観測壕内に地震計が設置されている。また、AKKでは微小地震観測用ポアホール孔の孔口マンホール内に地震計が設置されている。したがって、これらの観測点の記録は、都市部などの比較的軟弱な地盤上に設置された観測点の記録に比べ、震源の情報より直接的に見るのに適している。

Fig. 6に、本震と最大余震による強震動速度波形を示す。なお、最大余震によるURHの記録は

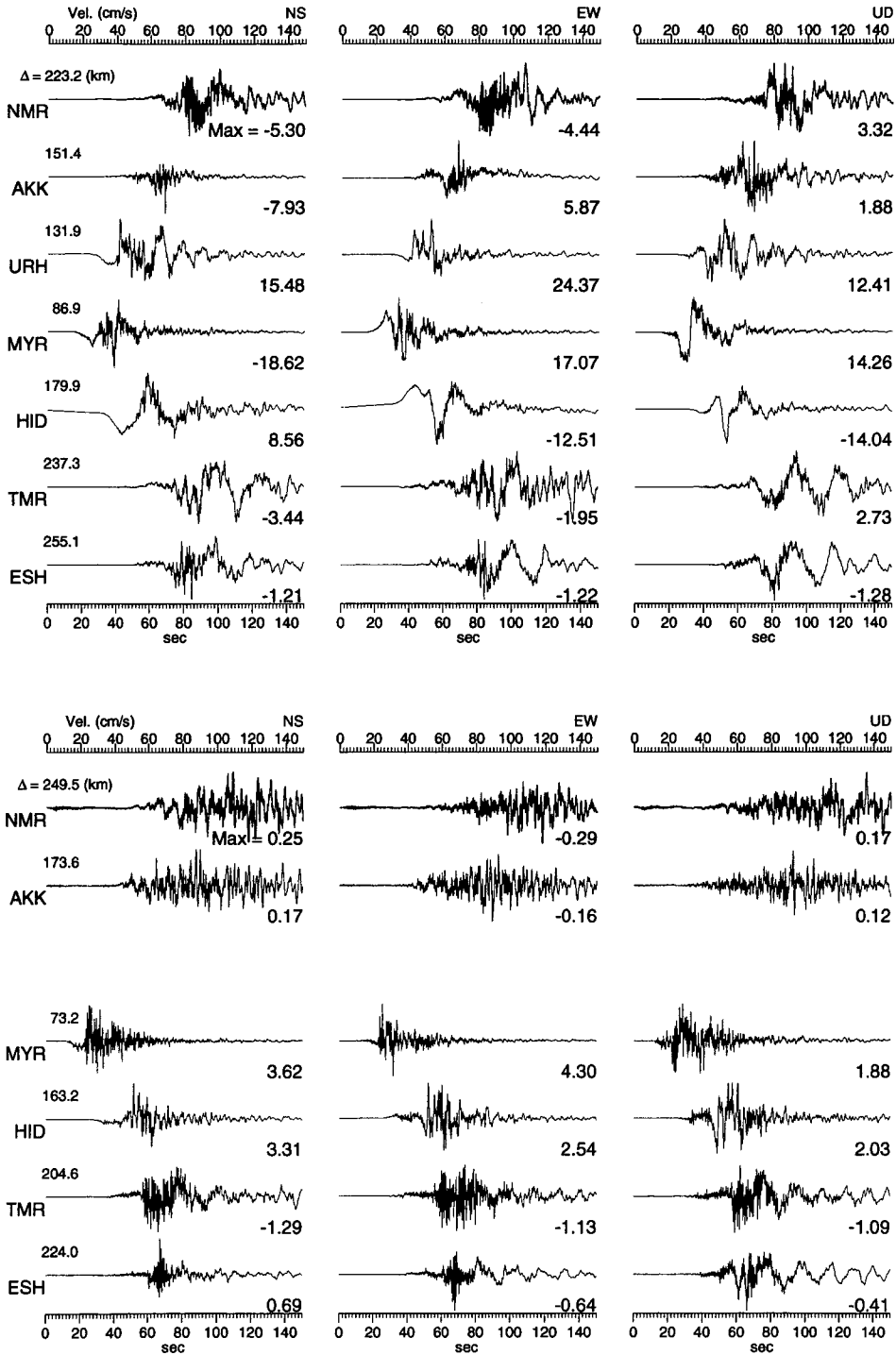


Fig. 6. Velocity seismograms observed at seven stations during the 2003 Tokachi-oki main shock (upper) and the largest aftershock (lower). The origin of the time scale is the event origin time.

ない。また、MYR の東西成分は地震計のゼロ線がずれていたために振り切れている。各波形は、最大振幅値でそれぞれ規格化されているが、図中に示した最大振幅値からわかるように、本震では震源よりも東側の観測点（図中で上側）が西側の同距離の観測点よりも大きな振幅を記録している。一方、最大余震では西側の観測点の方が同距離の東側の観測点よりも波群がコンパクトにまとまっており、大きな振幅を記録している。

Fig. 6 に示した本震と最大余震の各波形の S 波部分約 80 秒間について計算したフーリエスペクトルを Fig. 7 上段に、本震と最大余震のスペクトル比を下段に示す。0.1~1 Hz までの低周波数帯ではいずれの観測点でも本震の方が余震よりも振幅レベルが高い。この周波数帯では後続の表面波の影響が大きく、純粋な S 波の情報のみを表しているとはいえないが、振幅レベルの違いは地震規模を反映したものと考えられる。本震と最大余震の地震モーメント比は、Harvard 大学によれば $23.6 (=3.05 \times 10^{21} \text{Nm} / 1.29 \times 10^{20} \text{Nm})$ 、F-net によれば $7.1 (=8.21 \times 10^{20} \text{Nm} / 1.15 \times 10^{20} \text{Nm})$ と、研究機関によって約 3 倍の開きはあるものの、本研究による 6 観測点のスペクトル比の低周波数レベルはほぼこの範囲内に収まっている。一方、1 Hz よりも高周波数帯では東側の NMR, AKK では本震の方が約 10 倍大きな振幅であるが、西側では本震と最大余震で振幅レベルの違いは見られない。このように、本震と最大余震では最大速度値や波形形状、スペクトル形状に関して異なった方位依存性が見られる。ここでは同一観測点の記録を比較に用いているので、方位依存性の原因としては震源と伝播経路の影響が考えられる。そこで、2 つの地震の近傍で発生した 10 月 9 日の地震 ($M_f=5.4$, Fig. 5) による 7 観測点の記録から震源と伝播経路の影響について調べる。Fig. 8 に示した速度波形には、本震や最大余震に見られた震源の東側と西側での最大振幅値や波形形状の違いは認められない。この地震は最大余震よりも規模が小さく、震源過程は比較的単純であると考えられるので、観測波形に明らかな方位依存性が見られないことは、この領域内では伝播経路の違いが観測記録に及ぼす影響は小さいことを示している。したがって、本震と最大余震で見られた波形形状などの方位依存性は主として震源に起因するものと考えられる。

本震については、これまでに強震動記録や遠地記録を用いて震源過程が推定されている (Yamanaka and Kikuchi, 2003; 頼巖, 2003)。これらの研究によれば、本震の断層破壊は震源から北~北東方向へ伝播しており、この破壊の directivity の効果のため、破壊の進行方向である東側の観測点において大振幅でコンパクトな波形が観測されたと考えられる。一方、最大余震の記録からは本震とは逆に破壊が西側へ伝播したことが示唆される。しかしながら、最大余震については、少なくとも遠地記録を用いた震源過程の推定は非常に困難である。Fig. 9 には、本震と最大余震による遠地 P 波速度波形を示している。各波形は理論上の P 波の立ち上がりが 25 秒で揃うように並べている。本震では 25 秒から P 波による震動が始まっているが、最大余震では本震によって生じた長周期ノイズに埋もれているために、その P 波に対応する位相が見られない。したがって、最大余震の震源過程の推定には強震動記録を用いた解析が必要であり、今後の重要な課題である。

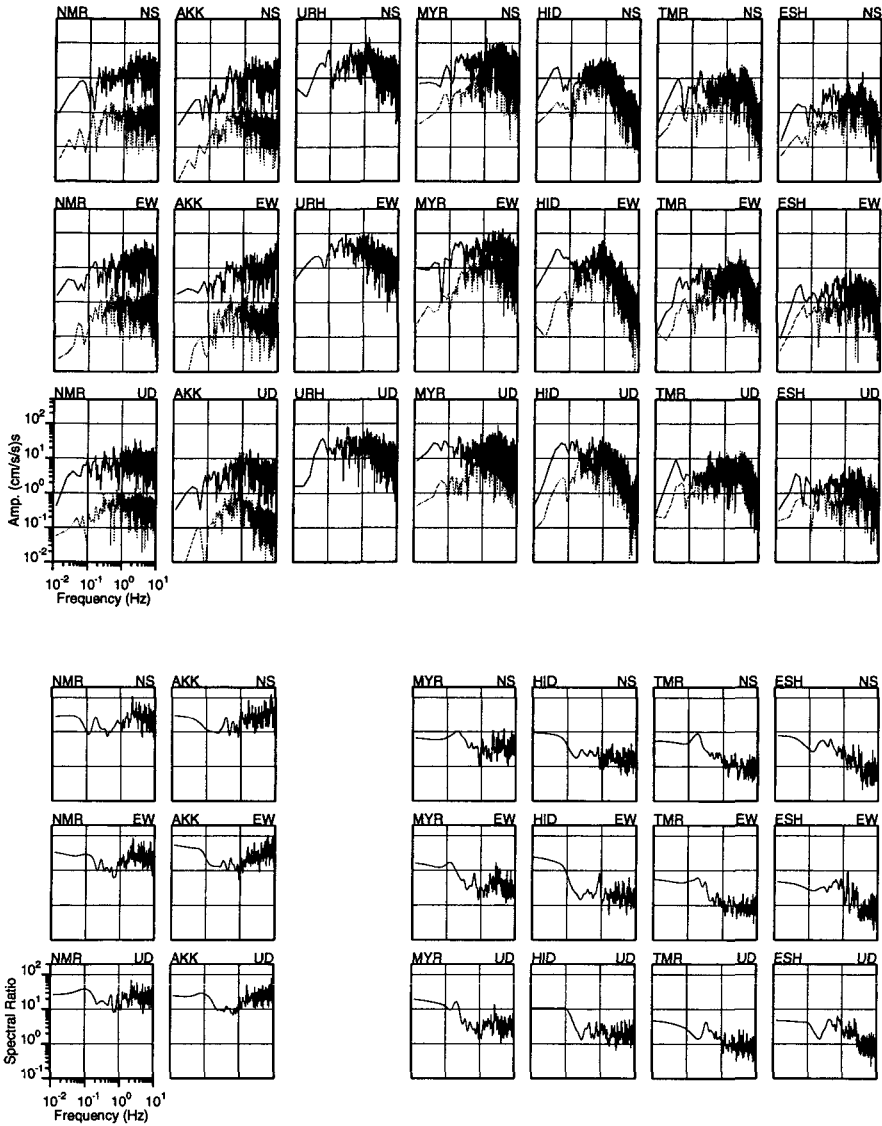


Fig. 7. Upper panel: S-wave acceleration spectra at seven stations for the time window of 80s. Solid curves: the 2003 Tokachi-oki main shock, dashed curves: the largest aftershock. Lower panel: Spectral ratios of the 2003 Tokachi-oki main shock to the largest aftershock at six stations. Note that the largest aftershock data were missed at URH.

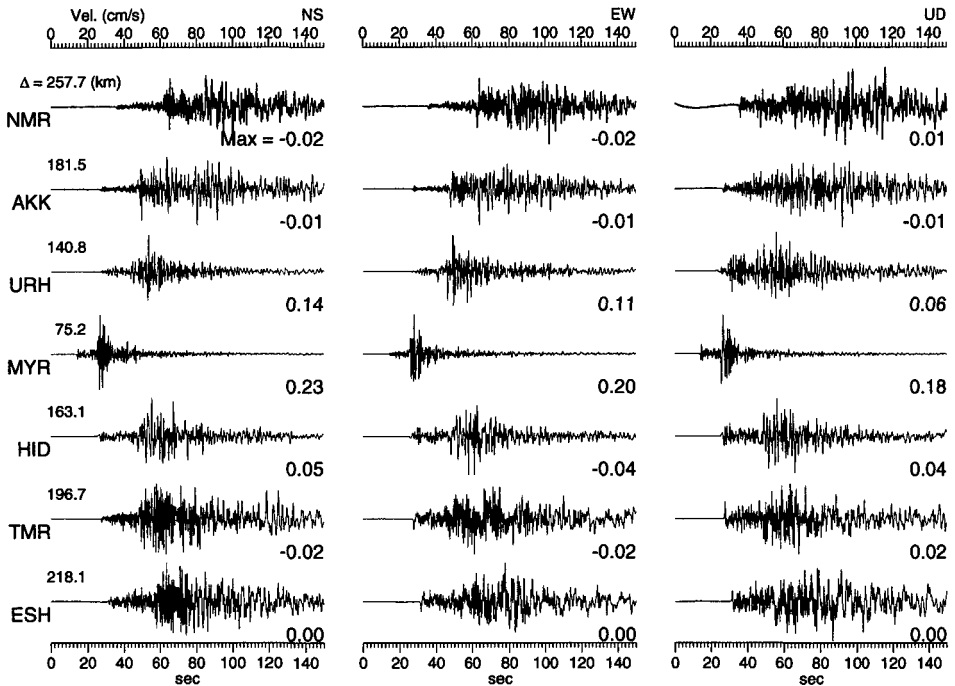


Fig. 8. Velocity seismograms observed at seven stations during the October 9, 2003 aftershock ($M_j=5.4$).

IV. 1993年釧路沖地震と年十勝沖地震による強震動の比較

今回の地震は、沈み込む太平洋プレートと陸側プレートの境界で発生したプレート間地震である。プレートの沈み込み帯で発生する地震には、プレート間地震の他に、沈み込んだプレートの内部が破壊して発生するスラブ内地震がある。そこで、スラブ内地震である1993年釧路沖地震 ($M_j=7.5$)と2003年十勝沖地震の記録を比較し、地震タイプによる強震動の違いについて調べる。ここでは、MYRにおける記録を比較に用いる。これらの2つの地震は互いに地震規模が異なり、なおかつ震源距離も異なっているため、速度強震動記録 (Fig. 10 上段) の震動の継続時間の違いをスラブ内地震とプレート間地震による震源特性の違いに、単純に関連付けることはできない。しかしながら、S波部分約40秒間について計算したフーリエスペクトルを比較すると (Fig. 10 下段)、地震規模 (地震モーメント) に比例する低周波数側の振幅レベルは十勝沖地震の方が3~4倍程度大きい。1 Hz以上では両者のスペクトルはほぼ一致しており、釧路沖地震の方がその地震規模に比して高周波数地震波を強く励起していることを表していると考えられる。これは、スラブ内地震が同規模のプレート間地震よりも高周波数地震波を強く励起するという既往の研究 (例えば、Morikawa and Sasatani, 2003) とも整合的である。

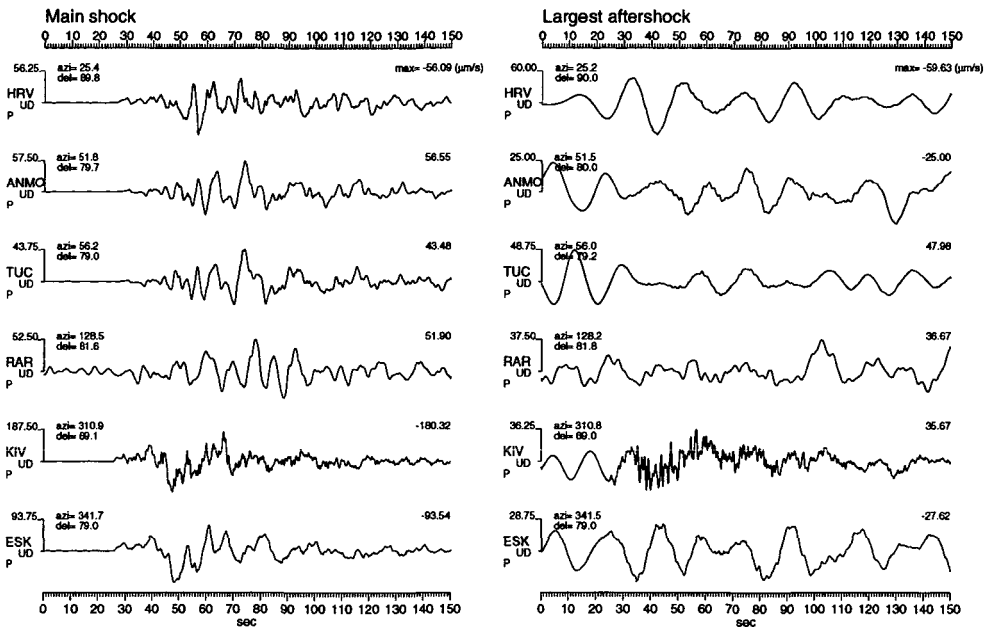
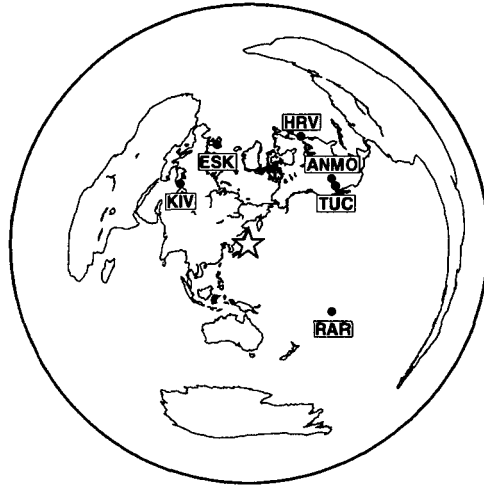


Fig. 9. Teleseismic P-wave velocity seismograms (U-D component) at IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) stations. Left: the 2003 Tokachi-oki main shock, and right: the largest aftershock. Note that P-wave signals for the largest aftershock are contaminated by long-period noises excited by the main shock. IRIS stations and epicenters are shown on the upper inset.

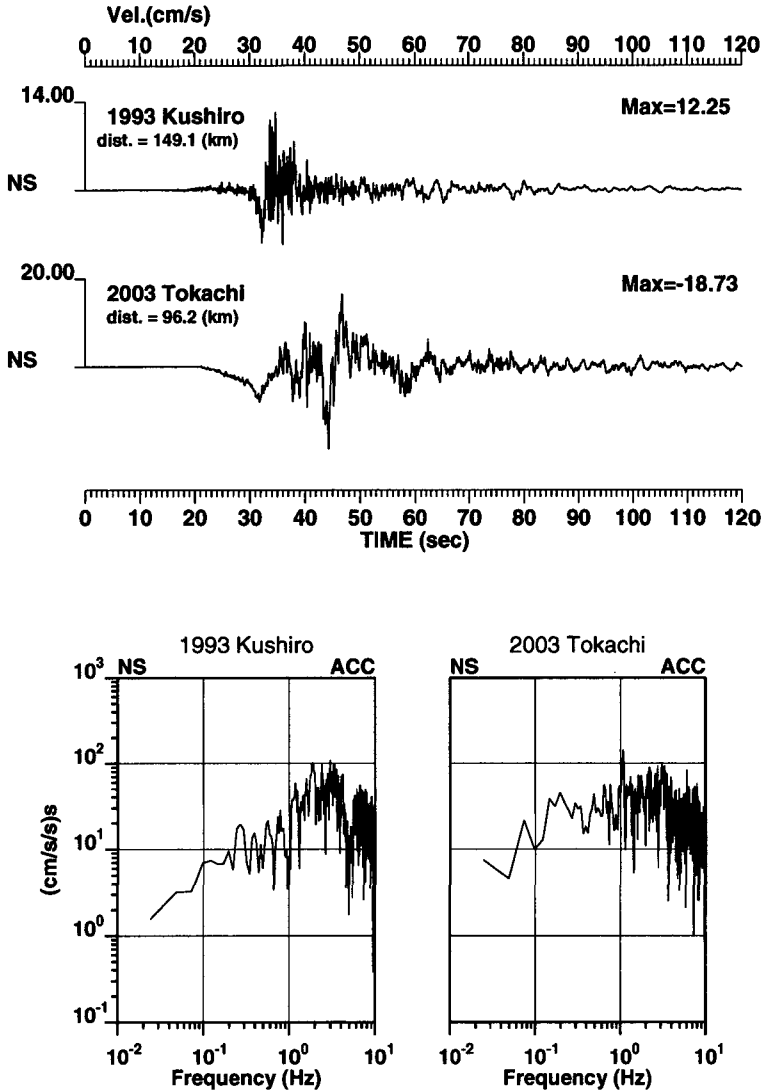


Fig. 10. Upper: velocity seismograms (N-S component) observed at MYR during the 1993 Kushiro-oki and the 2003 Tokachi-oki earthquake. Lower: S-wave acceleration spectra (time window of 40s) for the 1993 event (left) and the 2003 event (right).

V. ま と め

2003年十勝沖地震、及びその最大余震による強震動の特徴について調べ、以下の知見を得た。

- 1) 本震の記録をほぼ同じ領域を震源域として発生した1952年十勝沖地震による記録と比較した結果、両者の波形形状は似ているが、振幅レベルは1952年の方が大きく、最大で約2倍ほどであった。

- 2) 本震と最大余震に対する最大加速度分布や強震動記録の検討から、断層破壊は本震では主に北から東側へ、最大余震では西側へ伝播したことが示唆された。本震に関しては震源インバージョンの結果と調和的である。一方、最大余震に関しては、近地記録に基づいた震源過程の推定による確認が必要である。
- 3) 1993年釧路沖地震による記録との比較から、スラブ内地震が高周波数地震波を強く励起することが確認された。

謝辞 気象庁, K-NET, F-net のデータを使用しました。記して感謝します。

文 献

- 井上字胤, 1954. (1)十勝沖地震調査報告, I. 概観. 十勝沖地震調査報告, 6-30.
- 寛楽磨, 2003. 高密度強震観測網の威力-2001年芸予地震の震源過程の解析を例に-, 月刊地球, 25, 627-632.
- 気象庁大学等津波合同調査班, 2003. http://www.jma.go.jp/jma_hp/jma_press/0310/06a/tsunami031006.pdf.
- 国土地理院, 2003 a. <http://cais.gsi.go.jp/yochiren/jis/154/gif/154-03.gif>.
- 国土地理院, 2003 b. <http://www.gsi.go.jp/bousai/kusirooki/jishingo/yokou1.html>.
- 額巖一起, 2003. <http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/tokachi/tokachi.html>.
- Morikawa, N. and T. Sasatani, 2003. Source spectral characteristics of two large intra-slab earthquakes along the southern Kurile-Hokkaido arc, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **137**, 67-80.
- 笹谷努・松島健・小柳敏郎, 1990. 十勝平野における強震動観測, 北海道大学地球物理学研究報告, **54**, 15-22.
- 笹谷努・前田宜浩・吉田邦一・森川信之・一柳昌義・本谷義信・笠原稔, 2002. 北海道における広帯域速度計による強震観測, 北海道大学地球物理学研究報告, **65**, 335-345.
- 司宏俊・翠川三郎, 1999. 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, **523**, 63-70.
- Yamanaka, Y. and M.Kikuchi, 2003. Source process of the recurrent Tokachi-oki on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, *E- Letter Section of Earth Planets Space*, submitting.