



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	2003年十勝沖地震(Mw8.0)前後の北海道太平洋沿岸5観測点の地殻変動連続記録について
Author(s)	笠原, 稔; 山口, 照寛; 高田, 真秀 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 71, 103-129
Issue Date	2008-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.71.103
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/32764
Type	departmental bulletin paper
File Information	71-103.pdf



2003 年十勝沖地震 (Mw8.0) 前後の北海道太平洋沿岸 5 観測点の 地殻変動連続記録について

笠原 稔・山口 照寛・高田 真秀・一柳 昌義・岡山 宗夫

北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

(2008 年 1 月 21 日受理)

On continuous crustal deformation data recorded at 5 stations located along the Pacific coast in Hokkaido before and after the 2003 Tokachi-Oki earthquake, Mw=8.0

Minoru KASAHARA, Teruhiro YAMAGUCHI, Masamitsu TAKADA,
Masayoshi ICHIYANAGI and Muneo OKAYAMA

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received January 21, 2008)

Secular and short term strain variations before and after the 2003 Tokachi-Oki earthquake, Mw8.0, recorded at five continuous crustal movement stations located along the Pacific coast are reported. There is no obvious forerunner movement at all stations. However, clear co-seismic and post-seismic strain changes are recorded at all stations. Strain data are digitized by 18 bits with 1 Hz sampling rate so that the complete strain seismogram of Mw8.0 event were recorded at MYR station nearest the source of the event. Strain seismograms recorded at all stations in Hokkaido are also reported.

I. はじめに

北海道内では、1971 年のえりも地殻変動観測所の設置 (笠原・他, 1972, 1973) 以来、地殻変動連続観測点を増設 (Kasahara, 1976; 笠原・他, 2007) してきた。その目的のひとつは、地震前兆現象の補足であった。えりも観測所 1 点ではあったが、1973 年根室半島沖地震の際には、地震前兆地殻変動と地震後の余効変動を記録し、同時に地震時のストレイン・ステップも記録し、歪計の有用性を示すことができた (Kasahara, 1983)。しかし、1982 年浦河沖地震の際には、前兆的変動は観測されていない。その後、8 観測点の増設を行い、1994 年北海道東方沖地震の 2 年前からの非常にゆっくりした地震前の広域変動が観測されている (Katsumata and Kasahara, 1999)。その前年の 1993 年北海道南西沖地震の場合は、最も近い上の国観測点でも、

前兆的変動を認めることはできなかった。2003 年十勝沖地震は、北海道で展開した地殻変動観測網で前兆地殻変動現象が観測できることを期待していたものであったが、明瞭な前兆地殻変動は無かった。しかし、その後の顕著な余効変動は、1996 年以降展開されている国土地理院の GPS 観測網 (GEONET) による記録と同様に、歪記録にも明瞭に見られている。ここでは、2002 年 1 月 1 日から 2007 年 5 月 31 日までの、2003 年十勝沖地震の震源域に近い太平洋岸の 5 観測点、MUJ (三石)、ERM (えりも)、MYR (広尾)、URH (浦幌)、AKK (厚岸)、の連続記録について報告する。また、歪計は DC 成分まで応答する周波数特性の平坦な広帯域の地震計としての特性を持っており、これまでにその有用性を示すいくつかの解析結果が報告されている (笹谷・笠原, 1978; Kashara and Sasatani, 1985, 1986) が、ここでも本震の歪地震動の記録も報告する。

II. 観測の概要

Fig. 1 上図に、2007 年現在、北海道大学地震火山研究観測センターにより維持されている地殻変動連続観測点の分布を示す。観測方式は、横坑に設置している石英管伸縮計 3 成分と縦坑に設置している石井式 3 成分歪計による 2 種類である。各観測点の各成分の方向を含めて、Fig. 1 に示してあり、同時に、Table 1 に観測点の位置と観測開始年、石英管伸縮計の場合は基準長さ (L, m) を、縦坑の場合は設置深度 (D, m) も示してある。このうち、札幌市内に設置してあ

Table 1 Code of continuous crustal movement station operated by Hokkaido University in Hokkaido and the directions of three components of strain-meter for each station, location, standard length of stram meter/depth of borehole and year of beginning of observation.

s.code	EX	EY	EZ	Lat.	Lon.	L/D	Begin
erm	EAB(N135E)	ECD(N45E)	EEF(N90E)	42.018	143.153	30	1971
myr	EXW(N8E)	EYW(N98E)	EZF(N143E)	42.294	143.280	10	1983
tes	EXW(N102E)	EYW(N12E)	EZF(N57E)	43.486	144.399	10	1983
img	EXW(N77E)	EYW(N167E)	EZF(N32E)	42.393	140.140	4	1984
kkj	EXW(N121E)	EYW(N31E)	EZF(N76E)	41.780	140.140	4	1984
muj	EXW(N58E)	EYW(N148E)	EZF(N13E)	42.286	142.582	10	1984
urh	EXW(N26E)	EYW(N116E)	EZF(N161E)	42.930	143.668	10	1984
aib	EXW(N59E)	EYW(N149E)	EZF(N14E)	43.893	142.642	10	1985
knp	EXW(N88E)	EYW(N178E)	EZF(N43E)	43.763	143.708	10	1985
toi	EXW(N66E)	EYW(N156E)	EZF(N21E)	44.225	141.670	10	1985
tnk	EX(N56E)	EY(N146E)	EZ(N11E)	44.781	142.080	10	1994
okb	EU(N86E)	EM(N26E)	ED(N146E)	42.083	139.479	-500	1995
akk	EU(N43E)	EM(N163E)	ED(N103E)	43.020	144.838	-350	1996
nmr	EU(N123E)	EM(N63E)	ED(N3E)	43.368	145.738	-350	1996
syj	EU(N59E)	EM(N179E)	ED(N119E)	43.366	140.483	-350	1996
med	E1(N28E)	E2(N148E)	E3(N88E)	43.140	141.198	-500	1998
stz	E1(N124E)	E2(N64E)	E3(N4E)	42.967	141.465	-500	1998
esh	EXC(N65E)	EYC(N155E)	EZF(N20E)	41.887	141.008	4	2007

る, 2 観測点, med (前田), stz (里塚), は, 札幌市の微小地震観測井に設置したもので, データの提供を受けているものである. Fig. 1 下図は, 太平洋沿岸の観測点と共に, 2003 年十勝沖地震の断層領域と最大余震の震央を示してある.

全てのデータは, サンプルレート 1Hz で, フルスケール 18 ビットで量子化されている. 感度は, 観測点・成分によって若干の差はあるが, 1 ビット $\approx 10^{-10}$ にセットされており, フルスケール $3 \sim 5 \times 10^{-5}$ までの歪変化を記録することができる. その結果, 2003 年十勝沖地震の震源域に最も近かった MYR (広尾) 観測点でも, 飽和することなく Mw8.0 の歪地震動記録を得ることができた. 歪計のデータベースとしては, 1Hz データと, それからつくる毎分平均値と, 1 分値から作る 1 時間平均値の 3 種類がアーカイブされている. 毎分値に対しては, 保守に伴うオフセットの調整や故障に伴うデータの異常に対しての編集作業を行い, 長期変化についてはこれらのデータを補正することで, 自然の歪変化を表示できるようにしてある.

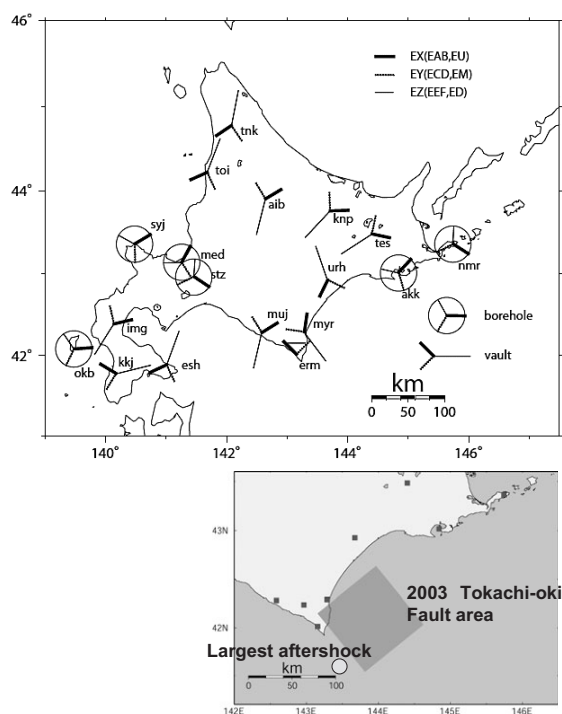


Fig. 1. Map (upper) showing continuous crustal movement stations operating as of 2007 by Hokkaido University in Hokkaido. Directions of three components are shown for each station with station code. Map (lower) showing the fault area of the 2003 Tokachi-oki earthquake and epicenter of the largest aftershock with crustal movement stations (dot) along the Pacific coast in Hokkaido.

Ⅲ. 2002 年から 2007 年までの 5 観測点の歪変化記録

Fig. 2 (a) ~ (e) に, 2003 年 9 月 26 日十勝沖地震を含む, 2002 年 1 月 1 日より, 2007 年 5 月 31 日までの各観測点の 1 時間値のオリジナル記録 (上図) と, 2003 年十勝沖地震の余効変動を見やすくするために, 地震時のストレイン・ステップ量を取り除く補正を施した記録 (下図) を示す. 横軸は 2002 年 1 月 1 日 00 時からの時間数であり, 1 目盛りが 1 年に相当することになる. 縦軸の 1 目盛りは, 10^{-6} ストレインである. 各観測点について, それぞれの特長について次に簡単に述べる.

Fig. 2 (a) は, MUJ (三石) 観測点である. この観測点は, 新世代新第三紀の泥岩・砂岩の互層に掘削された横坑で, 被りは 10m 程度である. 降雨に関連する年周変動が, $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ 程度になっている. 2003 年十勝沖地震によるストレインステップを補正したもので見ると, 1 週

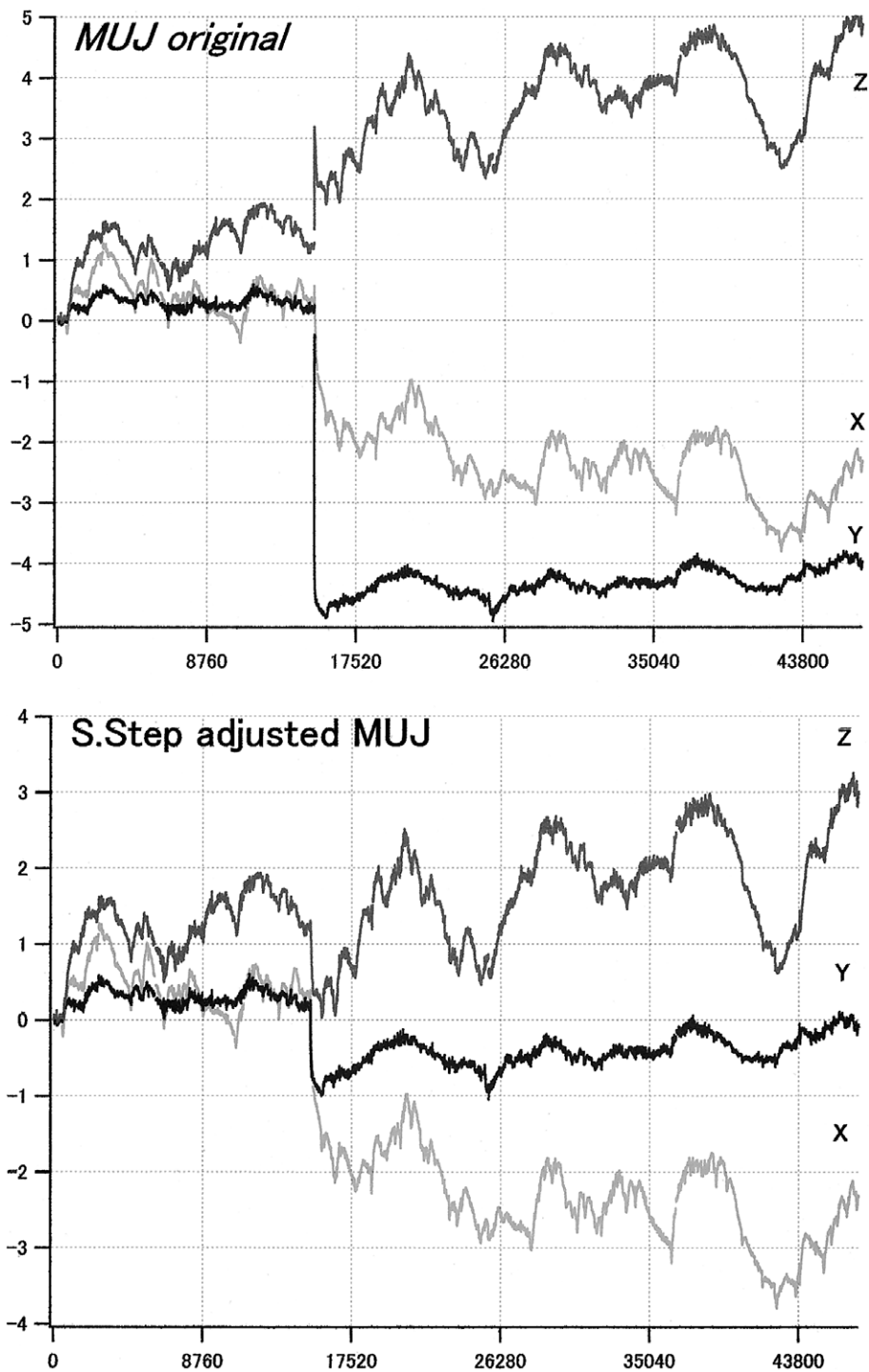


Fig. 2(a). Data for the period from Jan. 1, 2002 to May 31, 2007.

Upper figure is original one and lower figure is corrected data by strain step of 2003 Tokachi-Oki earthquake at MUJ (Mitsu'ishi) station.

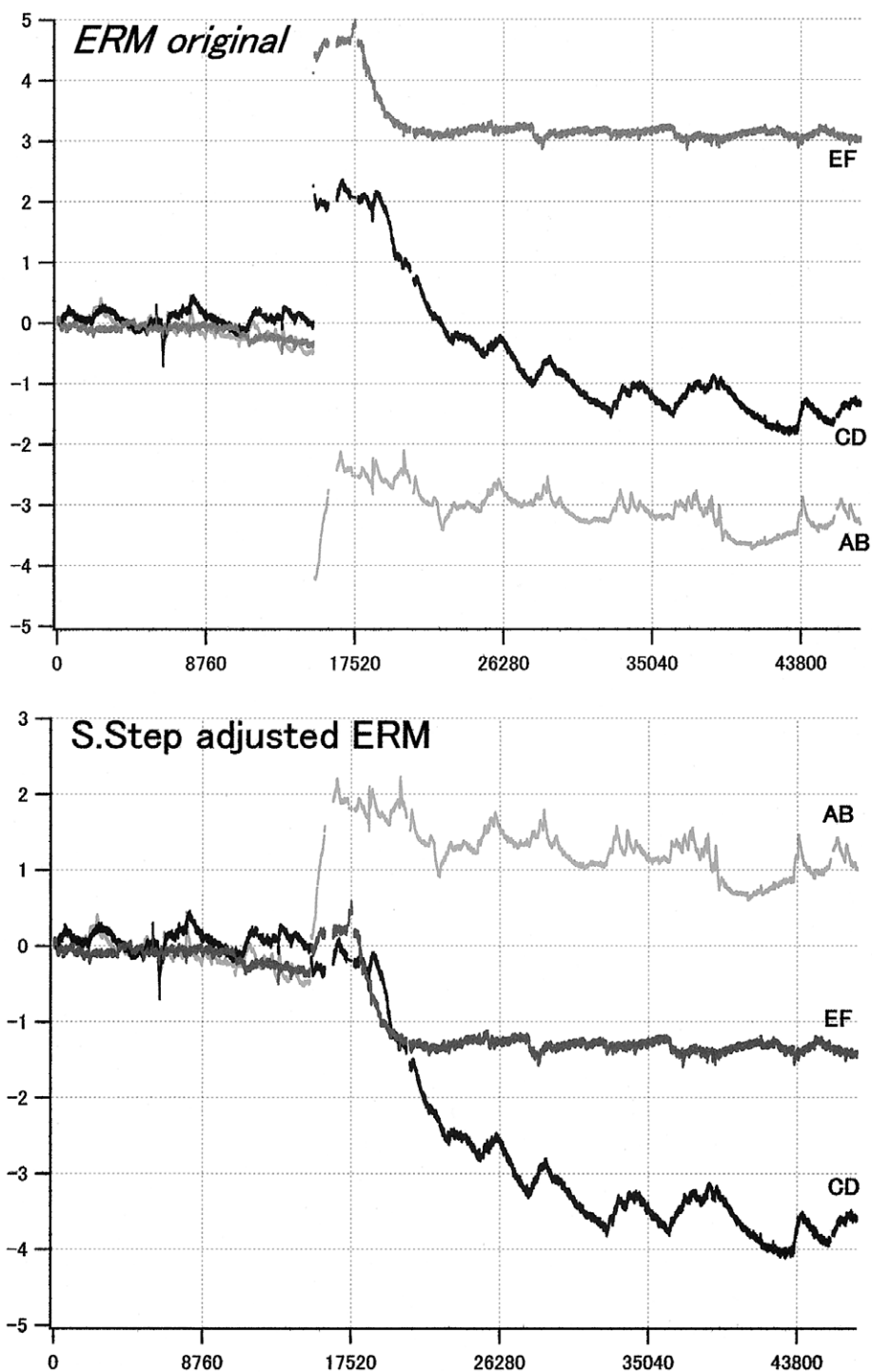


Fig. 2(b). Data for the period from Jan. 1, 2002 to May 31, 2007.
Upper figure is original one and lower figure is corrected data by strain step of 2003 Tokachi-Oki earthquake at ERM(Erimo) station.

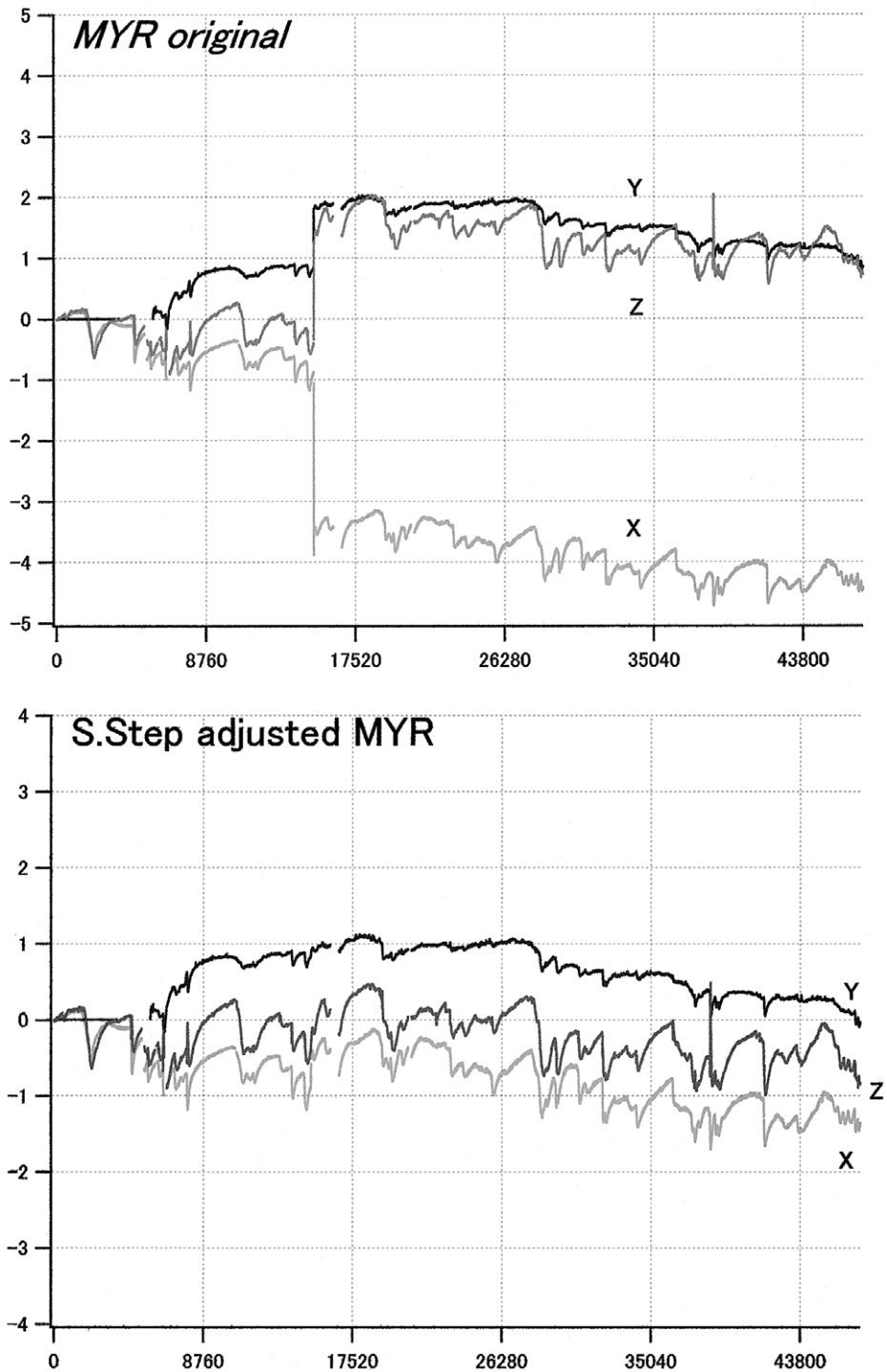


Fig. 2(c). Data for the period from Jan. 1, 2002 to May 31, 2007.

Upper figure is original one and lower figure is corrected data by strain step of 2003 Tokachi-Oki earthquake at MYR(Hiroo) station.

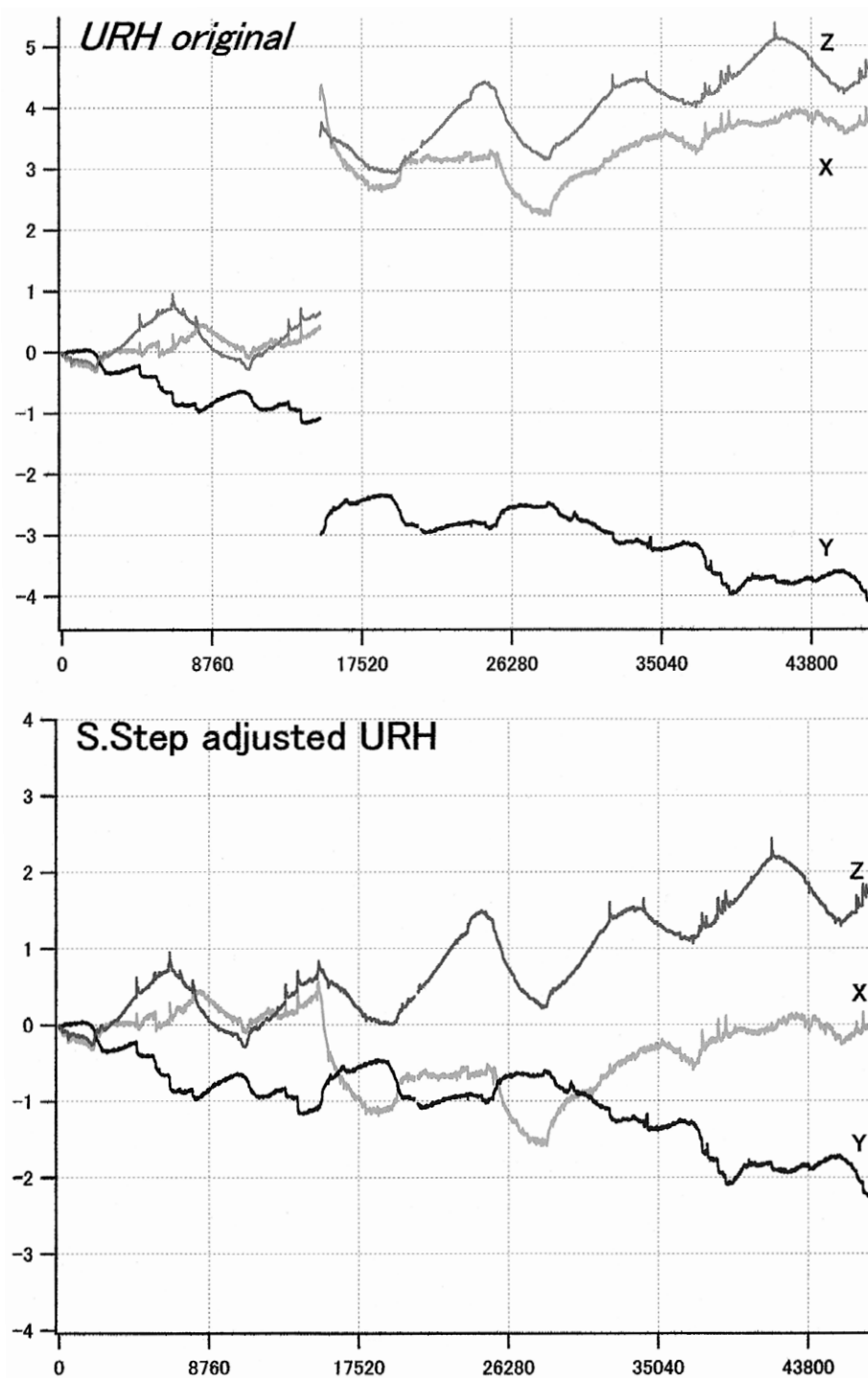


Fig. 2(d). Data for the period from Jan. 1, 2002 to May 31, 2007.
Upper figure is original one and lower figure is corrected data by strain step of 2003 Tokachi-Oki earthquake at URH(Urahoro) station.

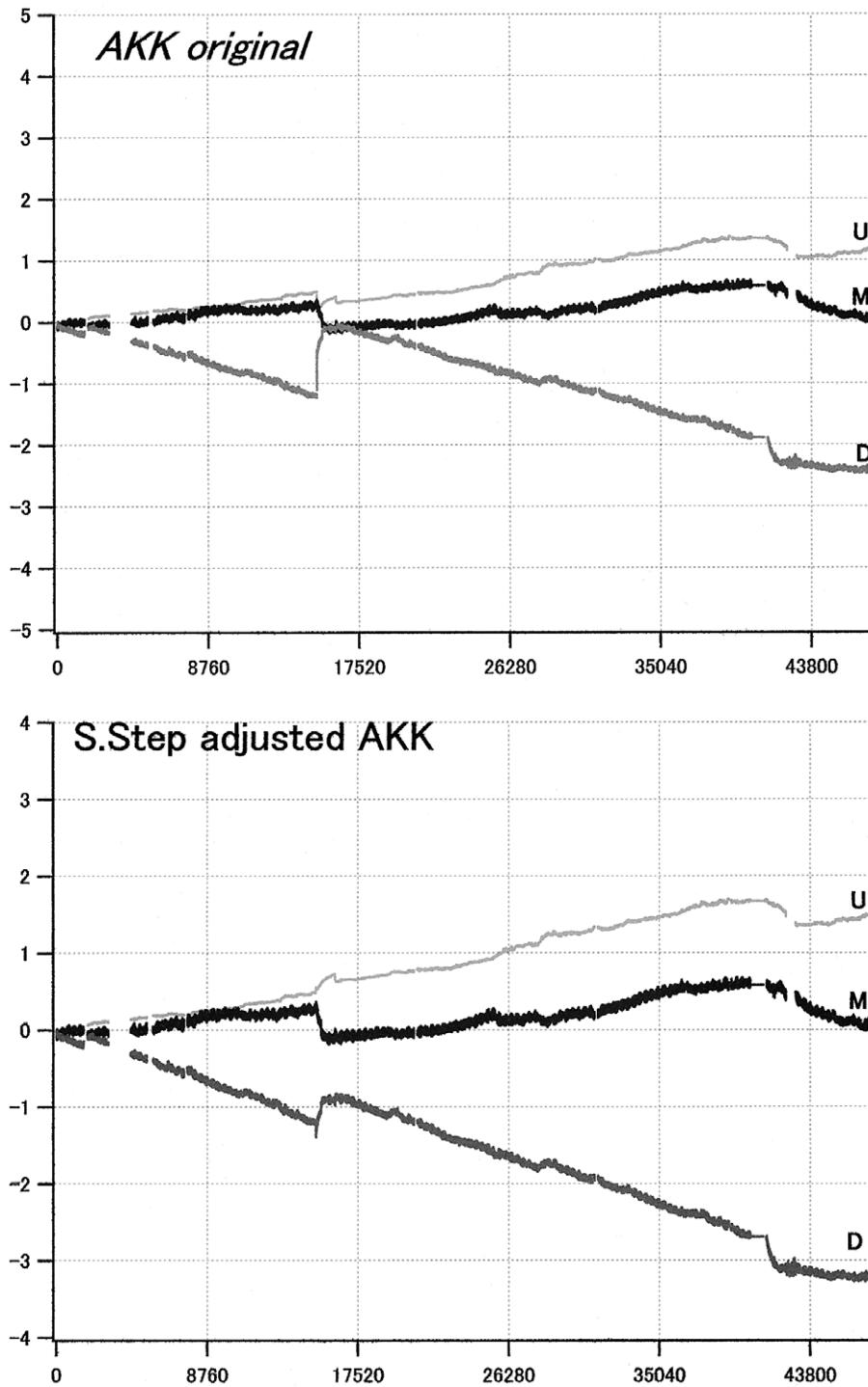


Fig. 2(e). Data for the period from Jan. 1, 2002 to May 31, 2007.

Upper figure is original one and lower figure is corrected data by strain step of 2003 Tokachi-Oki earthquake at AKK(Akkeshi) station.

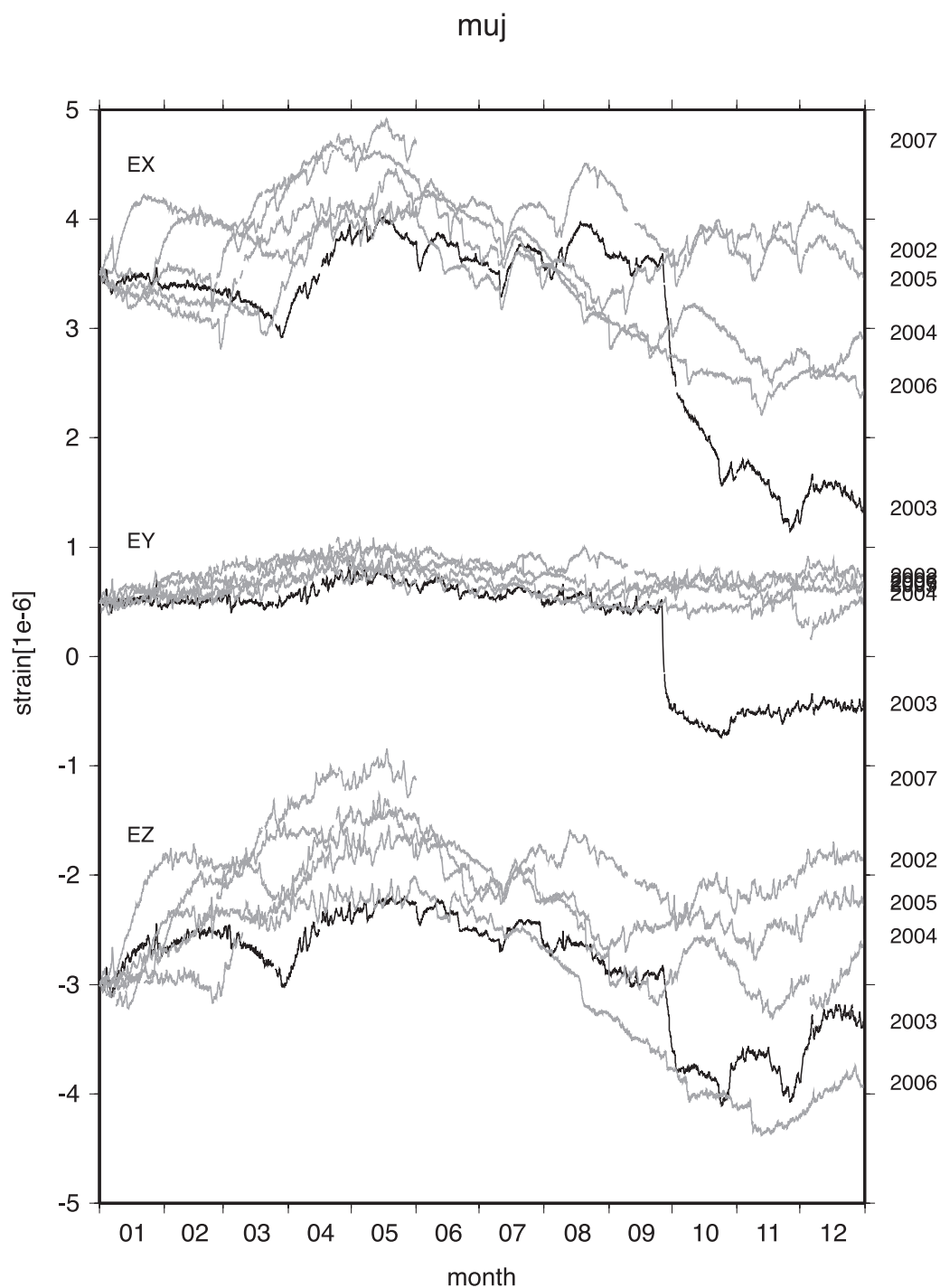


Fig. 3(a). Overlapped record with every 1 year for each components at MUJ (Mitsubishi) station.

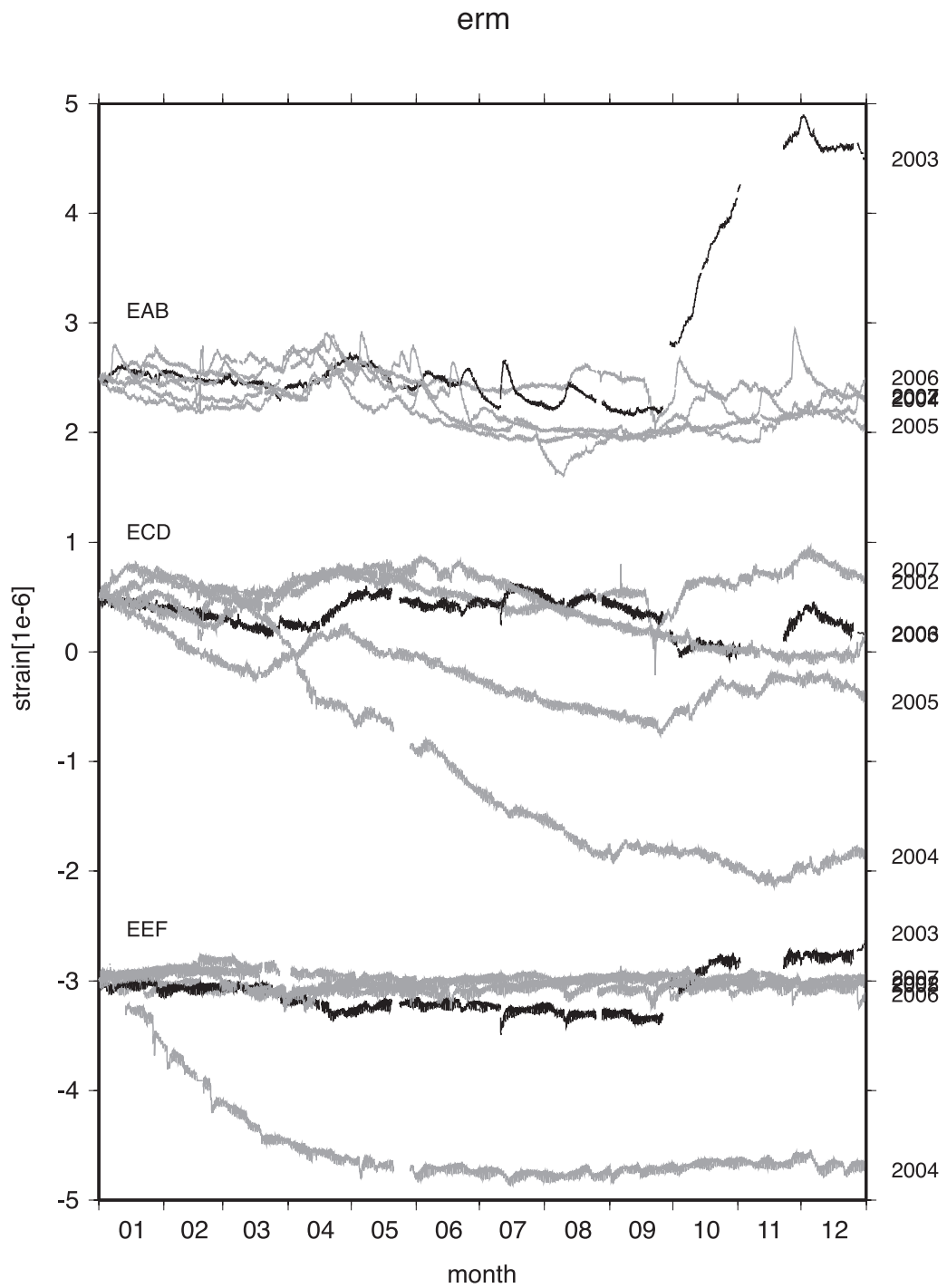


Fig. 3(b). Overlapped record with every 1 year for each components at ERM(Erimo) station.

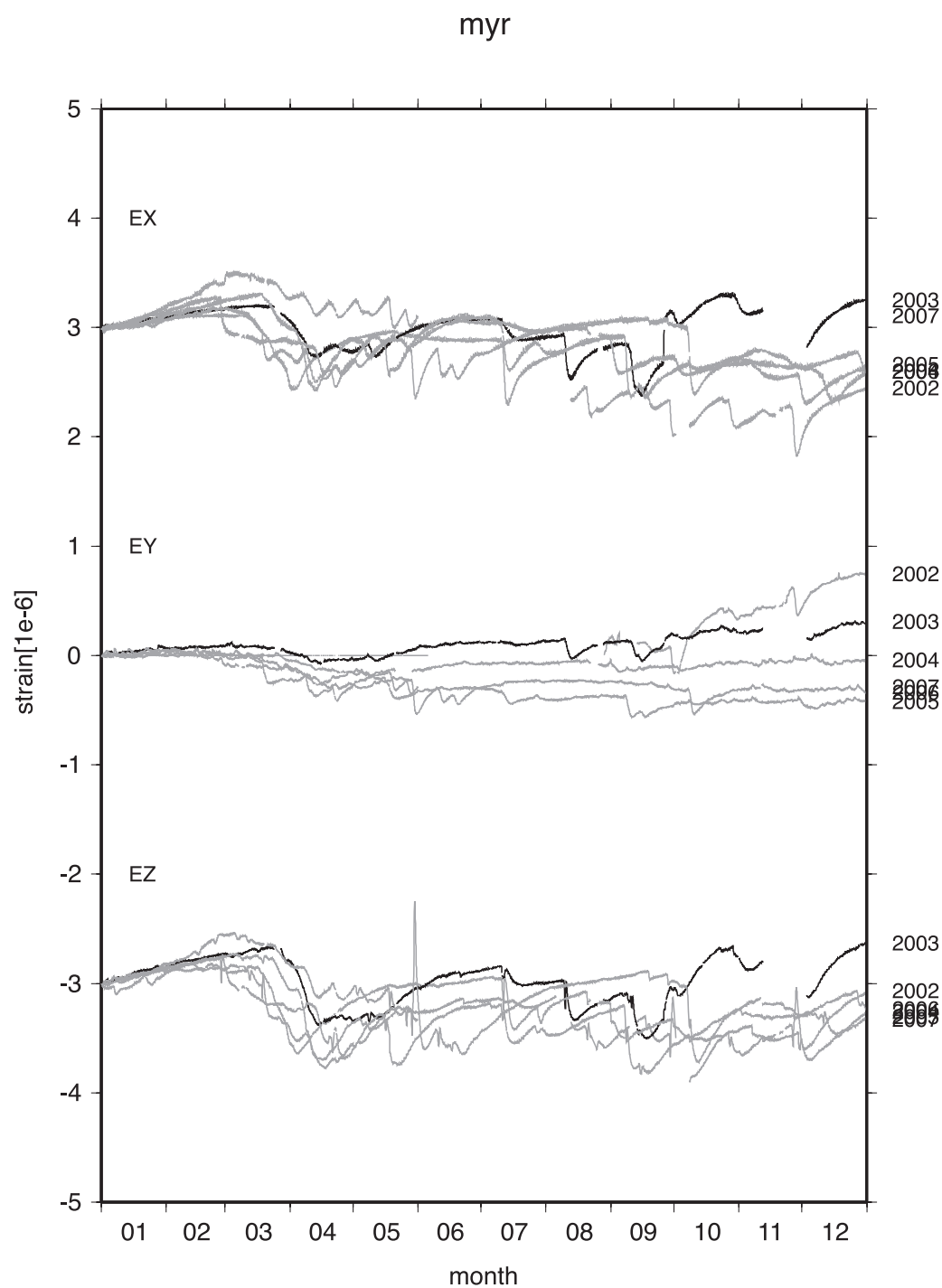


Fig. 3(c). Overlapped record with every 1 year for each components at MYR(Hiroo) station.

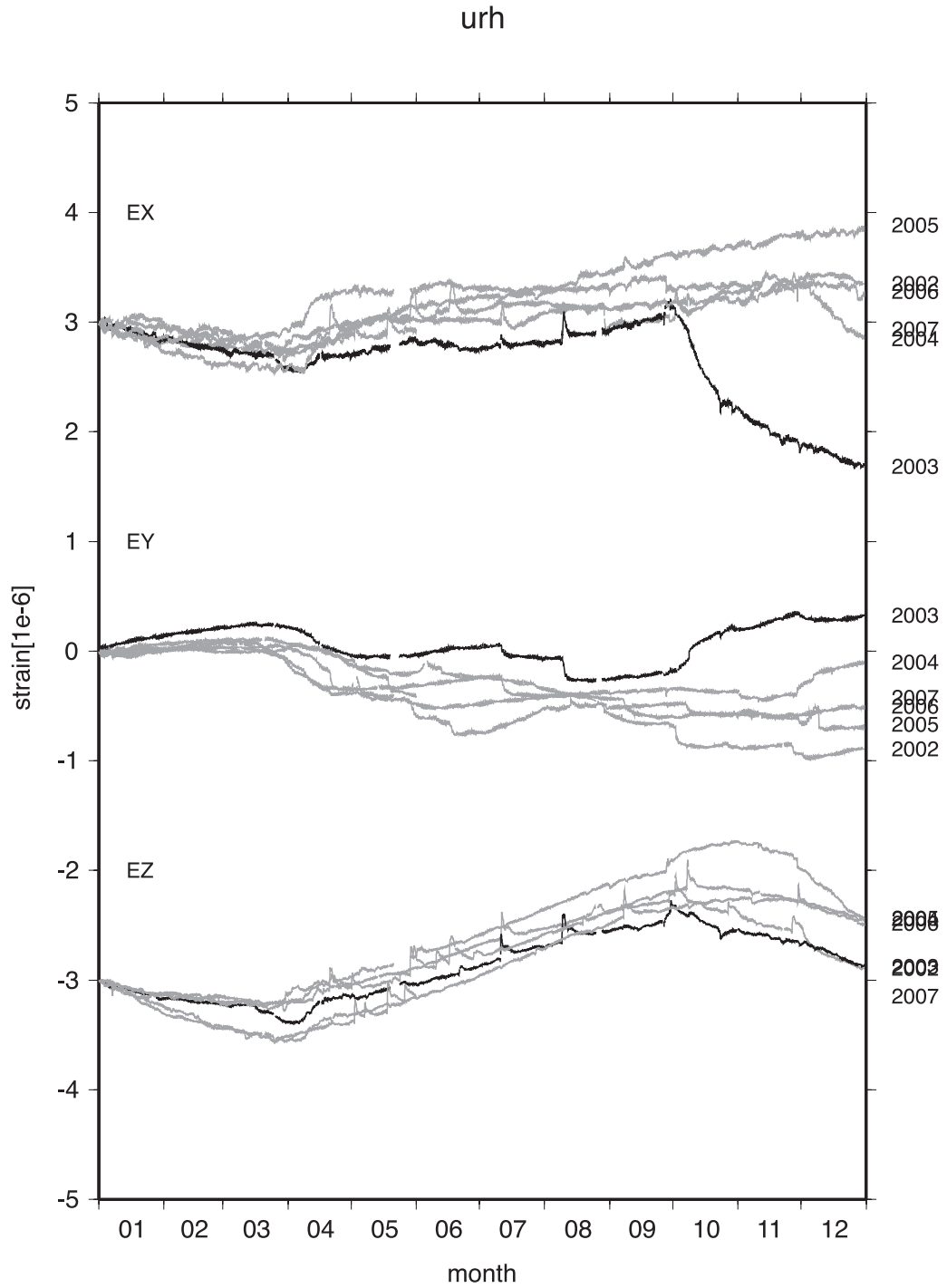


Fig. 3(d). Overlapped record with every 1 year for each components at URH(Urahoro) station.

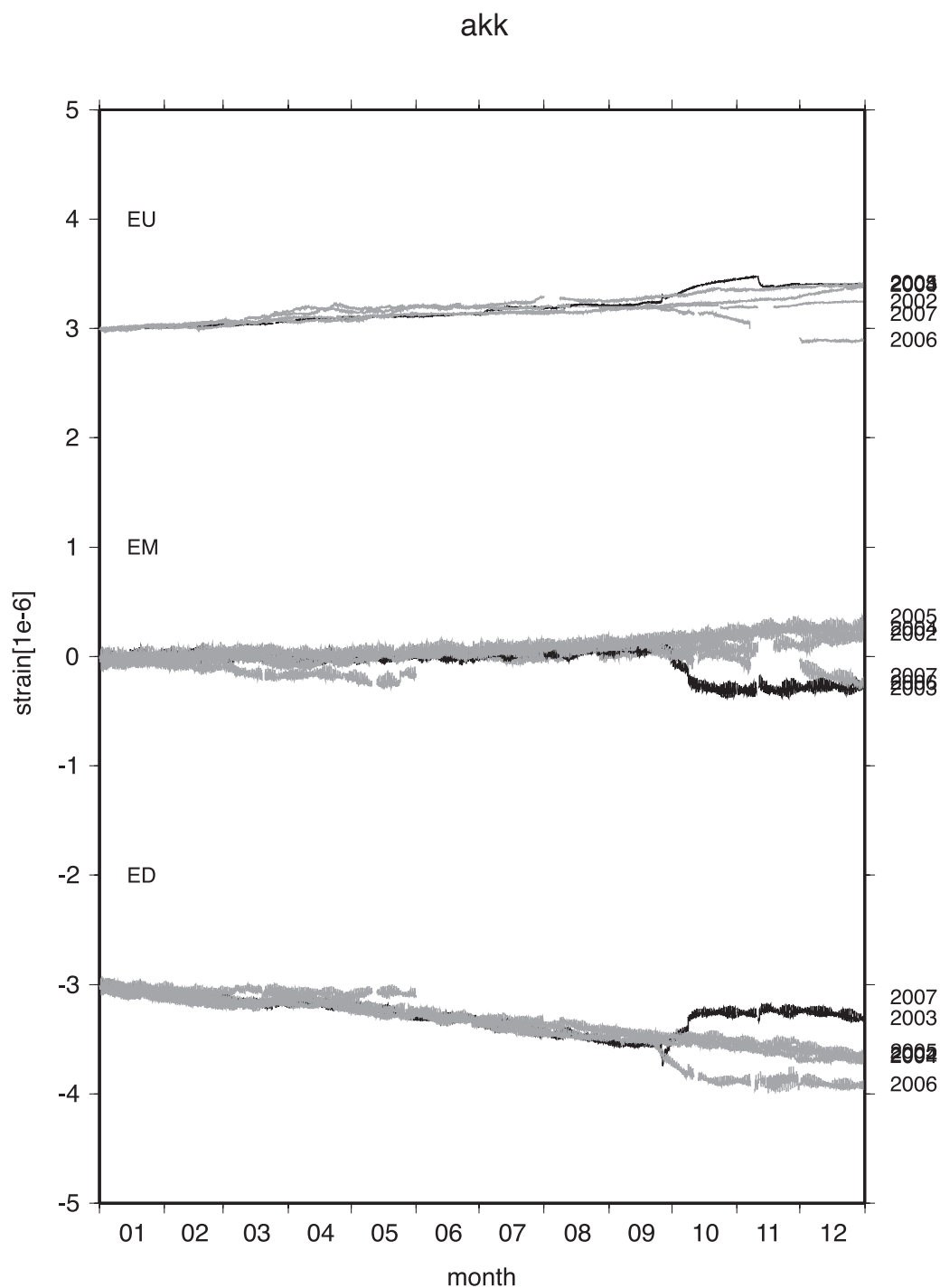


Fig. 3(e). Overlapped record with every 1 year for each components at AKK(Akkeshi) station.

間程度の余効変動が大きく見られるがその後の変動はあまり大きくないのが分かる。ただし、X成分は2004年までは継続しているように見える。

Fig. 2 (b) は、ERM（えりも）観測点である。この観測点は、中世代三畳紀の粘板岩に掘削された横坑で、被りは40m程度ある。そのために、降雨に関連する年周変動は $1 \sim 4 \times 10^{-7}$ 程度で収まっている。地震後の余効変動は、2004年2月までとそれ以降ではモードが変わっている。CD成分は明瞭に2005年まで変動が継続していることが分かる。

Fig. 2 (c) は、MYR（広尾）観測点である。この観測点は、えりも観測点同様、中世代三畳紀の粘板岩に掘削された横坑であるが、被りは10m程度である。そのために、降雨に関連する年周変動は $0.3 \sim 1 \times 10^{-6}$ 程度ある。地震直後の余効変動は、短期間は認められるが、えりも観測点のような長期変動は見られない。

Fig. 2 (d) は、URH（浦幌）観測点である。この観測点は、中世代白亜紀のシルト岩・砂岩の互層に掘削された横坑で、被りは10m程度である。降雨に関連する年周変動は $0.5 \sim 1.5 \times 10^{-6}$ 程度ある。地震後の余効変動は2004年初めまで認められる。同様の変化が、X-, Y-成分に2004年11月29日の釧路沖地震の後にも見られる。

Fig. 2 (e) AKK（厚岸）観測点である。この観測点は、中世代白亜紀の砂岩に掘削された縦坑で、深さは350mである。十分に深いために、降雨に関連する変動はほとんど見られない。しかしながら、各成分に $0.3 \sim 0.8 \times 10^{-6}$ /年の単調な永年変動が観測されている。これは定常変動としては1桁ほど大きいものであるが、ボーリング後の局所的な変動の可能性がある。地震後の余効変動は、1ヶ月認められるが、それ以上の長期的な変化はない。

さらに、各観測点の余効変動について見やすくするために、Fig. 3に、1年間の変化を、1月1日を0として各点各成分毎に、各年を重ねたものを示す。Fig. 3の(a)～(e)は、Fig. 2同様、各観測点に対応している。2003年の変化を濃い実線で示してある。2002年の変化が、地震前の年変化であり、2003年十勝沖地震後の直後の大きな変動と、その後の各年の変化について見て行けば、成分毎の余効変動が検討しやすい形になっている。

IV. 2003年十勝沖地震の直前・直後の歪変化

2003年十勝沖地震の直前・直後の変化を見るために、2003年9月25日から28日まで（4日間）の1分値のデータを、Fig. 4 (a)～(e)に示す。横軸時間軸は、9月25日00時00分よりの分数であり、1目盛りが1日に相当している。縦軸の単位は 10^{-6} ストレインである。これらの記録からは、本震時のストレイン・ステップは補正していない。Fig. 4 (a) は、MUJ（三石）の記録、Fig. 4 (b) はERM（えりも）の記録である。ERMの記録は、地震直後の停電により地震を含むデータは、残念ながら記録されなかった。MUJの本震の後のステップ状の変化は、最大余震（Mw7.1）による変化である。Fig. 4 (c) は、MYR（広尾）の記録、Fig. 4 (d) はURH（浦幌）の記録である。MYRのデータの欠落と、URHの地震を含む以降の部分は、えりも同様、停電による欠測である。Fig. 4 (e) は、AKK（厚岸）の記録である。地震後の短周

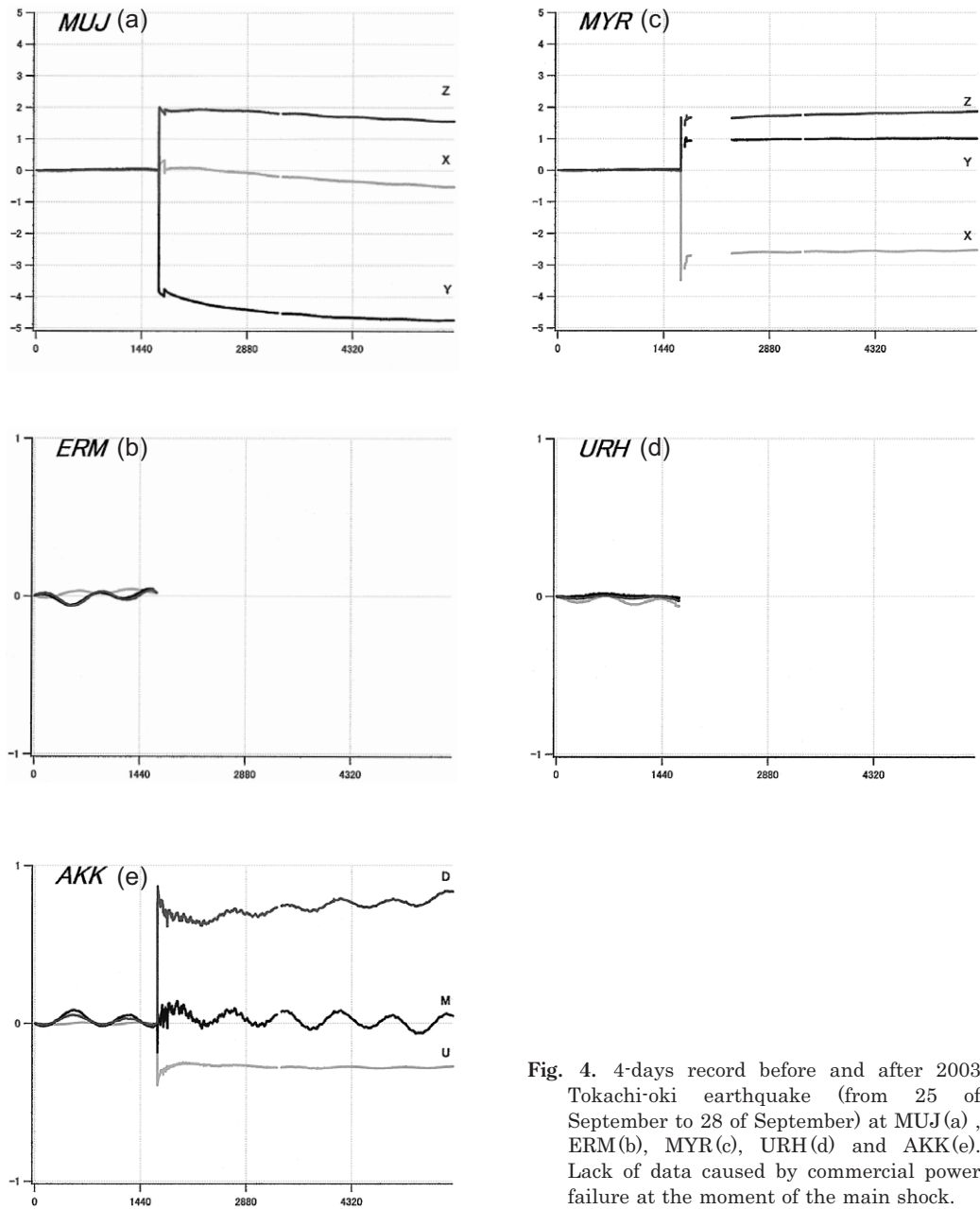


Fig. 4. 4-days record before and after 2003 Tokachi-oki earthquake (from 25 of September to 28 of September) at MUJ(a), ERM(b), MYR(c), URH(d) and AKK(e). Lack of data caused by commercial power failure at the moment of the main shock.

期振動変動は、津波による伸縮変化である。いずれの観測点でも、観測検知能力以上の直前の変動は見られなかった。しかし、直後の余効変動については、MUJ, MYR, AKK において、地震直後に大きな変動が観測されていることが分かる。

V. 2003 年十勝沖地震の歪地震動記録

歪計は 1Hz でサンプリングされているので、地震時の変化をより詳細に見ることができる。Fig. 5 (a) に、MUJ (三石) の、1Hz データによる 9 月 26 日 05 時 48 分 00 秒から 15 分間の歪変化である。データの中断は、停電によるものである。Fig. 5 (b) は、05 時 50 分からの 2 分間の記録である。横軸の数字は、05 時 48 分からの秒数であり、1 目盛りが 1 分間に相当する。縦軸の単位は、 10^{-6} ストレインであり、1 目盛りは、 10×10^{-6} である。初動からゆっくりした大きな歪変化が進展しているが、これが断層の拡大に伴う震源域での歪変化に対応するものである。Fig. 5 (c), (d) は、MYR (広尾) の記録であり、縦軸・横軸は、Fig. 5 (a), (b) と同じである。05 時 53 分からのデータの欠けは、停電によるものである。MYR は、本震の破壊開始点からは 100km の距離にあるが、断層の端は、MYR 観測点の直下まで及んでいる (Honda et al., 2004)。どちらの観測点でも、最大振幅 ($\sim 3 \times 10^{-5}$) まで飽和せず、断層運動の全てを完全に記録している。Fig. 5 (e), (f) は、AKK (厚岸) の記録であり、横軸は、Fig. 5 (a), (b) と同じであるが、縦軸は、1 桁小さくなっている。これは、当時 10 倍のアンプを通しており、フルスケール $2 \sim 3 \times 10^{-6}$ になっていたためであり、このダイナミックレンジでは、最大振幅は飽和している。

MUJ, MYR 観測点では、本震の 1 時間 18 分後に発生した最大余震の歪地震動も記録している。両者の歪地震動の波形には大きな違いが見られる。Fig. 6 (a), (b) に、MUJ と MYR の各成分について、本震 (Mw8.0) と最大余震 (Mw7.1) の記録を、初動の時刻を合わせて示してある。オリジナル記録を細線で示し、長周期の変化を強調するために 5 秒間の移動平均値を太線で示してある。MYR の X 成分は、縦軸のフルスケールが 20×10^{-6} であるが、他は全て 15×10^{-6} である。両者の振幅の大きさの違いと歪成長時間の長さの違いを明瞭に見ることができる。

VI. おわりに

2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震 (Mw8.0) 前後の歪変化を、震源に近い太平洋岸に位置する 5 観測点 (MUJ, ERM, MYR, URH, AKK) について、1Hz サンプリング・18 ビット量子化による歪データを基にして、2002 年～2007 年までの長期変化、9 月 25 日から 28 日までの 4 日間の変化、そして本震の歪地震動記録を示した。直前の変動は検知能力 ($\sim 10^{-8}$ /日) を超える変動は観測されなかった。余効変動は、地震直後から 2 年間わたる変化まで記録している。Mw8.0 の歪地震動を近地 (破壊開始点から 100km) において、飽和することなく記録できたことは、世界で初めてである。歪変化は、断層の成長に対応しており、最大余震との比較からも、歪の時間変化をみることにより、その地震規模の推定がリアルタイムで可能であることを示していると言える。これは、津波予測には重要な情報になると言える。

付録 2003 年十勝沖地震の本震の記録は、稼動中の北海道の全ての観測点で記録している。

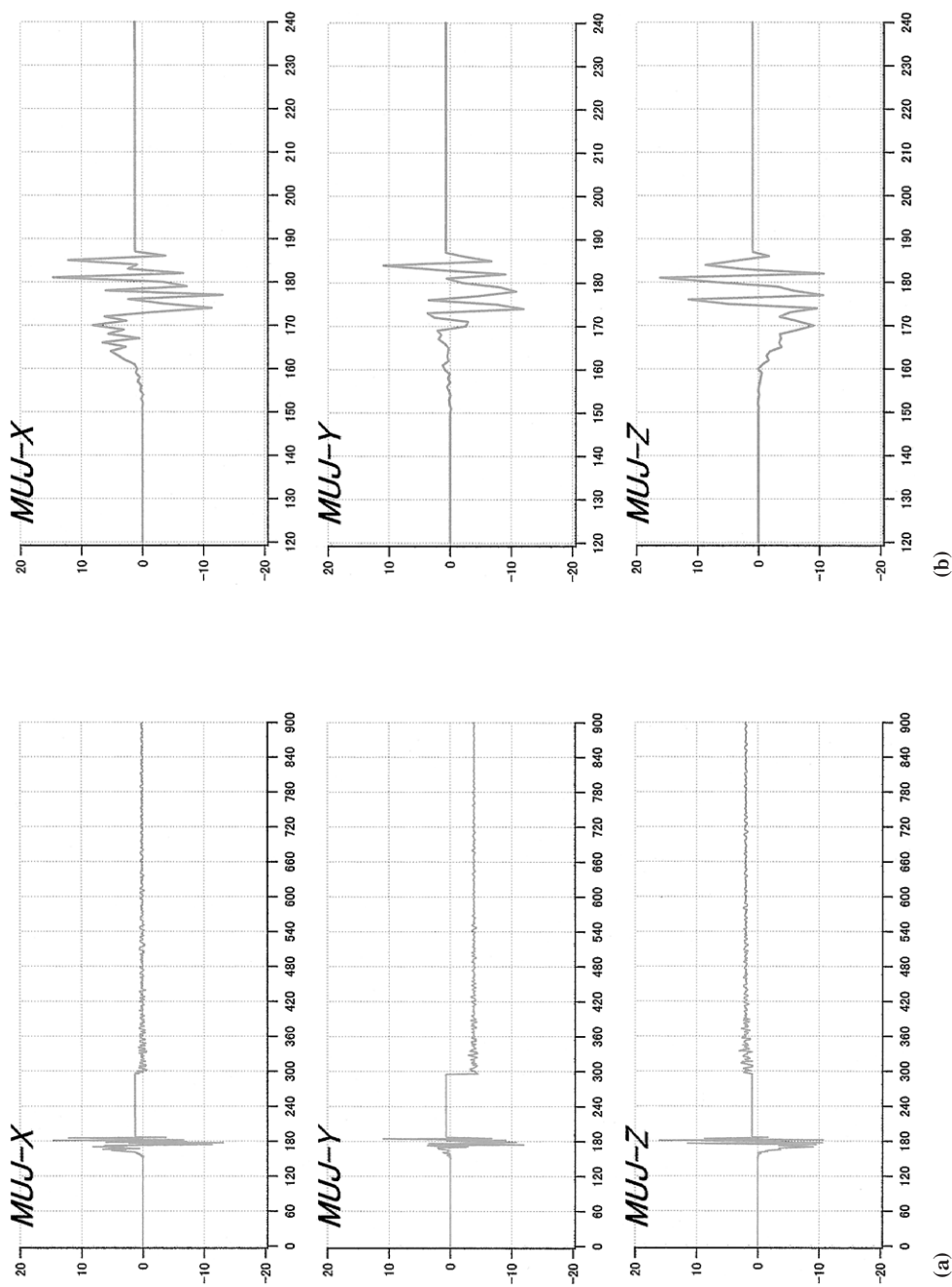


Fig. 5(a), (b). Strain seismograms recorded at MUJ (Mitsubishi) station of main shock for 15 minutes (left figure) and 2 minutes (right figure)

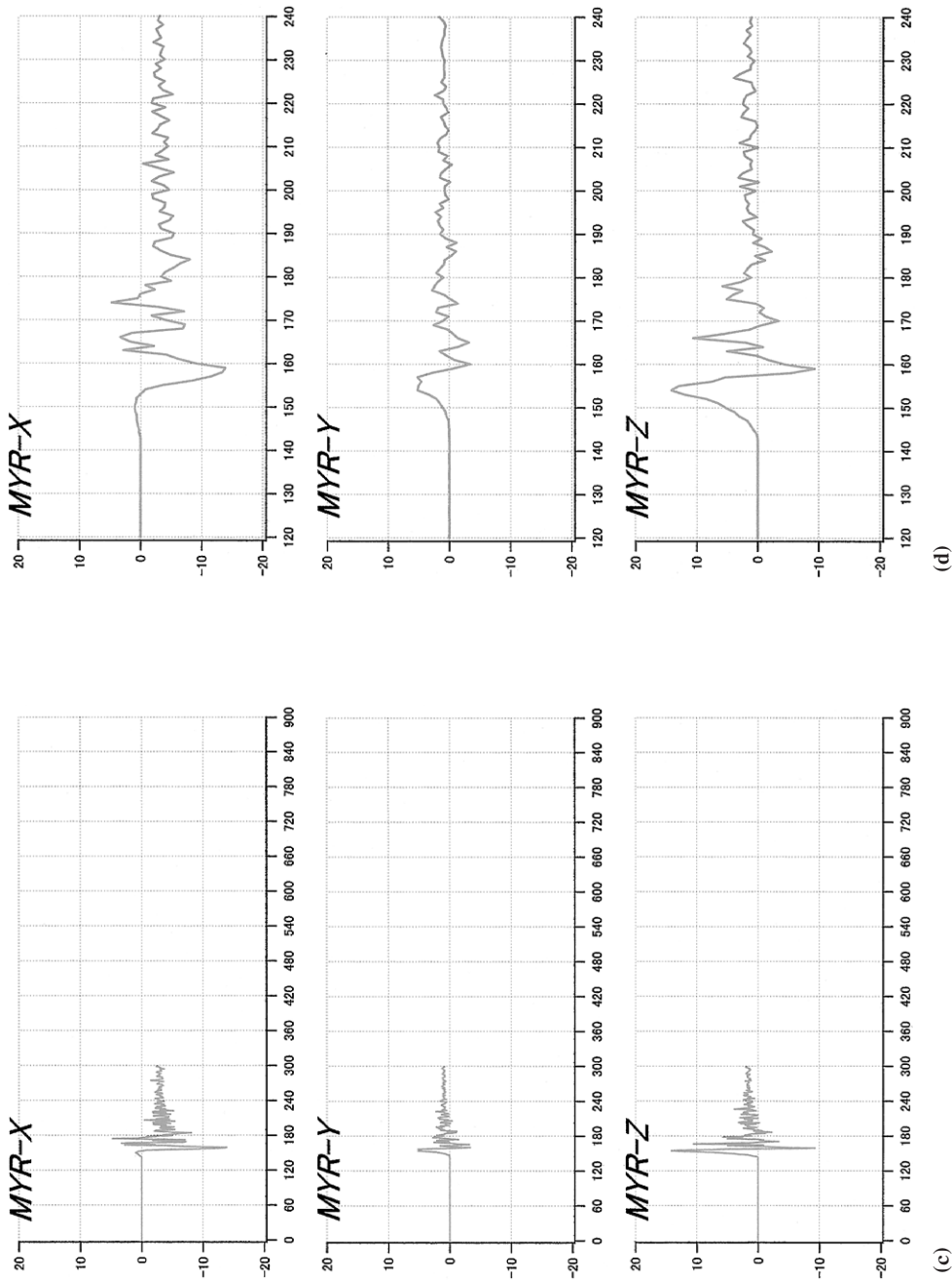


Fig. 5(c), (d). Strain seismograms recorded at MYR(Hiroyo) station of main shock for 15 minutes(left figure) and 2 minutes(right figure)

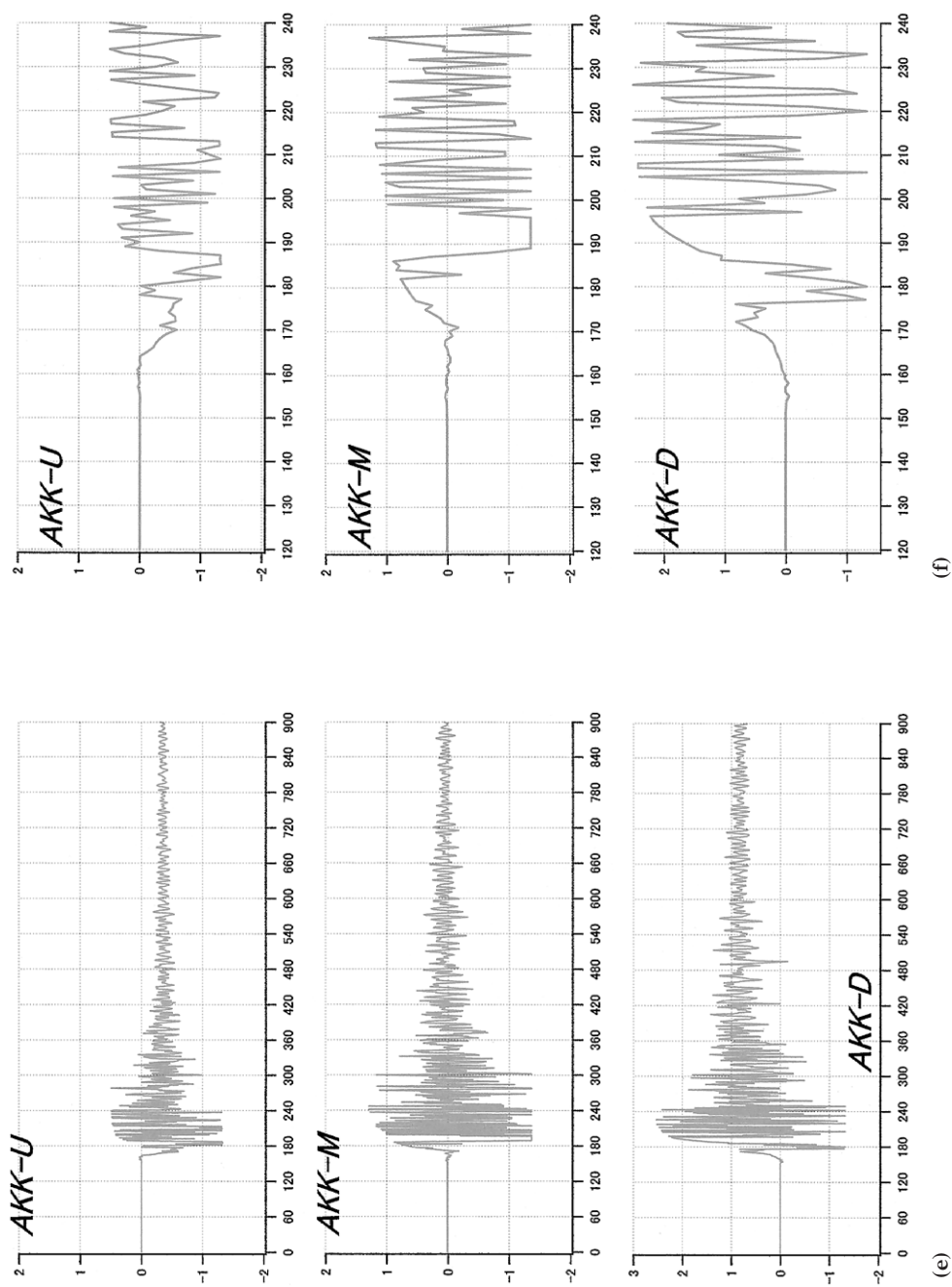


Fig. 5(e), (f). Strain seismograms recorded at AKK(Akkeshi) station of main shock for 15 minutes (left figure) and 2 minutes (right figure)

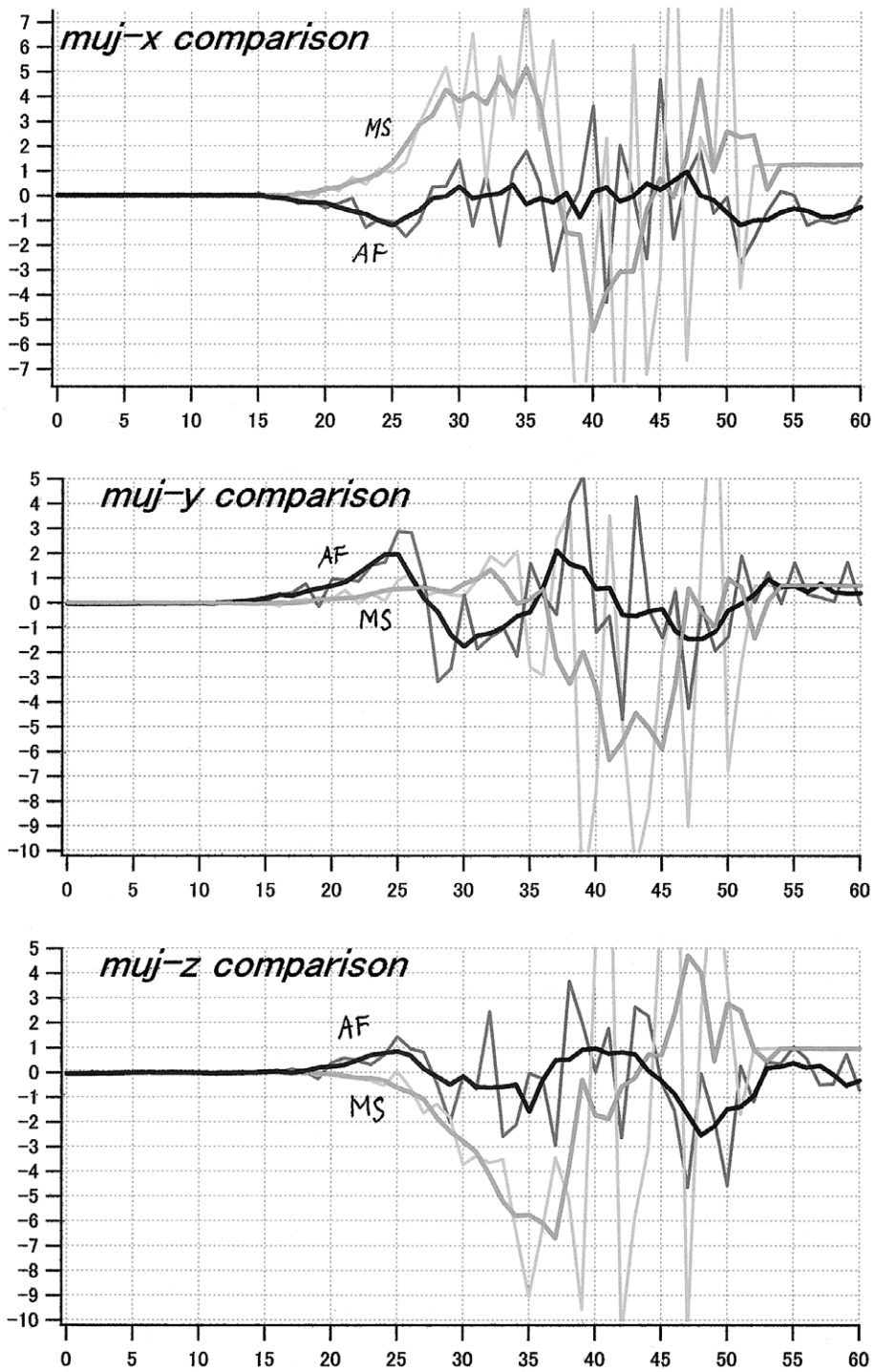


Fig. 6(a). Comparison of strain seismograms between the main shock (MS) and the largest aftershock (AF) for each component recorded at MUJ (Mitsubishi) station. Thin line is original record and bold line is 5-sec moving average.

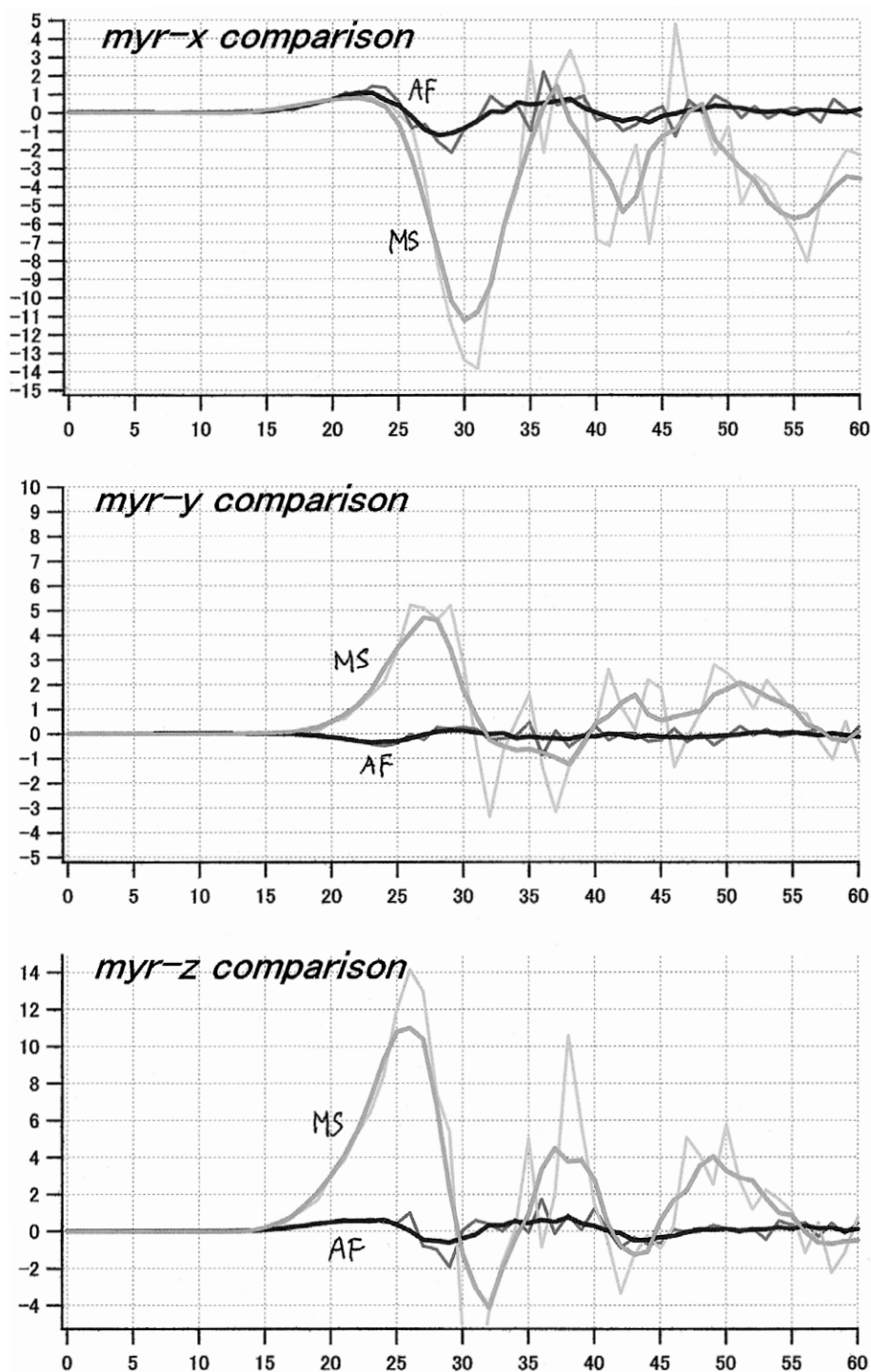
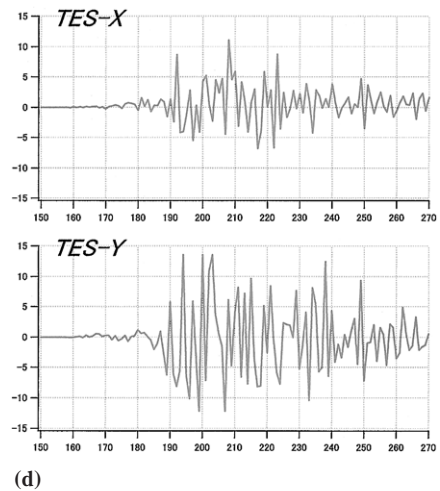
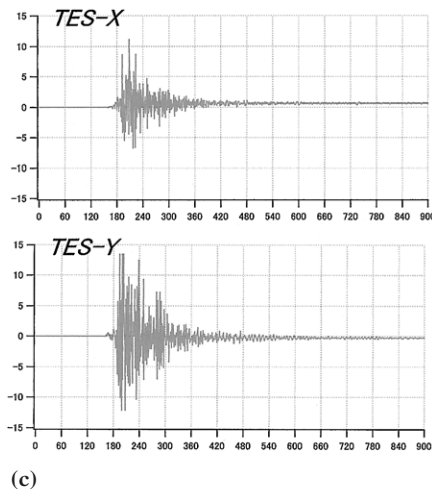
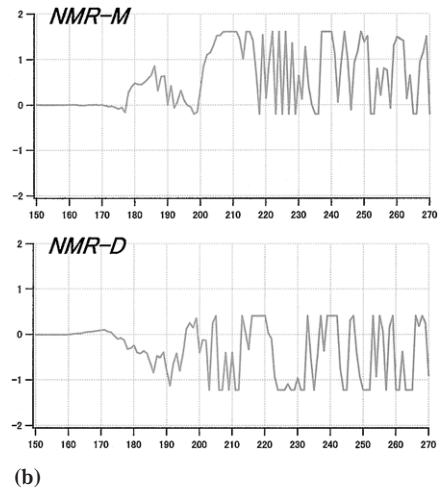
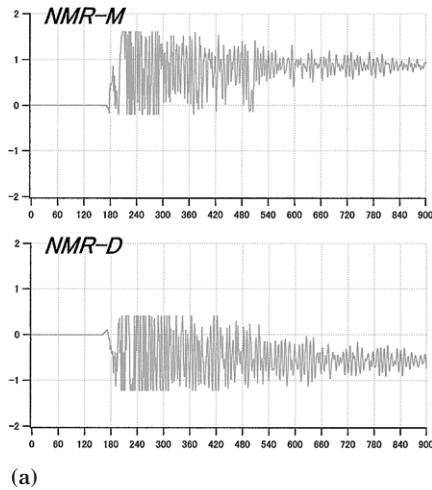


Fig. 6(b). Comparison of strain seismograms between the main shock (MS) and the largest aftershock (AF) for each component recorded at MYR (Hiroo) station. Thin line is original record and bold line is 5-sec moving average.

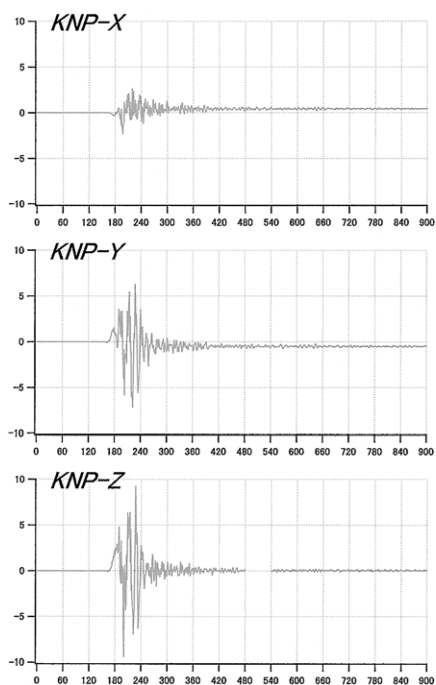
Fig. 5 同様のスケーリングで, Appendix に, 各観測点の成分毎の 15 分間と 2 分間の記録を示しておく. NMR (根室), TES (弟子屈), KKJ (上ノ国) は, それぞれ 1 成分はセンサーの故障により欠けている。

謝辞 1971 年のえりも地殻変動観測所設置以来, 同観測所並びに日高地域の観測点の保守に関しては, 田中安守・小河富夫両氏の尽力によること大であり, ここに記して感謝いたします. 1976 年のテレメータ化以降, データ収集に関しては, 北海道大学理学部付属地震予知観測地域センター (旧) の職員に多くの助力をいただいていた. 記して感謝いたします.

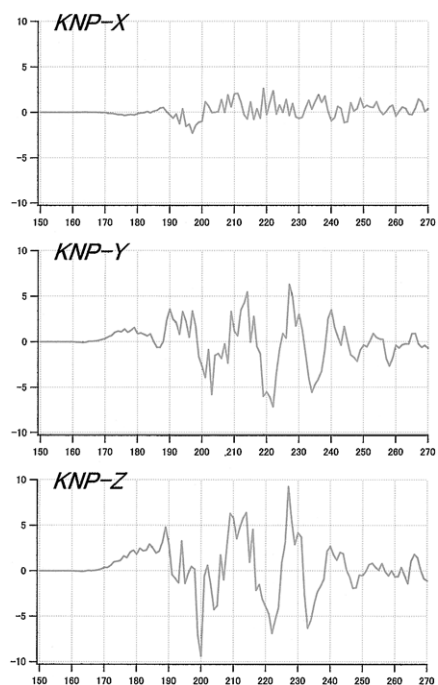
Appendix:



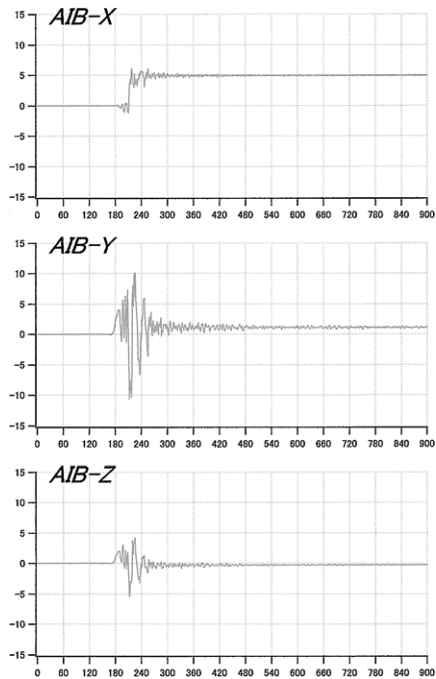
Af. 1. Strain seismogram of main shock for 15 minutes(left) and 2 minutes(right) recorded at NMR (upper) and TES(lower) stations. Unit in vertical coordinate is 10^{-6} strain.



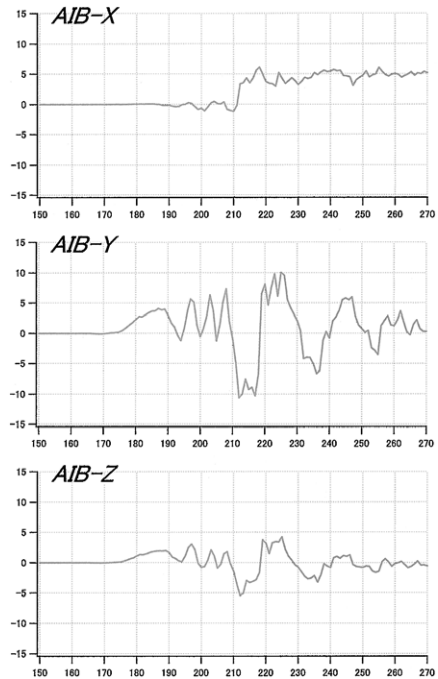
(a)



(b)

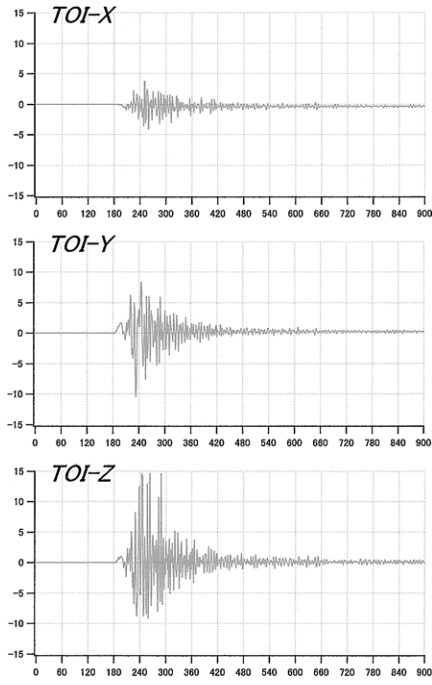


(c)

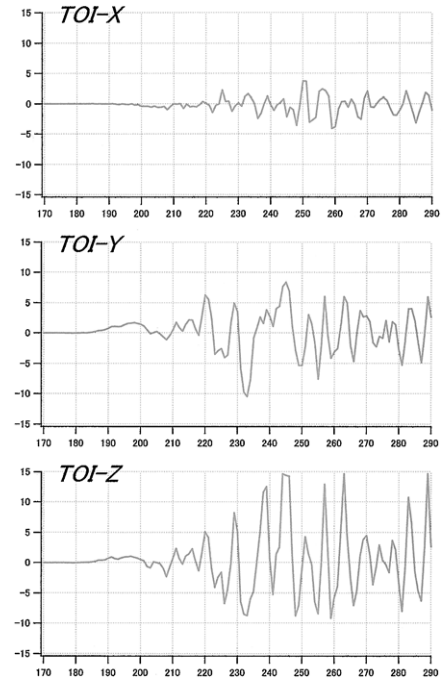


(d)

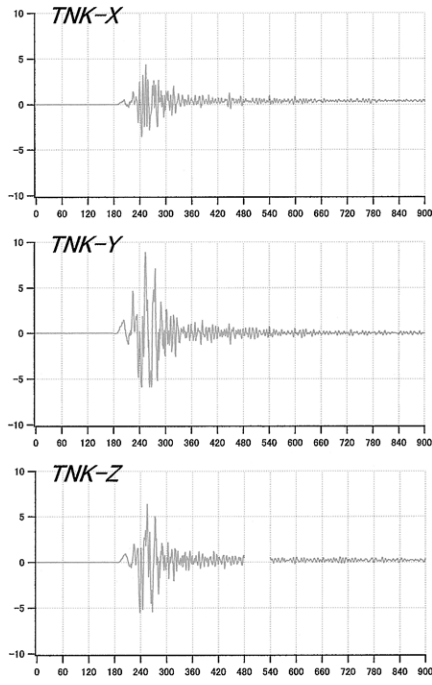
Af. 2. Strain seismogram of main shock for 15 minutes(left) and 2 minutes(right) recorded at KNP (upper) and AIB(lower) stations. Unit in vertical coordinate is 10^{-6} strain.



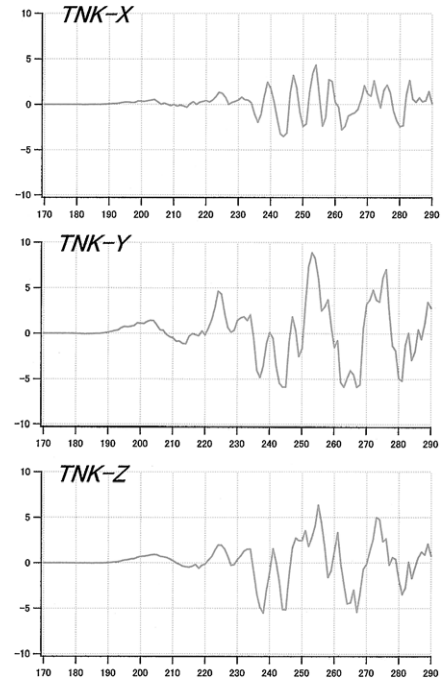
(a)



(b)

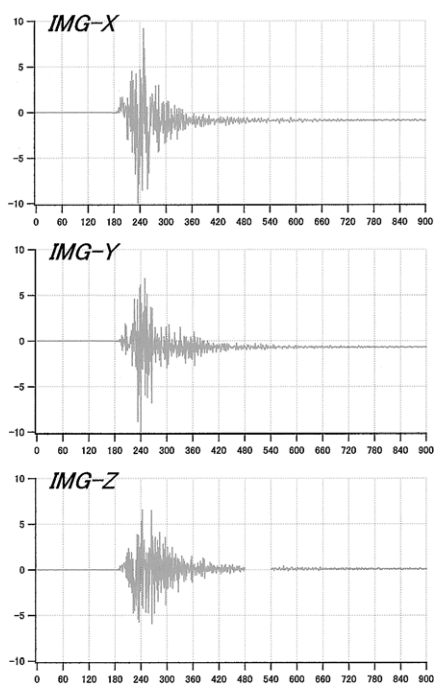


(c)

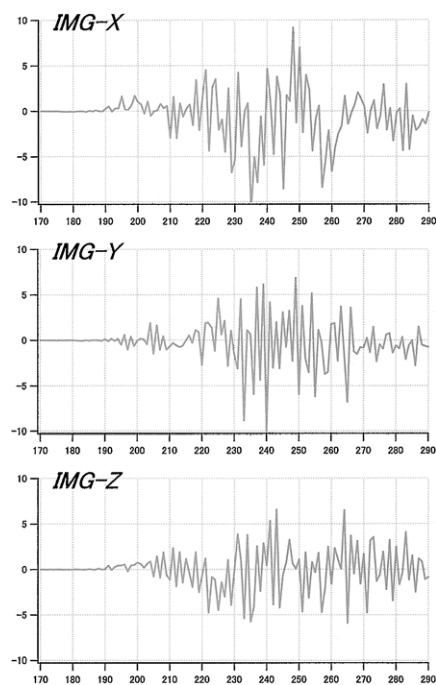


(d)

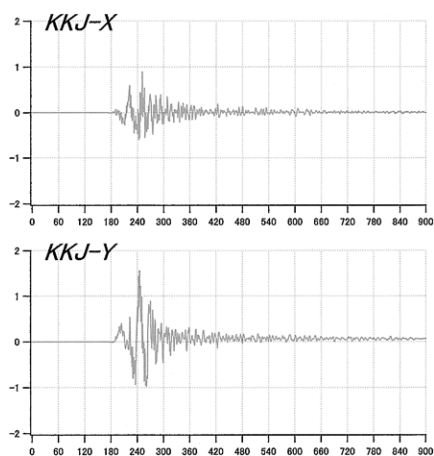
Af. 3. Strain seismogram of main shock for 15 minutes(left) and 2 minute(right) s recorded at TOI (upper) and TNK(lower) stations. Unit in vertical coordinate is 10^{-6} strain.



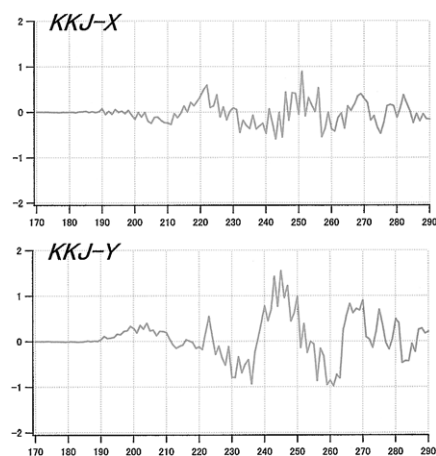
(a)



(b)

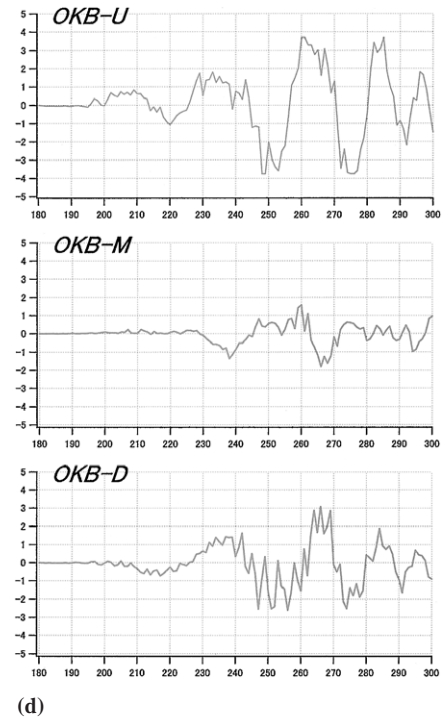
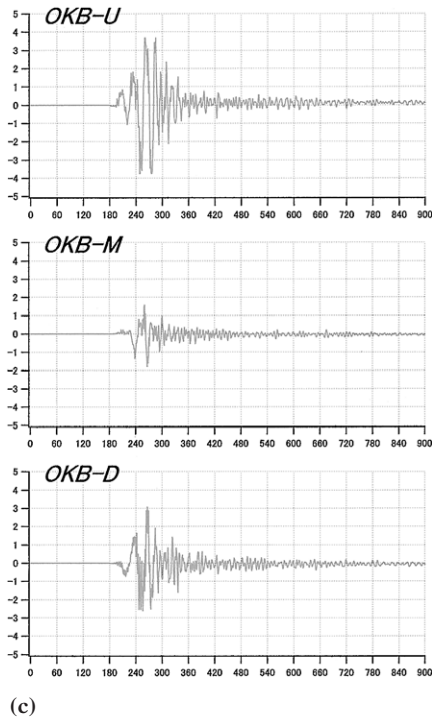
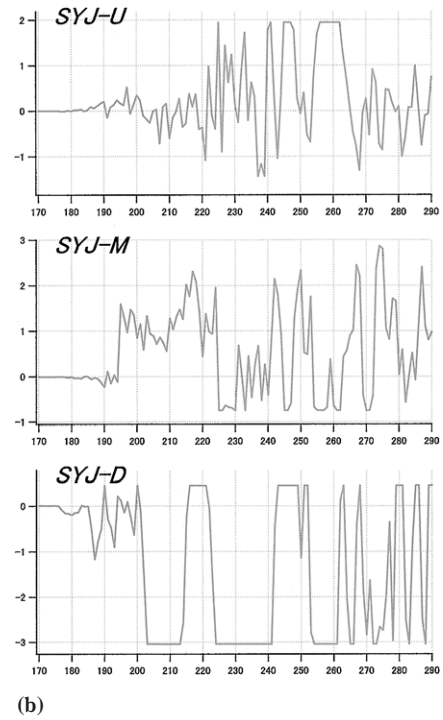
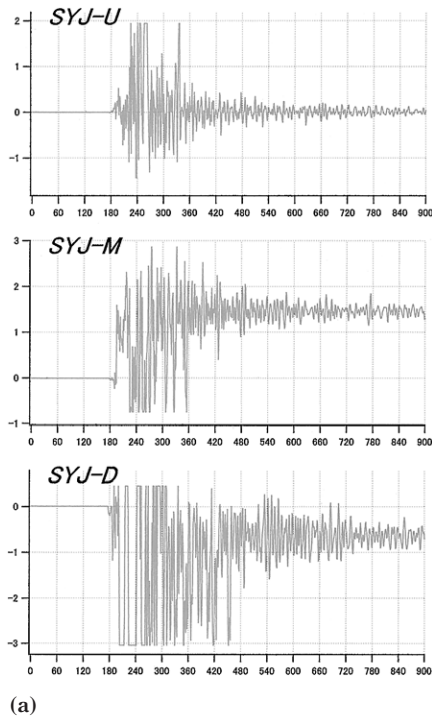


(c)



(d)

Af. 4. Strain seismogram of main shock for 15 minutes(left) and 2 minutes(right) recorded at IMG (upper) and KKJ(lower) stations. Unit in vertical coordinate is 10^{-6} strain.



Af. 5. Strain seismogram of main shock for 15 minutes(left) and 2 minutes(right) recorded at SYJ(upper) and OKB(lower) stations. Unit in vertical coordinate is 10^{-6} strain and stations.

文 献

- Honda, R., S. Aoi, N. Morikawa, H. Sekiguchi, T. Kunugi and H. Fujiwara, 2004. Ground motion and rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, *Earth Planets Space*, **56**, 317-322.
- Kasahara, M., 1976. Seismic and Geodetic Observation through the Digital PCM Telemetering System in Hokkaido, *Japan. Jour. Geod. Soc. Japan*, **22**, 292-294.
- Kasahara, M., 1983. Abnormal ground strain changes observed at Erimo before and after the 1973 Earthquake off the Nemuro peninsula, *Tectonophysics*, **97**, 231-239.
- Kasahara, M. and T. Sasatani, 1985. Source characteristics of the Kunashiri strait earthquake of December 6, 1978 as deduced from strain seismograms, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **37**, 124-134.
- Kasahara, M. and T. Sasatani, 1986. Body Wave Analyses of Strain Seismograms Observed at Erimo, Hokkaido, Japan, *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. VII(Geophysics)*, **8**, 83-108.
- 笠原稔・田中安守・横山泉, 1972. えりもにおける地殻変動連続観測－1971－, 北海道大学地球物理学研究報告, **28**, 83-96.
- 笠原稔・田中安守・横山泉, 1973. えりもにおける地殻変動連続観測－1972－, 北海道大学地球物理学研究報告, **30**, 89-102.
- 笠原稔・岡山宗夫・一柳昌義・高田真秀・山口照寛, 2007. 北海道大学における地殻変動連続観測, 測地学会誌, **53**, 349-357.
- Katsumata, K. and M. Kasahara, 1999. Precursory seismic quiescence before the 1994 Kurile Earthquake (Mw=8.3) revealed by three independent seismic catalogs, *Pure appl. Geophys.*, **155**, 443-470.
- 笹谷努・笠原稔, 1978. 近地地震の Strain Seismogram の解析, 地震Ⅱ, **31**, 11-23.