

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; 一柳, 昌義; 岡山, 宗夫
Citation	 北海道大学地球物理学研究報告, 71, 103-129
Issue Date	2008-03-15
DOI	10.14943/gbhu.71.103
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/32764
Туре	bulletin (article)
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,石英菅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 Hokkaidoand the directions of three components of strain-meter for each station, location, standard lengthof 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、サンプリングレート 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≒ 10⁻¹⁰ にセットされており、フルスケー ル 3~5x10⁻⁵ 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



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.

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.

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、1~2x10⁻⁶ 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 (Mitsu'ishi) 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.

myr



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 1~4x10⁻⁷ 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 0.3~1x10⁻⁶ 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 0.5~1.5x1 0⁻⁶ 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 0.3~0.8x10⁻⁶/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



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, 10x10⁻⁶ 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 (~3x 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 2~3 x10⁻⁶ 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20x10⁻⁶であるが、他は全て15x10⁻⁶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(~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,世界で始めてである. 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.

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.





119











Fig. 6(a). Comparison of strain seismograms between the main shock (MS) and the largest aftershock (AF) for each component recorded at MUJ (Mitsuishi) 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きた.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.



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.



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.



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.