HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	巨大近地地震による長周期体積歪波形の解析 ： 2006年及び2007年千島列島地震（Mw8.3及び8.1）と津波
Author(s)	上垣, 拓郎; 中西, 一郎; 露木, 貴裕 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 72, 373-377
Issue Date	2009-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.72.373
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/38166
Type	departmental bulletin paper
File Information	26_Nakanishi.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan.
No.72, March 2009, pp.373-377

巨大近地地震による長周期体積歪波形の解析：2006 年及び 2007 年千島列島地震（M_W8.3 及び 8.1）と津波

上垣　拓郎・中西　一郎
京都大学理学部地球物理学教室
露木　貴裕・原田　智史
気象庁地震火山部

(2009 年 1 月 16 日受理)

Analysis of long-period volumetric strain generated by great near earthquakes: 2006 and 2007 Kurile Islands earthquakes (M_W8.3 and 8.1) and tsunamis

Takuro KAMIGAKI, Ichiro NAKANISHI
Department of Geophysics, Kyoto University
Takahiro TSUYUKI and Satoshi HARADA
Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency

(Received January 16, 2009)

The Kurile Islands earthquakes of November 15, 2006 and January 13, 2007 are studied by using the volumetric strainmeter array in Tokai-Kanto area, Japan. The first-motion of long-period P waves recorded by the array shows good correlation with the first-arrival of tsunami waves observed on the Pacific side of Japan. The amplitude ratio of the long-period P waves (T > 50 s) between the two earthquakes explains the difference in moment magnitudes. The inconsistency between moment magnitudes and JMA magnitudes of the two earthquakes may have been caused by the difference of phases and period ranges used in the determination of the two magnitudes.

Ⅰ．はじめに

千島列島東方沖で 2006 年 11 月 15 日 20 時 14 分と 2007 年 1 月 13 日 13 時 23 分に M_W8 以上の地震が発生した．11 月の地震（M_W8.3（Harvard），M_{JMA}7.9）は逆断層型のプレート境界

地震で，津波の第一波は押し，最大津波 0.8m（三宅島坪田）が観測された．1 月の地震（M_W8.1 (Harvard)，M_{JMA}8.2）は正断層型のプレート内地震で，津波の第一波は引き，最大津波 0.4m (三宅島坪田）が観測された．

マグニチュードおよび発生した津波の高さの違いは気象庁および Harvard 大学がマグニチュードの決定に用いた地震波の位相または周期の違いに起因することが考えられる．本論では気象庁の稠密体積歪計観測網を用い，この問題の解明を試みた．

II．体積歪計観測網と地震

Fig. 1 に体積歪計 31 点から成る東海・南関東観測網（JMA）の範囲と両地震の Centroid 位置及び CMT 解を示す．この体積歪計観測網に記録された波形を解析した．体積歪計は周期無限大までフラットな周期特性を持ち，10^{-10}〜10^{-6}までの歪を測定することができる（二瓶・他，1987）．S/N 比が最も良く，島弧の 3 次元的不均質構造の影響が最も小さい長周期 P 波を記録できることは津波の高さを予測するために重要である．無限均質等方弾性体中では P 波による変位 u_r と体積歪 Δ_P の間には簡単な関係 $\Delta_P = r^{-1}u_r$ が成立する．従って体積歪計に記録される膨張（収縮）は変位計に記録される押し（引き）に対応し，体積歪も変位と同じ 4 象限型の放射パターンになる．このように体積歪計は変位計にもなるので，震源に関する情報も速度計よりも多い．

Fig. 1 の震源球面上には体積歪計に記録される P 波初動の位置も示した．節面から離れているため，11 月の地震，1 月の地震に対してそれぞれ明瞭な膨張（押し），収縮（引き）を示す P 波初動が体積歪計に記録されることが期待される．両地震は隣接しており，震源－観測点間の地下構造の違いの影響も無視でき，励起される地震波と津波の関係を調べるには条件の良い事例である．

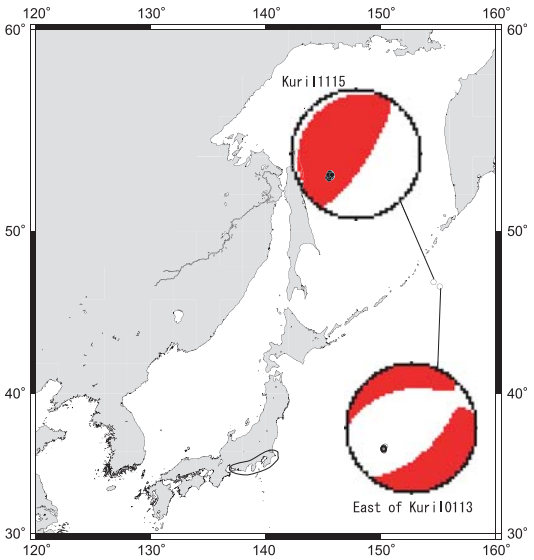

Fig. 1. Epicenters and CMT solutions of the Kurile Islands earthquakes of November 15, 2006 and January 13, 2007. The encircled area in central Japan shows the locations of 31 volumetric strainmeters.

III．観測波形と理論波形の比較

観測された長周期体積歪波形を解析するには理論体積歪波形の計算が必要になる．固有周期 45s 以上の poloidal modes の固有関数を重ね合わせて理論波形を計算した（Gilbert and

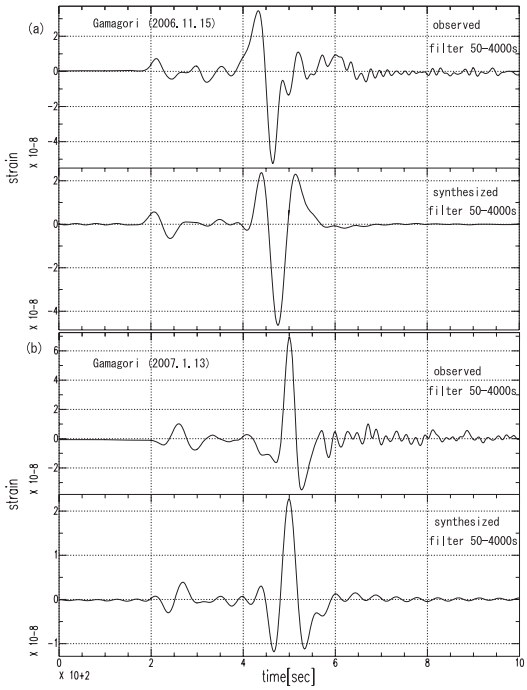

Fig. 2. Comparison of observed and synthesized volumetric strains for Gamagori station. The traces are band-pass filtered with a pass-band of 50-4000s. The origin of time axis is the centroid time of the Harvard CMT solution. (a) November 15, 2006. (b) January 13, 2007.

Dziewonski, 1975；上垣内，2005（私信））．震源としてはCMT解（Dziewonski and Woodhouse, 1983），地球モデルはPREM（Dziewonski and Anderson, 1981）を用いた．

体積歪計は気圧変化も記録している．気圧の影響を取り除くため観測波形に対して気圧補正をした．Fig. 2 に 11 月および 1 月の地震に対する気圧補正後の観測波形と理論波形の比較を示す．長周期での観測と理論の比較を行うために帯域 50-4000s のバンドパスフィルターを両波形にかけた．11 月の地震（Fig. 2（a））では観測波形に約 30s の位相遅れが見られるため，理論波形に対しても同じ量の遅れを施した．

CMT 解は Fig. 2（蒲郡）に見られるように観測波形全体の位相と振幅をほぼ説明できる．しかし，1 月の地震（Fig. 2（b））では，位相にもよるが，観測波形は理論波形に対して約 2〜3 倍の振幅を持つ．この違いは短周期側の遮断周期を長くすることにより減少し，300-4000s のバンドパスでは，以下（Table 1）で示すようにほぼなくなる．

IV．長周期 P 波初動と津波

P 波初動は短周期地震計を用いて検測されている．しかし，震源での破壊過程が低速になるに従い短周期 P 波初動は不明瞭になる．体積歪計は，Fig. 2 が示すように長周期においても明瞭な P 波初動を記録できる．これは津波予測に有利である．本論で扱っている地震の場合，P 波初動から最大振幅の波の到着まで約 5 分かかっている（Fig. 2）．

11 月の地震では長周期 P 波初動は 31 観測点中 25 点で Fig. 2（a）の蒲郡と同様に膨張（正）

になり，1 月の地震では 30 観測点（大島でバルブオープン）中 26 点で Fig. 2（b）と同様に圧縮（負）になった．両地震に対する P 波初動を Fig. 1 の震源球面上に示した．節面から十分離れており，50s 以上の長周期においても初動の極性が安定していることと調和的である．

Table 1. Statistics of amplitude ratios.

Ratio (Nov15/Jan13)	Number	Mean	S. D.
P wave strain (50-4000s)	22	1.9	0.52
Maximum strain (50-300s)	22	0.55	0.098
Maximum strain (300-4000s)	22	1.3	0.61

S.D.: Standard deviation

Ward（1982）は 1963 年 10 月 13 日の千島列島地震（M_W8.2）に対して震源モデルと津波波形の関係を調べた．その震源メカニズムは 11 月の地震に近い．彼の結果（Fig. 8）によれば 11 月の地震から日本列島の太平洋側に達する津波初動は押しになる．また 1 月の地震による津波は引きになる．これは 11 月および 1 月の地震によって発生した津波の観測と一致する．

Table 1 に 1 月の地震に対する 11 月の地震の振幅比（P 波と最大振幅）を示す．最大振幅に対しては 2 つの周期帯で比をとった．P 波初動の 11 月／1 月比は約 2 になり，M_W（Harvard）の差 0.2 と合う．最大振幅は 2 つの周期帯で異なり，長周期（300-4000s）では 11 月の地震が M_W で約 0.1 大きい．短周期（50-300s）では 1 月の地震の方が約 0.2 大きい．1 月の地震の M_{JMA}が大きくなった原因は，この地震がプレート内で発生し，11 月のプレート境界地震に比べて短周期成分に富んでいたことによると考えられる．

V. ま と め

体積歪計記録を用いて 2006 年 11 月及び 2007 年 1 月の千島列島地震を調べた．東海・南関東体積歪計観測網で記録された長周期 P 波初動と日本列島の太平洋側で記録された津波の押し引きの間には理論（Ward, 1982）から予想される対応が観測された．S/N 比が良く 3 次元不均質構造の影響が小さい長周期（T＞50s）P 波初動の振幅比（11 月／1 月）がM_W（Harvard）の差（11 月－1 月）と一致することを示した．両地震のM_W（Harvard）とM_{JMA}の違いは，プレート内で発生した 1 月の地震の震源スペクトルが短周期成分に富んでいたこと，M_W（Harvard）とM_{JMA}の決定に用いられる位相及び周期帯が異なることに起因した可能性が高い．

謝辞 高波鐵夫准教授が広帯域地震計記録の解析に関心と支援を示されたことに感謝致します．小山順二教授から本記念号への投稿の機会を頂きました．気象庁地震火山部地震予知情報課の中村浩二氏から体積歪計データの解析に関して助言を頂きました．気象庁地震火山部地震津波監視課の上垣内修氏が作成した PREM を用いた理論歪波形計算プログラムを使用させて頂きました．皆様方に感謝いたします．

文　献

Dziewonski, A. M. and D. L. Anderson, 1981. Preliminary reference earth model, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **25**, 297-356.

Dziewonski, A. M. and J. H. Woodhouse, 1983. An experiment in systematic study of global seismicity: Centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981, *J. Geophys. Res.*, **88**, 3247-3271.

Gilbert, F. and A. M. Dziewonski, 1975. An application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mechanisms from seismic spectra, *Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. A*, **278**, 187-269.

二瓶信一・上垣内修・佐藤馨，1987，埋込式体積歪計による観測（1）－1976 年～1986 年の観測経過－，験震時報，**50**，65-88.

Ward, S. N., 1982. Earthquake mechanisms and tsunami generation: The Kurile islands event of 13 October 1963, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **72**, 759-777.