

K-NET観測点の地震計方位測定(1) : 鹿児島県西部

竹中, 博士
九州大学理学部

渡邊, 篤志
九州大学理学部

藤原, 広行
科学技術庁防災科学技術研究所

藤井, 雄士郎
九州大学理学部

他

<https://doi.org/10.15017/4494281>

出版情報 : 九州大学理学部研究報告. 地球惑星科学. 20 (3), pp.89-97, 1999-12-27. 九州大学理学部
バージョン :
権利関係 :

K-NET観測点の地震計方位測定(1): 鹿児島県西部

竹中博士・渡邊篤志・藤原広行*・藤井雄士郎・永野 一

Seismograph orientation at K-NET observatories (1): Western Kagoshima region

Hiroschi TAKENAKA, Atsushi WATANABE, Hiroyuki FUJIWARA*, Yushiro FUJII and Hajime NAGANO

Abstract

Orientation of seismometers at 12 observatories of the K-NET in western Kagoshima region (KGS001 ~ KGS012) was measured in this study. We found that stations KGS006 and KGS009 have rather large misorientation greater than 15° .

We quickly check the effects of such instrument misorientation on waveform using the records of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes.

I. はじめに

K-NET (強震ネットワーク) は1995年兵庫県南部地震の後, 科学技術庁防災科学技術研究所が全国に約25kmの間隔で展開した1002点の強震観測点及び記録を収集・編集する強震観測センターを軸として強震記録をインターネットで発信するシステムである。各観測点には広ダイナミック・レンジの加速度型デジタル強震計 (K-NET95, 詳細は木下・他(1997)) が自由地盤上に設置されており, 最大2000cm/s²まで記録をとることが可能である (KINOSHITA, 1998)。このような均質かつ良質な強震動波形データが大量に得られるようになり, この利点を生かした様々な地震学・地震工学的研究や地域防災システムの開発が行われている。例えば東京大学地震研究所ではK-NETデータを用いて計算した計測震度をホームページ (<http://komoku.eri.u-tokyo.ac.jp/smotion/smotion.html>) で公開している (功刀, 1999)。また, 加藤 (1999) は, 九州南西部で1997年に発生した計36個の地殻内地震に対しK-NETの36観測点の記録を用いて九州南西部の平均的な地震波減衰特性 (周波数依存のQ値) を調べている。

防災機関が地震発生直後に初動体制を整える上で役立つ計測震度の計算には, 3成分記録のベクトル合成が用いられる (例えば, 気象庁, 1996) ため, 地震計の正確な方位情報は必要がない。これは, もちろん3

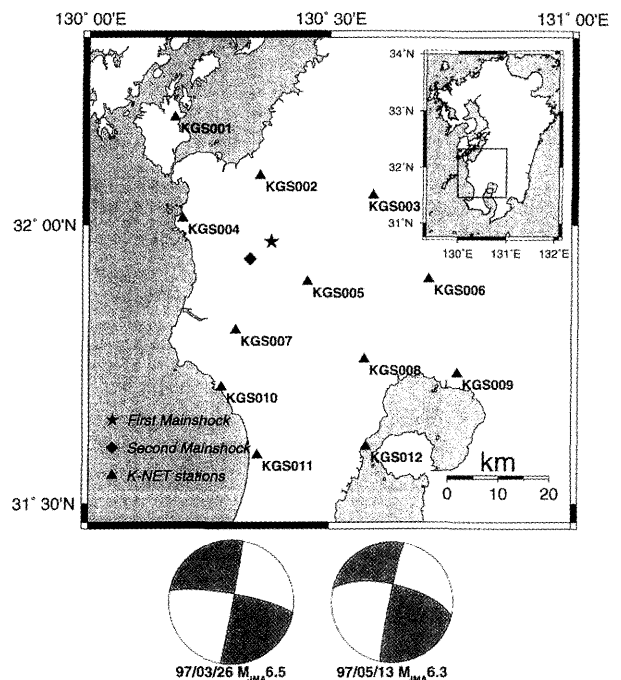


Fig. 1. Map showing locations of K-NET stations (solid triangles) in western Kagoshima region where instrument orientation was measured in this study. Solid star and rhombus indicate the epicenter of the first (26 March 1997, M_{max}6.5) and second mainshock (13 May 1997, M_{max}6.3) of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes, respectively, whose focal mechanisms (the best double couples of CMT solutions) estimated by JMA are displayed below the map. The locations of the epicenters were determined by the Shimabara Earthquake and Volcano Observatory, Kyushu Univ. The inset shows western Kagoshima region in relation to Kyushu Island, Japan.

平成11年9月3日受付, 平成11年10月29日受理

* 科学技術庁防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth and Disaster Prevention, Science and Technology Agency, Tsukuba 305-0006

成分のセンサーが互いに直交するように配置されることが条件である (K-NET95のように3成分が一体となっている地震計では、この条件はその仕様として必ず満足されいなければならない)。また、地震波の減衰特性を求める場合にも、特にTransverse成分のみとかRadial成分のみを用いた解析をする場合を除くと、通常上下動成分のみや水平動2成分のベクトル合成が用いられるので、特に地震計の正確な方位情報は必要がないことがほとんどである。しかし、研究分野によっては (例えば、震源過程やS波の偏光異方性等の研究) 地震計の正確な方位情報が不可欠なものがあり、均質かつ良質なK-NETデータをよりそれらの研究に活用するためには地震計の正確な方位を知る必要がある。そこで、我々はK-NET観測点に設置してある強震計の方位を正確に測定することを試みた。

今回測定したのは、鹿児島県西部地域の観測点KGS001~KSG012 (順に、東、出水、大口、阿久根、宮之城、横川、川内、蒲生、国分、串木野、日吉、鹿児島) の12点である。これらの観測点は、1997年3月26日と同年5月13日に起きた鹿児島県北西部地震 (それぞれ、気象庁マグニチュード (M_{JMA}) 6.5と6.3) の震源域に近く、これら本震とその余震の研究には今回測定したK-NET観測点の記録は非常に有効である。Fig. 1に今回方位を測定した観測点の位置と1997年鹿児島県北西部地震の本震の震央 (九州大学島原地震火山観測所決定) 及びその震源メカニズム (気象庁決定) を示す。震源メカニズムはcentroid moment tensor (CMT) から決められたものである (気象庁地震火山部地震津波監視課,1997)

II. 測定方法と測定結果

方位の測定には九州大学島原地震火山観測所所有の日本航空電子株式会社製「FOGコンパス・探北ユニットJM7711」を用いた。この測器はファイバ・オプティック・ジャイロ (FOG) を用いて、地球自転を利用することにより真方位を計測する装置である。センサーの方位測定精度は、電源投入から30分経過した場合には0.2° (rms) が保証されているが、10分程度の探北時間でも1°程度の精度を有している。また、地震計の方位矢印と方位測器の方位矢印が平行になるように測器を設置する際の誤差は、±1°程度と考えられる。今回の測定時間は10~15分程度とした。したがって、トータルの測定誤差は±2°以内と考えられる。地震波形の解析には十分な精度である。測定は1999年7月13日~15日に渡邊、永野、竹中、藤原が実施した。

Table 1に測定結果を示す。測器からの出力は少数第2位まで出力されるが、上記の誤差の程度を考慮して、少数第2位を四捨五入し、少数第1位まで示した。これを見るとKGS006 (横川) で約15°, KGS009 (国分) では約20°も地震計の方位が真北からずれているが、その他の観測点では真北からのずれは10°未満である。ずれが、今回の測定誤差の範囲内におさまっている観測点もある (大口、阿久根、川内)。±5°程度までの方位誤差であれば、研究テーマにもよるが、よほど近傍で起きた地震の波形を解析するのでない限り、ほとんど問題にならない。

Table 1. Measured instrument orientation

Station Code	Name	Measured Orientation
KGS001	Azuma	N355.7°
KGS002	Izumi	N350.6°
KGS003	Ohkuchi	N1.7°
KGS004	Akune	N360.0°
KGS005	Miyanojo	N354.7°
KGS006	Yokogawa	N345.3°
KGS007	Sendai	N359.8°
KGS008	Kamoh	N5.8°
KGS009	Kokubu	N19.9°
KGS010	Kushikino	N357.7°
KGS011	Hiyoshi	N6.4°
KGS012	Kagoshima	N354.6°

III. 議論

各観測点の測定方位の値を検討するために、1997年3月26日 (第1本震) と同年5月13日 (第2本震) の鹿児島県北西部地震における記録の直達P波の水平粒子軌跡と震央方向との関係を見る。Fig. 2は第1本震、

Fig. 3は第2本震について表示したものである。点線は、地震計の方位の補正を行う前のNS, EW成分を用いて描いた粒子軌跡(変位)であり、実線は地震計の方位の真北からのずれを補正した場合の粒子軌跡である。丸印が始点、三角印が終点である。矢印は、震央から各観測点の向き(Radial方向)を示している。変位のスケールは各図の右上に示している。このスケールの長さはちょうど矢印の長さに等しくとってある。これら粒子軌跡は、加速度記録水平2成分を木下(1986)の方法により2回積分して変位に変換し、直達P波パルスの始めの0.5秒間を用いて描いた。

Fig. 2とFig. 3を見ると、全体的には粒子軌跡の方向はほぼRadial方向に向いているものが多いが、Radial方向から若干(しかし有意に)ずれているものや全く異なる

方向を呈しているものもある。このようにP波初動付近の水平粒子軌跡がRadial方向からずれる(または全く異なる)主な原因としては、次の3つが考えられる。

- [1] 波線経路(パス)または観測点直下において速度構造が水平方向に不均質で、その程度が大きな場合
- [2] 観測点が地震の断層面の走行方向にある(P波の節面上に位置する)場合
- [3] 観測点が震央に非常に近い場合

[1]の場合には、波線が水平方向にも曲がってしまうために、波線に平行に振動するP波の水平粒子軌跡はRadial方向からずれてしまう。また、[2]の場合には、震源からその観測点の方向にはP波がほとんど励起されない。したがって、その観測点の水平動粒子軌跡は直達P波そのものよりも観測点直下で生じた変換波の

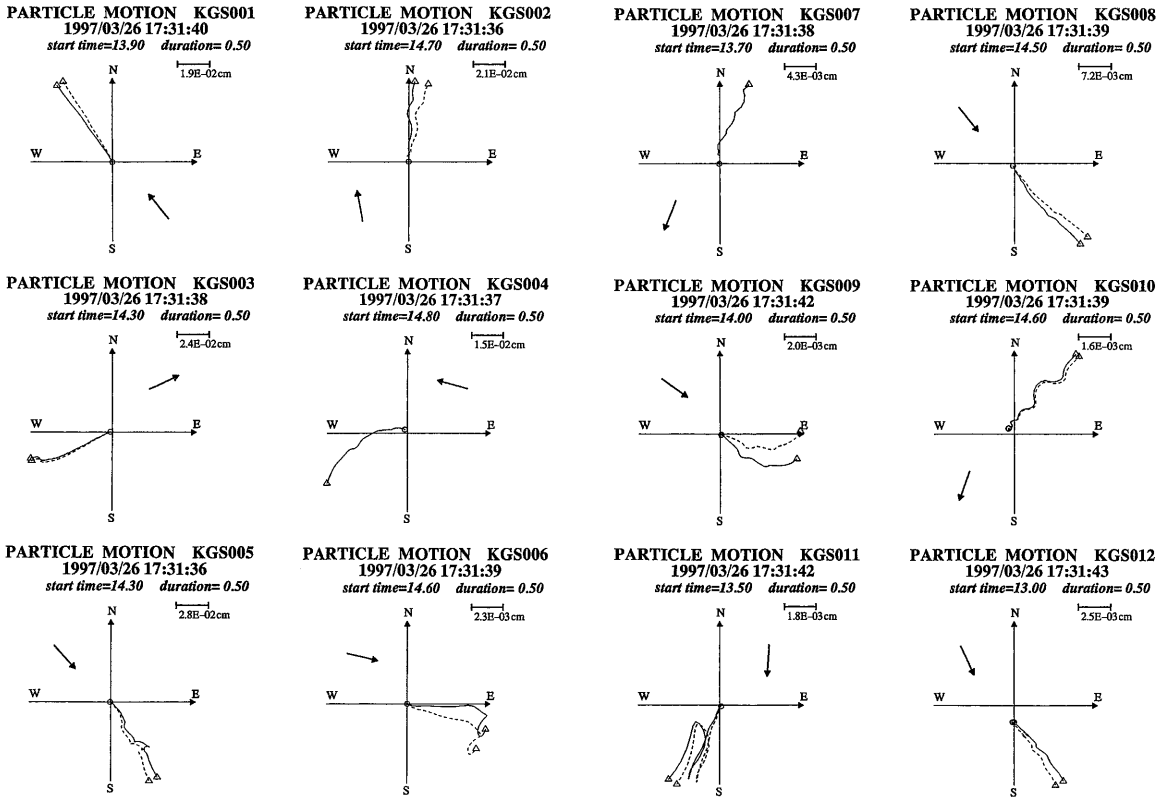


Fig. 2. Horizontal projection of P-wave particle motion made correction of instrument misorientation (solid curves) for the first main shock of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes, in comparison with that without correction (dotted curves). Duration of particle motion plotted in each figure is 0.5 s from the arrival time of P wave at each station. Arrow in each plot indicates the radial direction at each station, which points to the station from the epicenter. The scale for the displacement is indicated by the scale bar at the right corner of each plot. The length of the scale bars is the same as that of the arrows. Date and time shown at the head of each plate is the beginning time of the record file at each station, from which start time is the onset time of P wave measured.

寄与がほとんどである可能性が高い。また、このとき初動付近の振幅は小さいので、ノイズの影響を強く受けている可能性もある。最後の[3]の場合には、震源決定の誤差が震源から見た観測点の方位角（すなわちRadial方向）の推定値に及ぼす影響が非常に大きいためである。観測点が震央に近いほど、推定されたRadial方向（角度）の誤差は大きくなる。以上の原因は単独の場合も複数同時に考えられる場合もある。

以下、観測点毎にその粒子軌跡について考察をまとめる。

KGS001（東）：第1本震，第2本震ともに直達P波の水平粒子軌跡はRadial方向と一致している。また，地震計の真北からのずれを補正した方が補正しない場合よりもRadial方向との一致度が良い。

KGS002（出水）：第1本震，第2本震ともに水平粒子

軌跡はRadial方向から若干ずれている。ずれの度合は，第2本震の方が第1本震よりも大きい。また，地震計の方位補正をした方が補正しない場合よりもRadial方向に近づくが，Radial方向からのずれの量は十分有意である。このずれの原因として，第1本震については上記の[1]，第2本震については[2]と[1]が考えられる。[3]も可能性としては有り得るかもしれないが，震央距離がほとんど変わらないKGS005の第1本震の水平粒子軌跡について見ると軌跡はRadial方向と一致しているので，[3]は考えにくい。

KGS003（大口）：第1本震，第2本震ともに水平粒子軌跡はRadial方向と一致している。

KGS004（阿久根）：第1本震の水平粒子軌跡はRadial方向から大きくずれているが，第2本震は両者一致している。第1本震でずれている原因は上記[2]であろう。

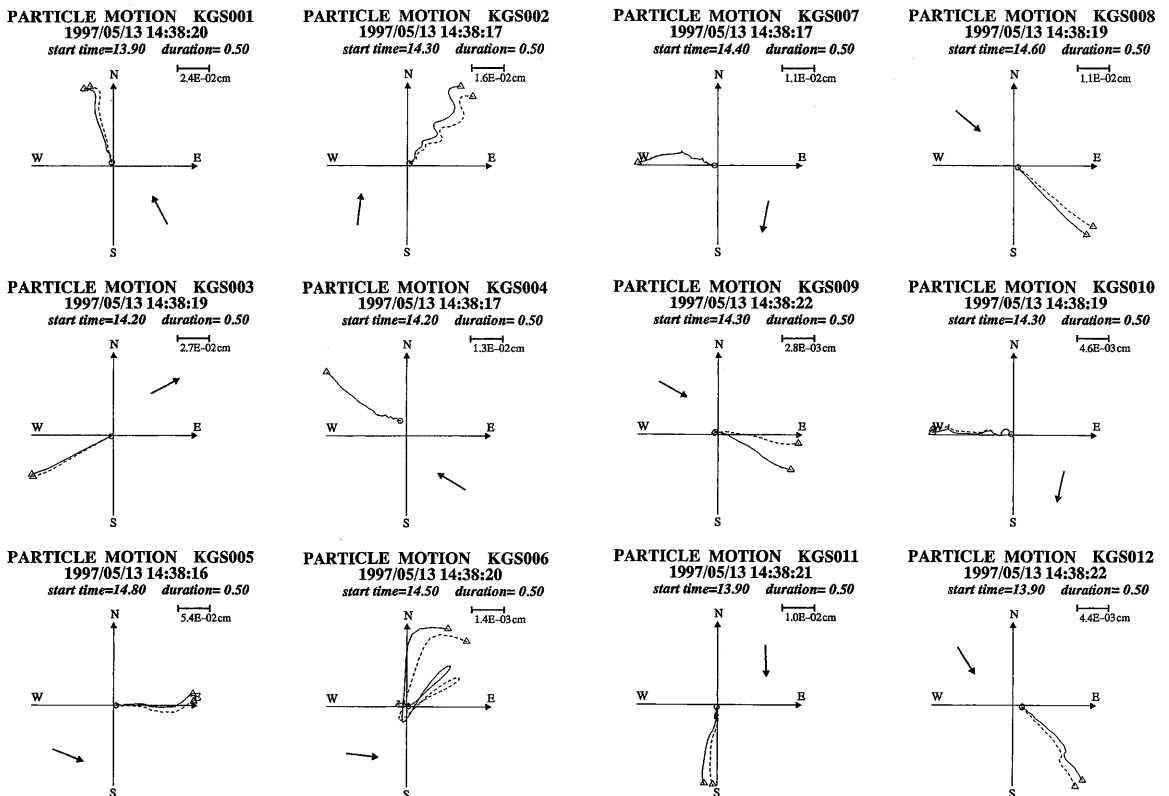


Fig. 3. Horizontal projection of *P*-wave particle motion for the second main shock of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes. See the caption of Fig. 2 for notation.

KGS005 (宮之城) : KGS004の場合と反対に、第1本震の水平粒子軌跡はRadial方向と一致しているが、第2本震では両者ずれている。第2本震でずれている原因はやはり[2]と考えられる。

KGS006 (横川) : 第1本震の水平粒子軌跡はRadial方向に近いが、第2本震では両者は大きくずれている。ただし、第1本震の場合、地震計の方位補正をすると

補正前に比べて軌跡は逆にRadial方向から離れてしまっている。今回の測定結果を信じる限り、このずれの主な原因としては第1本震の場合には上記[1]、第2本震の場合には[2]と[1]が考えられる。ただ、第1本震の場合もこの観測点は断層面の走行方向近くにあるうえ、破壊が東から西に(すなわちKGS006から離れる向きに)進行した(例えば、三宅・他, 1999)ことによるdirectivityにより震央からKGS006の向きにはP

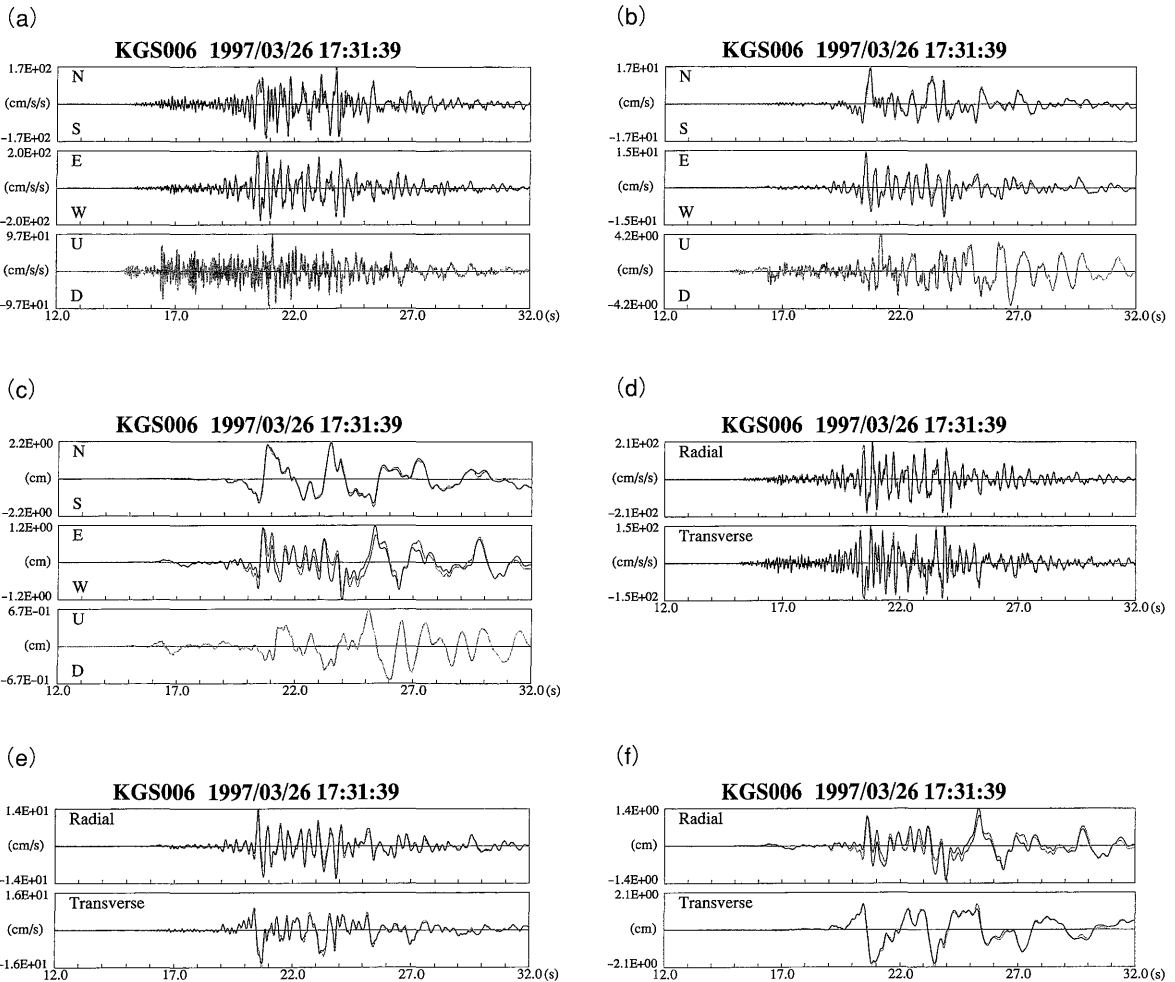


Fig. 4. Comparison between the waveforms with correction (solid lines) and without correction (gray lines) of instrument misorientation at station KGS006 for the first main shock of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes. (a) Three-component acceleration records; (b) three-component velocity waveforms calculated by integration of the acceleration records (a); (c) three-component displacement waveforms obtained by double integration of the acceleration records (a); (d) radial and transverse component of the acceleration records; (e) radial and transverse component of the velocity waveforms; (f) radial and transverse component of the displacement waveforms. Date and time shown at the head of each plate is the beginning time of the record file at each station, from which the time axis of each trace is measured.

波がほとんど励起されなかったことも考えられ (Fig.4の波形参照), 現段階では[2]の可能性も否定できない.

KGS007 (川内): KGS005と同様.

KGS008 (蒲生): KGS001と同様.

KGS009 (国分): KGS001と同様.

KGS010 (串木野): 第1本震の水平粒子軌跡はRadial方向に近いが若干ずれている. 第2本震では両者は大

きくずれている. ずれの原因として第1本震の場合には上記[1], 第2本震の場合には[2]と[1]が考えられる.

KGS011 (日吉): 第1本震, 第2本震ともに水平粒子軌跡はRadial方向に近いが, 若干ずれている. また両本震とも地震計の方位補正すると補正前に比べてわずかであるが軌跡は逆にRadial方向から離れてしまっている. 水平粒子軌跡がRadial方向からずれる原因は[1]が最も考えられる.

KGS012 (鹿児島): KGS011と同様である.

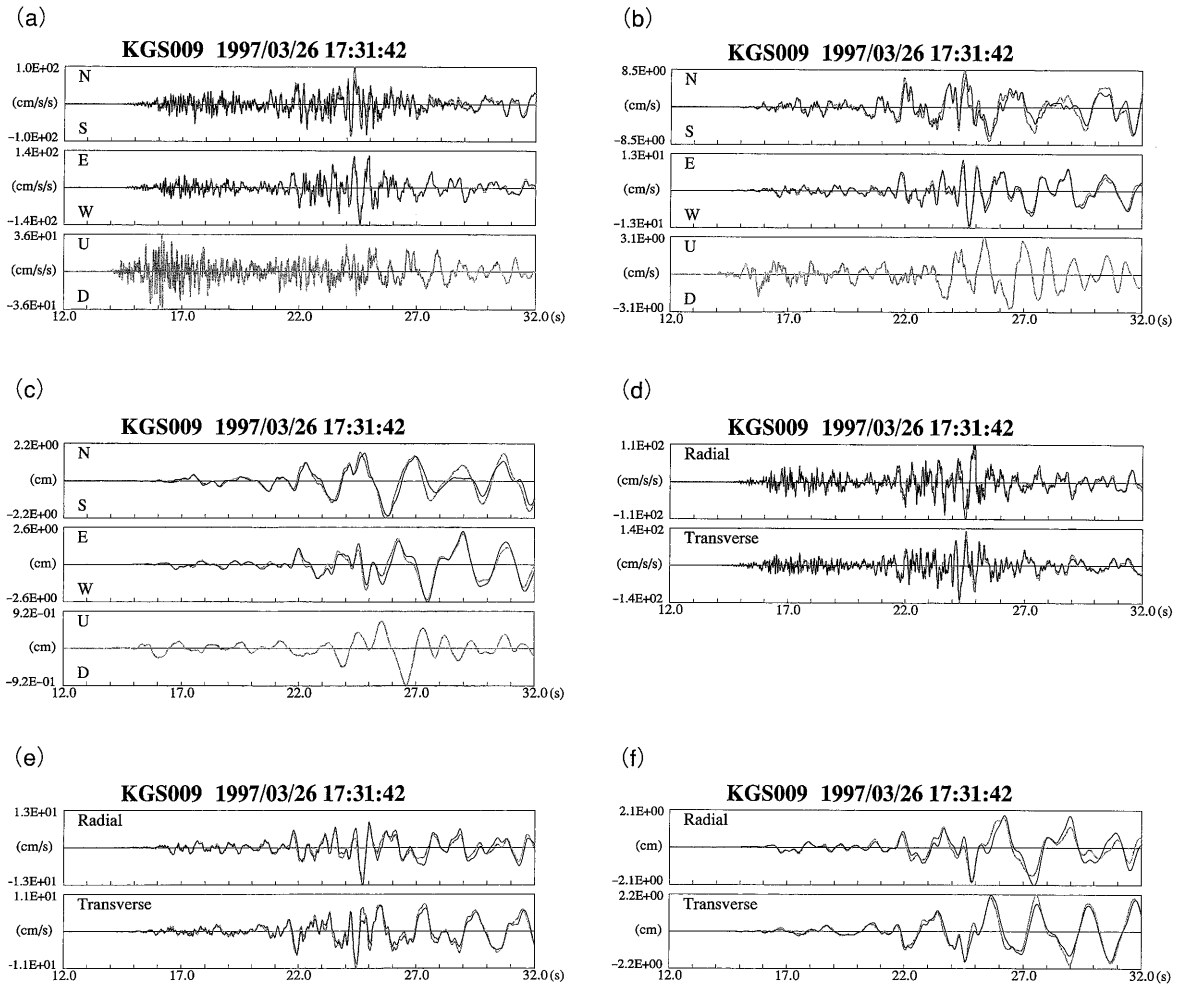


Fig. 5. Comparison between the waveforms with correction (solid lines) and without correction (gray lines) of instrument misorientation at station KGS009 for the first main shock of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes. See the caption of Fig.4 for (a) to (f).

次に、地震計の方位のずれ（誤差）が波形全体に及ぼす影響を見るために、今回特にずれが大きかったKGS006（横川）とKGS009（国分）の第1本震と第2本震の各種波形をFig. 4～Fig. 7に示す。各図の(a)は加速度記録3成分、(b)は速度3成分、(c)は変位3成分で、(d)、(e)、(f)はそれぞれ(a)、(b)、(c)の水平成分をRadialとTransverse成分に変換したものである。それぞれ方位補正前の波形をグレー線、補正後の波形を黒の実線で描いてある。これを見ると、変位波形のlater

phaseの一部には補正前と補正後で波形が大きく変化してしまうものもある（例えばFig. 6(c)のEW成分など）が、全体的には個々の成分について振幅が若干変化する程度であることがわかる。これらの差が大きいか小さいかという判断は、当然解析目的や解析手法によって異なる。大事なことは、データにはこの程度のランダムではない誤差が含まれていることを認識して解析することである。

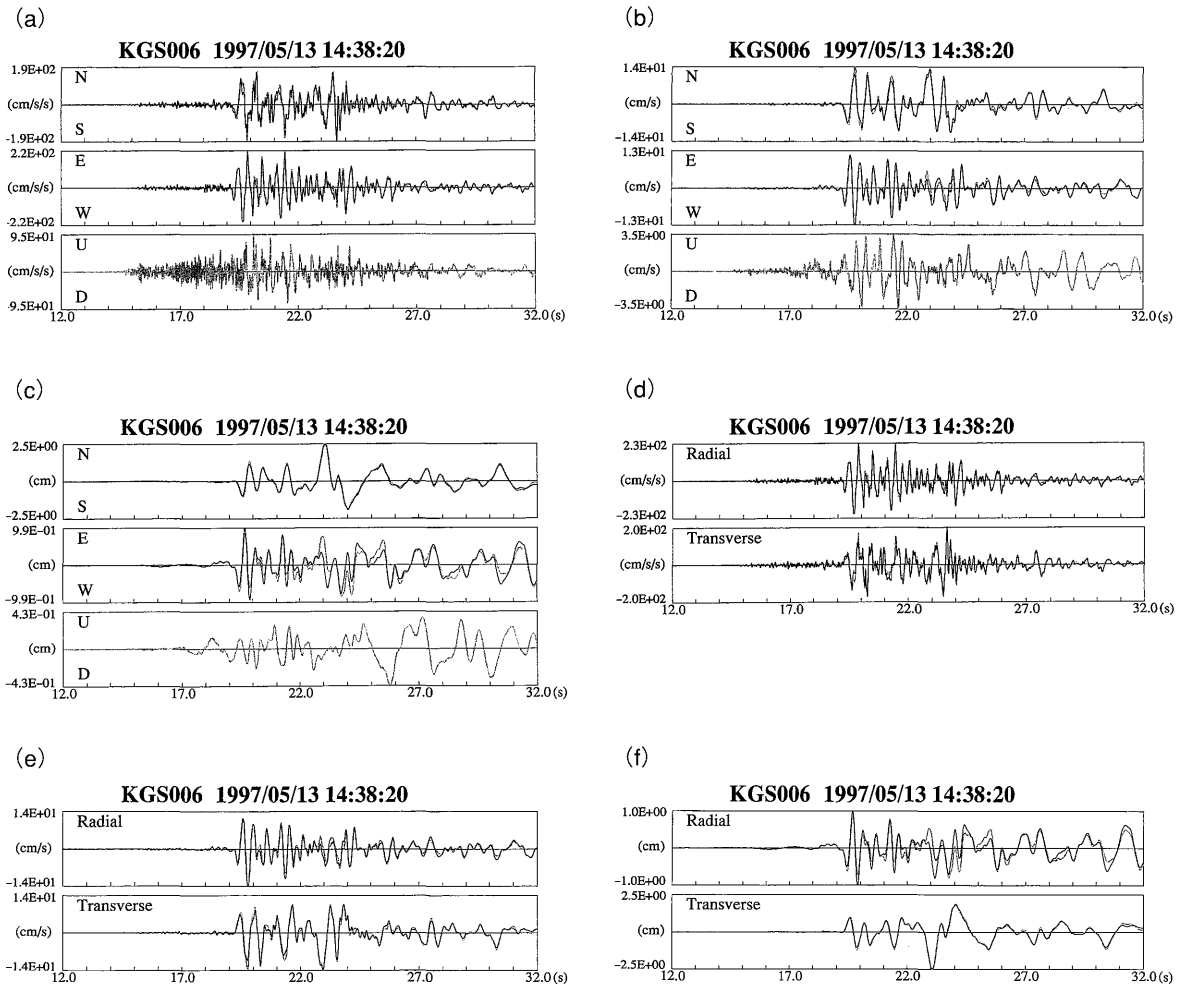


Fig. 6. Comparison between the waveforms with correction (solid lines) and without correction (gray lines) of instrument misorientation at station KGS006 for the second main shock of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes. See the caption of Fig.4 for (a) to (f).

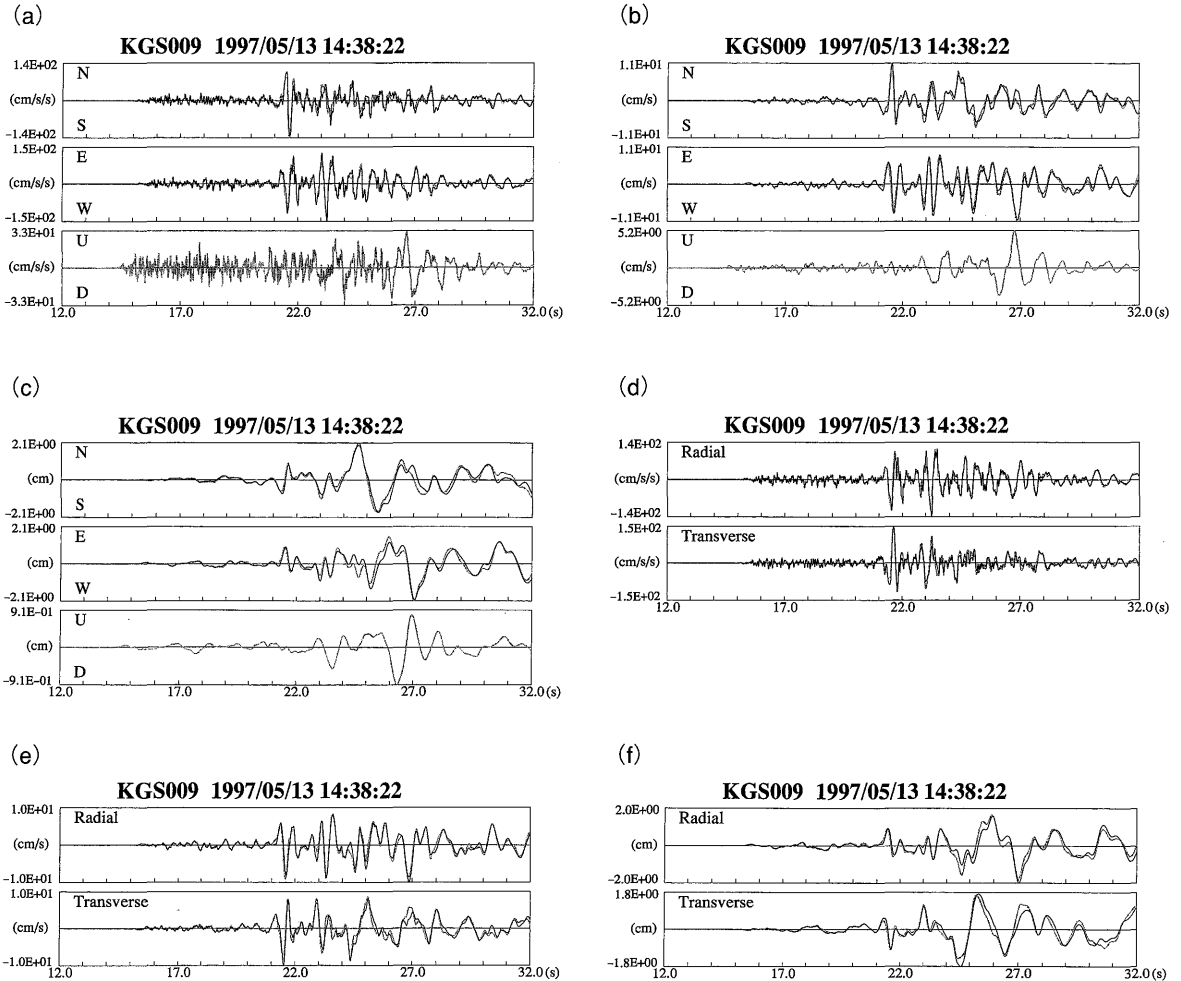


Fig. 7. Comparison between the waveforms with correction (solid lines) and without correction (gray lines) of instrument misorientation at station KGS009 for the second main shock of the 1997 northwestern Kagoshima earthquakes. See the caption of Fig.4 for (a) to (f).

IV. 結論

ファイバ・オプティック・ジャイロを用いて鹿児島県西部地域のK-NET観測点KGS001~KGS012(東, 出水, 大口, 阿久根, 宮之城, 横川, 川内, 蒲生, 国分, 串木野, 日吉, 鹿児島)の地震計の方位を測定した。KGS006(横川)では約 15° , KGS009(国分)では約 20° 地震計の方位が真北からずれていたが, その他の観測点では真北からのずれは 10° 未満であった。

謝 辞

方位測器「FOGコンパス・探北ユニットJM7711」の

使用に際し, 九州大学島原地震火山観測所の松島 健博士には便宜を図っていただきました。匿名の査読者からのコメントは原稿を改善する上で, たいへん役に立ちました。特に, 地殻の水平不均質がP波の粒子軌跡に及ぼす影響についての示唆は役立ちました。記して感謝いたします。

参考文献

- 加藤研一 (1999) : K-NET強震記録の二重スペクトル比に基づく九州南西部の減衰評価. 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 151-152.
木下繁夫 (1986) : 格子型フィルターの地震観測への応

- 用. 地震 2, **39**, 1-14.
- KINOSHITA, S. (1998) : Kyushin Net (K-NET). *Seism. Res. Lett.*, **69**, 309-332.
- 木下繁夫・上原正義・斗沢敏雄・和田安司・小久江洋輔 (1997) : K-NET95型強震計の記録特性. 地震 2, **49**, 467-481.
- 気象庁 (監修) (1996) : 震度を知る : 基礎知識とその活用. 238pp, ぎょうせい, 東京.
- 気象庁地震火山部地震津波監視課 (1997) : 地震・津波防災季報 No.42. 26-33.
- 功刀 卓 (1999) : 自動更新される計測震度情報ホームページの紹介. EICニュースレター (東京大学地震研究所), No.10, 3.
- 三宅弘恵・岩田知孝・入倉孝次郎 (1999) : 経験的グリーン関数法を用いた1997年3月26日 (MJMA6.5) 及び5月13日 (MJMA6.3) 鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル. 地震 2, **51**, 431-442.