

## 防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位情報推定方法の改良

汐見勝彦\*

### New Measurements of Sensor Orientation at NIED Hi-net Stations

Katsuhiko SHIOMI

\* *Earthquake and Volcanic Research Unit, Monitoring and Forecast Research Department  
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan  
shiomi@bosai.go.jp*

#### Abstract

The sensor orientation of a seismometer constitutes basic information required for analyzing horizontal component waveforms. In the case of seismometers installed at the bottom of a borehole, like the NIED Hi-net sensors, it is difficult to check their orientation by the eye. We therefore have to estimate the sensor orientation by using observed waveforms. In this study, we first revise a sensor orientation estimation method, which is based on the waveform correlation analysis of long-wavelength teleseismic waveform components. Since the revised method can be applied semi-automatically, we are able to exclude characteristics that are analyst-dependent, and get more stable results. The results of our present analysis are almost the same with those obtained in the previous work. We usually evaluate the sensor orientation using the principal axis azimuth of the P-wave particle motion. Based on the comparison with the results using long-wavelength waveform correlations, we show that the particle motion based method has large errors ( $> \pm 10^\circ$ ). We newly propose another approach to evaluate the change of sensor orientation before and after seismometer replacement based on the correlation analysis of ambient seismic noise. Although this method requires some additional information to reduce uncertainty, we show that it is effective in case of insufficient waveform recordings.

**Key words:** NIED Hi-net, Sensor orientation, Tele-seismogram, Cross-correlation, Ambient seismic noise

#### 1. はじめに

3成分地震観測における水平動2成分は、地震動動径方向(radial)成分の合成やS波偏向異方性解析等に用いられる。通常の地震観測では、直交する水平動2成分が南北および東西に向くように地震計を設置するが、観測井孔底や海底に地震計が設置されている場合、最終的な設置方位を目視確認することが非常に困難なため、弾性波を用いた調査が行われることが多い。佐藤・片山(1983)や加藤ほか(2001)らは、地表と観測井孔底の両方に設置された地震計で同時に記録された波形の相関解析から、地中地震

計の地表設置地震計に対する相対的な設置方位を推定した。中野ほか(2012)は、紀伊半島沖に展開された地震・津波観測監視システム(DONET)における海底地震計について、地上観測点との地震波形相関、遠地地震のP波初動の振動方向およびエアガンの振動波形を用いて、設置方位の推定を試みた。その結果、各解析方法による推定値は数度程度の範囲で安定していたものの、無人探査機(ROV)によるカメラ映像から推定した方位とは、最大 $50^\circ$ 近い差異があることを明らかにし、弾性波を用いた確認の必要性を示した。また、Grigoli *et al.* (2012)は、複数の観測

\* 独立行政法人 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域地震・火山防災研究ユニット

点で得られた地震記録の波形相関を線形逆問題として解くことにより、観測井内の地震計や海底地震計の設置方位を推定する方法を提案した。

防災科研では、地震に関する基盤的調査観測の一環として、日本全国を対象とした高感度地震観測網 Hi-net, 広帯域地震観測網 F-net, 基盤強震観測網 KiK-net 等を展開・運用している。Hi-net および KiK-net では、各観測施設において深さ 100 m 以上の観測井を掘削し、その孔底に 3 成分高感度速度計, 3 成分強震計, 水平動 2 成分高感度加速度計からなる地震計ユニットを設置して観測を行なっている(例えば, Okada *et al.*, 2004)。地震計ユニットには、観測井孔底の設置ケースのキーに合致するよう、方位設定器が取り付けられており、観測井の底部に地震計ユニットが達した際に地震計  $N$  成分が真北に向くような工夫がなされている(Obara *et al.*, 2005)。しかし、地震計設置時のさまざまな問題により、必ずしも水平 2 成分が正しい方位を向いていないことが報告されている(例えば, 加藤ほか, 2001; 汐見ほか, 2003)。

一方、F-net 広帯域地震計は横坑再奥部に設置されており、その設置方位はジャイロ等により詳細に確認されている。汐見ほか(2003)は、Hi-net 地震計ユニット内の高感度加速度計と F-net 広帯域地震計で同時に得られた遠地地震波形の長周期成分の波形相関解析から、Hi-net 地中地震計の絶対的な設置方位を推定した。この際、方位推定の対象とする Hi-net 観測点から 100 km 以内の F-net 観測点を基準とし、両観測点で観測された遠地地震波形を変位波形に変換した後、100 ~ 200 s の帯域通過フィルタを適用した記録を用いた。しかし、一般に、この帯域におけるノイズレベルは、周期が長くなるほど高くなる(Peterson, 1993)。実際に、汐見ほか(2003)の方法を適用する際、マグニチュード(M)が大きい地震であっても多くの観測点で S/N の良好な観測波形が得られない事例がある。このため、相関解析に使用する観測波形を全て目視確認、取捨選択をする必要が生じている。一方、汐見ほか(2009)は、やや短周期である 50 ~ 100 s の帯域の観測記録の波形相関解析により、Hi-net よりも観測点間隔が密な首都圏地震観測網(MeSO-net)の設置方位を推定しているが、解析に用いた波形は非常に安定したものであった。

以上の解析事例を踏まえ、本解析では、汐見ほか

(2003)の事例よりも解析対象の周期帯域をやや短周期側に移行することにより、利用可能なデータ量の増加とそれに伴う推定精度の向上を試みる。また、最終的な設置方位の推定に最小自乗解析を導入することにより、推定誤差の評価を行う。さらに、汐見ほか(2003)の解析方法では、対象観測点数の増加に伴って解析に使用する観測波形の目視確認作業にかかる負担も増加する一方、解析担当者の主観による波形の取捨選択の影響が避けられない。改定した解析方法の適用にあたっては、処理の半自動化を進めることにより、作業の軽減化と解析結果の任意性の排除に努める。なお、顕著な地震による観測波形を用いる本解析方法では、特定の観測点および観測期間に適当なデータが得られない場合がある。そのような観測点においても設置方位に関する概略情報を得るため、近地地震の P 波初動の振動方向および雑微動相関係数を用いた設置方位推定方法について紹介するとともに、その推定精度について検討を行う。

## 2. データ

本解析では、汐見ほか(2003)同様、Hi-net 高感度加速度計および F-net 広帯域地震計で得られた記録をそれぞれ 2 回あるいは 1 回積分することにより得られる変位波形を用いる。汐見ほか(2003)は、距離 100 km 以内に位置する F-net 観測点を参照することとしたため、周期 100 ~ 200 s のバターワース型帯域通過フィルタを適用し、相関解析を行った。しかし、前述のとおり、周期約数十秒以上の帯域では長周期帯域になるほど観測される地動ノイズレベルが高くなる傾向にある。そこで、本解析では、変位記録に対し周期 60 ~ 120 s のバターワース型帯域通過フィルタを適用することとした。観測される地震動の長周期成分は、主に S 波あるいは表面波であると考えると、それらの伝播速度は 3 km/s 程度であり、解析周波数帯域に対応する波長は 180 ~ 360 km となる。地震計設置方位を求めるためには、解析周波数帯域で観測波形が高い相似性を示していることが必須である。この条件を満たすため、相関解析を行う地震計ペアの距離は、解析波長の約 1/4 である 50 km 以下とした。

地震動の長周期成分の波形相関を用いて地中地震計の設置方位を推定するため、まず、米国地質調査所(USGS)の震源カタログから、2000 年 10 月

～2012年4月に発生した震央距離25°以上120°以下、マグニチュード(M)6.8以上の地震169個を抽出した。図1に解析に使用した地震の震央分布を示す。相関解析には、IASP91速度モデル(Kennett and Engdahl, 1991)から予測される直達P波到着時刻の100s前あるいは震源時刻の遅い方から60分間の波形を用いた。相関解析には、サンプリング間隔が1sとなるようにデシメートした記録を用いた。

F-net広帯域地震計記録は、F-netのウェブサイト(防災科学技術研究所, 2001)に記載されている地震計設置方位情報を元に、あらかじめ、南北(NS)成分および東西(EW)成分波形を合成した。今後、F-net観測点等、地震計設置方位推定の基準として用いるNS, EW成分の波形を基準波形と称する。また、設置方位情報が不明な観測点の水平動2成分の波形については対象波形と称することとし、一方をN成分, N成分に対し時計回りに90°回転している成分をE成分と呼ぶ。

基準波形は設置方位の基本となる波形データである。必ず、目視により、地震計故障等に起因する異常な波形が混入していないか確認することとした。一方、対象波形については、解析の結果相関値が低いものを排除することとし、目視確認は不要とした。

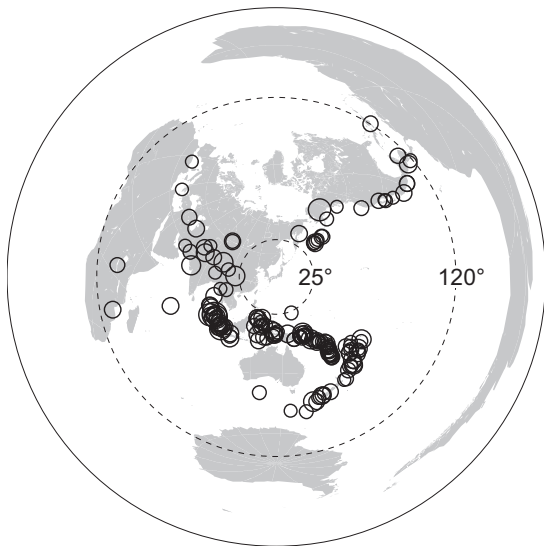


図1 解析に使用した遠地地震の分布  
Fig. 1 Epicentral distribution of teleseismic events used in this study.

### 3. 波形相関による地中地震計設置方位推定方法

基準波形と対象波形の相互相関解析から、Hi-net観測点の地中地震計N成分の絶対的な設置方位 $\theta$ を求める。ここで、設置方位 $\theta$ は、真北を0とし時計回りに増加する値として定義する。

設置方位が不明なHi-net観測点*i*を考える。観測点*i*の50km以内にあるF-net観測点*j*で得られた遠地地震*k*の観測記録のNS成分およびEW成分を、それぞれ基準波形 $N_j^k, E_j^k$ とする。一方、観測点*i*で得られた波形(対象波形)を1度刻みで反時計回りに $\varphi = -179^\circ$ から $\varphi = 180^\circ$ まで回転させた波形を合成し、基準波形との相互相関係数を求める。この相互相関係数は成分ごとに求まる。本解析では両成分の相関係数の平均値を求め、相関係数が最大値を示す回転角 $\varphi_{ij}^k$ を求めた。この回転角は基準波形ごとに得られるので、求めた複数の回転角に対し、

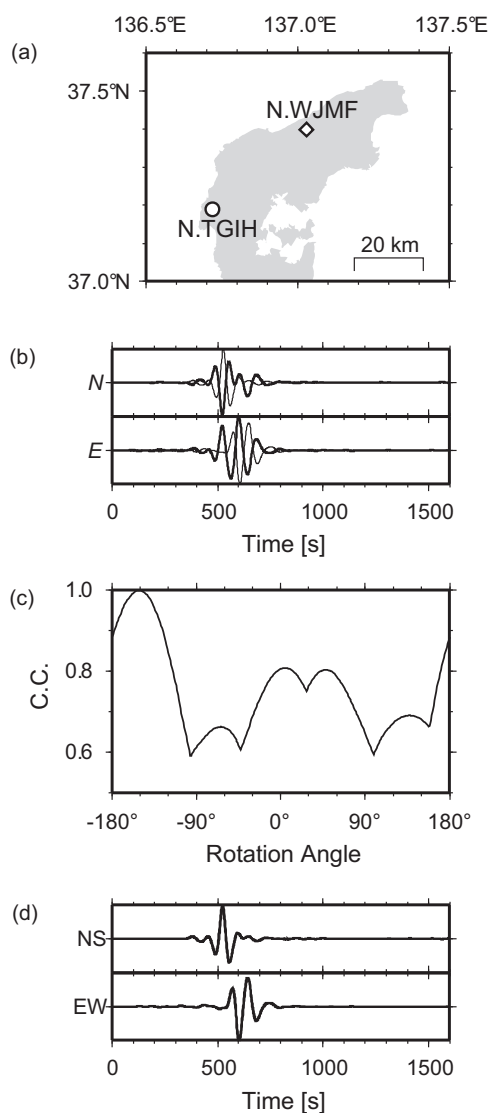
$$\begin{cases} x_{ij}^k = \cos(\varphi_{ij}^k) \\ y_{ij}^k = \sin(\varphi_{ij}^k) \end{cases} \quad (1)$$

を求め、最小自乗法により関数 $Y=aX$ における*a*値、すなわち $(x_{ij}^k, y_{ij}^k)$ の分布の傾きを求めた。この際、相関係数が0.9以下となる記録は、最小自乗解析から除外した。最小自乗解析においては、相関係数と観測点間距離 $d_{ij}$ [km]を重みとして用いた。観測点*i*における地震計設置方位 $\theta_i$ ( $-180^\circ < \theta_i \leq 180^\circ$ )は、求められた傾き*a*の逆正接関数 $\tan^{-1}(a)$ により定義するが、正接関数は $-90^\circ$ および $90^\circ$ で発散する性質を有するため、対象観測点のN成分が東方あるいは西方を向いている場合、すなわち $|\theta_i| \sim 90^\circ$ では、設置方位を安定して求めることは難しい。そこで、推定された設置方位が $75^\circ < |\theta_i| < 105^\circ$ となった場合は、同様の最小自乗解析により関数 $X=bY$ における*b*値を求め、 $\theta_i = 90 - \tan^{-1}(b)$ により設置方位を求めることとした。推定誤差は、最小自乗解析における標準偏差値を元に、95%の信頼区間で評価した。

以上の解析では、設置方位推定対象観測点から50km以内にF-net観測点が存在する場合にのみ有効である。50km以内にF-net観測点が存在しない観測点や採用された波形相関が10例未満の観測点については、汐見ほか(2003)同様、それまでの解析で設置方位が推定されたHi-net観測点を新たに基準観測点に加えることにより、順々に設置方位を推定する方法を採用した。

#### 4. 地中地震計設置方位推定結果

解析の一例として、**図 2** に石川県・富来(N.TGIH)観測点における推定例を示す。ここで示した観測波形は、2008 年 5 月 12 日に発生した中国・四川省の地震(汶川地震, M8.1)による変位記録であり、60~120s の帯域通過フィルタを適用してある。**図 2b** に示されるように、N.TGIH 観測点で得られる *N* および *E* 成分の観測波形は、F-net 輪島(N.WJMF)観測点の NS, EW 成分の観測波形とは一致しない。このような事例について、対象波形を 1 度刻みで回



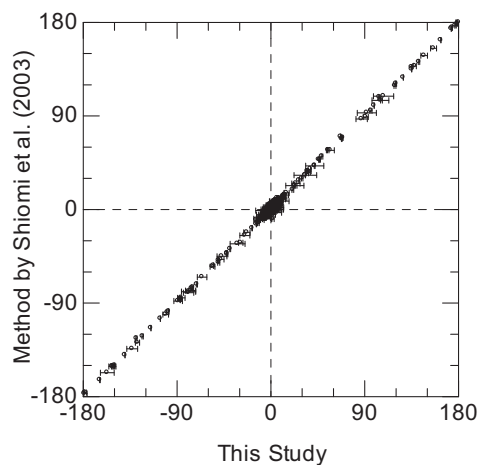
**図 2** Hi-net 富来(N.TGIH)観測点における解析例。(a) N.TGIH および F-net 輪島(N.WJMF)観測点の位置。(b)2008 年中国・四川省の地震(M8.1)による波形記録。N.TGIH および N.WJMF 観測点の記録をそれぞれ太線および細線で示す。(c) N.TGIH および N.WJMF 観測点の記録をそれぞれ対象波形、基準波形とした場合の相関係数の変化。(d)N.TGIH 観測点の設置方位を N151°W とした場合の NS 成分および EW 成分の波形(太線)と N.WJMF 観測点の記録。

**Fig. 2** Example for N.TGIH station. (a) Location map of N.TGIH and N.WJMF stations. (b) Observed waveforms of 2008 Eastern Sichuan earthquake (M8.1). Thick and thin lines denote waveforms observed at N.TGIH and N.WJMF stations, respectively. (c) Maximum cross-correlation coefficients between displacement waveforms observed at N.TGIH and N.WJMF. (d) NS and EW component waveforms at N.TGIH and N.WJMF. N.TGIH waveforms (thick line) are rotated 151° clockwise measured from north.

転させつつ、基準波形との相関係数を計算したところ、 $-151^\circ$  で両者の相関係数が最大になった(**図 2c**)。N.TGIH 観測点の *N* 成分が N151°W を向いているとして、NS 成分および EW 成分を合成したところ、**図 2d** に示すように、両者とも基準波形とほぼ一致した。

本解析により求めた各観測点の設置方位情報を表 A1 にまとめる。地中地震計ユニットの引き上げ再設置工事の実施に伴い地震計設置方位が変化しうるため、表 A1 は観測点ごと、設置期間ごとに記す。期間欄が空欄になっている観測点では、観測点建設後、地中地震計の再設置を一度も行っていない。右端が空欄になっている観測点・期間は、F-net 観測記録との波形相関により設置方位が推定されたことを、H と表示されている観測点・期間は、設置方位推定済みの Hi-net 観測点の記録を基準波形として使用したことを表す。

**図 3** に、汐見ほか(2003)の方法により求められた設置方位との比較を示す。本解析では、解析対象の周期帯をやや短周期側にずらすとともに、処理の自動化を進めたが、97% 以上の観測点・期間において両者の差異は  $3^\circ$  以内に求まった。



**図 3** 本解析による *N* 成分設置方位推定結果と汐見ほか(2003)の方法により推定された結果との比較  
**Fig. 3** Comparison with the sensor orientations estimated by this study and by the method of Shioimi *et al.* (2003).

5. 議論

5.1 基準波形の違いと推定結果への影響

本解析では、基準波形として F-net 観測点で得られた遠地地震記録の長周期成分を用いることを基本とした。しかし、観測点配置によっては、方位推定対象となる Hi-net 観測点から 50 km 以内に F-net 観測点が存在しない場合がある。また、50 km 以内に F-net 観測点が存在する場合であっても、観測期間によっては、十分な S/N を有する観測記録が必要数得られていない場合もある。このような観測点については、F-net 観測点との波形相関解析により設置方位が推定された Hi-net 観測点を新たに基準観測点として採用し、Hi-net 観測点同士の波形相関から設置方位を推定した。本項では、F-net 観測点による基準波形が十分に存在せず、近傍の Hi-net 観測点の記録を基準波形とする場合の推定結果への影響について、比較検討する。

ここでは、当初は F-net 観測点が未整備であったために、F-net 観測記録との相関解析が行えなかったものの、現在は観測施設が整備されたことにより、直接的に相関解析が行えるようになった 14 観測施設を対象に、当該 F-net 観測点が建設されなかった状況を仮定して、2012 年 4 月現在の設置方位を推定した。結果を表 1 に示す。両者の結果は誤差の範囲内で一致しており、Hi-net 観測記録を基準波形とする場合でも、良好な推定精度を有していることがわかる。なお、表 1 における推定誤差は、Hi-net を基準観測点として採用した方が小さくなっている。これは、Hi-net 同士の波形相関の方が観測点の組を生成しやすく、相関解析の事例が多数得られる事に起因している。

5.2 波形相関解析が適用できない観測点の設置方位

5.2.1 直達 P 波の振動方向

前項までに適用した地震計設置方位推定方法は遠地地震の波形記録を用いている。この方法を採用するためには、観測期間中に一定規模以上の地震が適切な震央距離範囲内で発生し、十分な S/N をもって観測されることが必須である。しかし、観測点の周囲の環境や遠地地震発生頻度等の原因により、観測期間内に正常な観測波形を得ることが出来ない場合がある。地震動長周期成分の波形相関により設置方位が推定出来なかった観測点・期間について、表 A1 に網掛けで表示した。また、旧関東・東海地殻

表 1 基準観測点の違いによる設置方位推定結果の比較  
Table 1 Comparison of sensor orientations estimated by using F-net and Hi-net stations as standard stations.

Station Period	Sensor Orientation		Standard Station (Start Date)
	Hi-net	F-net	
N.HIKH 02/06/09~	-99±0.1	-99±0.9	N.NSKF (01/04/21)
N.SINH 00/11/30~	-3±0.0	-4±1.6	N.OKWF (05/06/09)
N.MYJH 09/02/10~	-5±0.2	-5±3.5	N.SIBF (02/01/25)
N.NSMH 02/04/21~	-2±0.1	-2±1.0	
N.KNZH 03/10/10~	0±0.6	0±1.6	N.SRNF (02/11/14)
N.SRWH 03/05/27~	0±0.1	-1±1.0	
N.KKIH 02/04/12~	-1±0.1	-1±1.0	N.STMF (03/01/31)
N.NGSH 04/12/19~	-1±3.0	0±1.2	
N.SBSH 02/05/28~	119±0.1	119±0.9	
N.TKKH 07/02/25~	2±0.2	2±1.2	
N.AMZH 02/06/02~	35±0.5	35±1.1	N.WJMF (03/12/19)
N.TGIH 06/03/31~	-150±1.3	-151±1.2	
N.UCUH 06/03/28~	-1±0.4	-1±1.5	
N.YGDH 02/06/04~	-151±0.5	-152±3.4	

活動観測網における一部の観測施設や「糸魚川－静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」で整備された観測点(文部科学省研究開発局ほか, 2010)など、高感度加速度計が併設されていない観測点では、同様な波形相関に基づく解析を実施することは困難である。

一方、近地地震の直達 P 波の振動方向と地震波到来方向の差分から設置方位を概略推定する方法がある。この方法は他に特別なセンサーを使用しないため、地震計の設置方位の概略を比較的容易に推定することが出来る。しかし、直達 P 波の振動方向は局所的な地下構造の影響を受けやすいと考えられている(例えば、汐見ほか, 2003 ; 2009)。ここでは、地震動長周期成分を用いて地震計設置方位が推定された Hi-net 観測点に対して、直達 P 波の振動方向から設置方位を推定し、両者の差分の分布状況や推定精度について議論を行う。また、高感度加速度計が併設されていない観測点について、本方法を用いて地

震計設置方位を推定することにより、情報の補完を試みる。

直達 P 波の振動方向を評価するための近地地震記録は、以下の基準で抽出した。

- (1) 震源深さ：200 km 以上
- (2) マグニチュード：2.0 以上
- (3) P 波振幅の S/N：10 以上
- (4) 震央距離：30 km 以上

条件 (1) ~ (3) は、水平動成分で十分明瞭な振動の記録を得るためのものであり、震源決定誤差による地震波到来方向推定への影響を避けるため、条件 (4) を付与した。

P 波の振動方向に基づく設置方位推定例を図 4 に示す。また、地震動長周期成分による設置方位推定結果(表 A1)と直達 P 波の振動方向により得られた方位推定結果の比較を図 5 に示す。図 2 に示した N.TGIH 観測点(2006 年 3 月 31 日の再設置工事以降)については、図 4a に示すように、P 波振動方向から推定される設置方位がほぼ一定の方位に集中しており、その平均は N147°W と求まった。大半の観測点では、図 4a 同様、P 波の振動方向と地震波到来方向との角度差は一定の方位に集中する傾向が見られたが、一部の観測点においては、推定方位にばらつきが見られた(図 4b~d)。図 4b に示した北海道・平取西(N.BRWH)観測点では、地震動長周期成分の相関解析から、その設置方位が 0° と推定されており(表 A1)、P 波初動から求められた方位(N11°E)とは反時計回りに 10° 以上の差がある。平取西観測点を含む日高地方西部の観測点では、汐見ほか(2003)にも報告されているとおり、同等の設置方位推定の差分が系統的に見られることから、このばらつきは観測点下の構造の影響によるものと推察される。

一方、図 4c に示した茨城県・高萩(N.THGH)観測点や図 4d の北海道・古平(N.FBRH)観測点では、地震ごとに求められた角度差が安定しておらず、得られた平均値も表 A1 の結果から大きく乖離している(図 5)。回収した地震計の調査から、N.THGH 観測点では、観測開始から 2003 年 8 月 6 日まで、高感度速度計の N 成分と E 成分が同じ方向を向いていたことが明らかになっており、図 4c に示されたばらつきは震央位置の分布を反映している。また、波形データの詳細な確認の結果、N.FBRH 観測点では、2008 年 7 月 28 日以降、高感度速度計の N 成分と E

成分が逆に接続されている可能性が高く、高感度加速度計記録を用いた相関解析から、E 成分は N5°E、N 成分は N95°E を向いていると考えられる。

図 4e に示した山口県・長門(N.NGTH)観測点および図 4f の福岡県・嘉穂(N.KAHH)観測点においては、非常に安定した推定結果が得られている。しかし、P 波の振動方向から推定した結果と地震動長周期成分の相関解析から推定した設置方位を比較すると、両者に約 90° の差異があることが分かる(図 5)。これらの観測点においても、回収した地震計を確認することにより、2004 年 4 月から 2005 年 4 月までの間、高感度速度計 N 成分は、高感度加速度計 N 成分に対して時計回りに 90° 回転して構成されていたことが明らかになっており、本解析の結果は、この

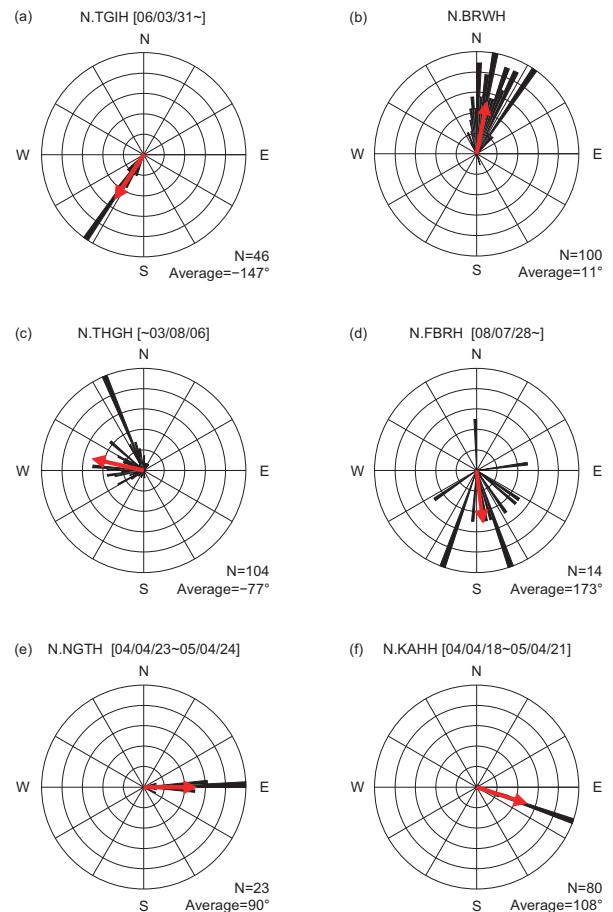


図 4 近地地震の P 波の振動方向から推定した高感度速度計の設置方位。地震ごとに求められた角度差をローズダイアグラムで、平均として求めた設置方位を赤矢印で示す。

Fig. 4 Sensor orientation estimated by P-wave particle motion. Rose diagrams and red arrows show distribution of estimated orientation by each earthquake and average direction, respectively.

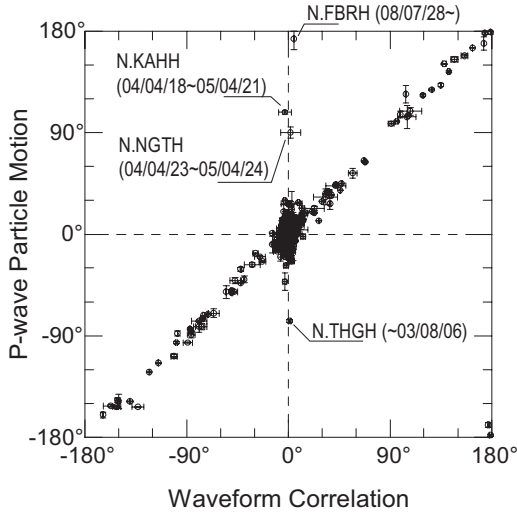


図5 地震動長周期成分の波形相関から推定した地震計設置方位とP波振動方向から推定した設置方位の比較

Fig. 5 Comparison of sensor orientations estimated by long-period waveform correlation and by P-wave particle motion.

事実と一致する。表A1における両観測点の結果は、この点を踏まえ、両観測点・期間については、推定された高感度加速度計設置方位を時計回りに90°回転した角度を示した。

図5に示した結果は、前述の条件を満たすP波振動方向の事例が10例以上得られた観測点・期間を対象として示した。両手法による設置方位角の相関係数は0.82、角度差の平均は-0.9°、標準偏差は5.9であった。以上から、P波振動方向から推定した設置方位は、概ね10~20°(±5~10°)程度の推定誤差を抱えており、参考情報程度には使用できるが、厳密な解析をする際には、より詳細な方法で設置方位を調査する方が好ましい。

地震動長周期成分の波形相関により設置方位が推定出来なかった観測点・期間のうち、P波振動方向から設置方位を概略推定した神奈川県・山北南(N.YKSH)観測点について、表A1に網掛けして示す。また、「糸魚川－静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」で整備された簡易型高感度地震観測施設および関東・東海地殻活動観測施設として整備された観測点における推定結果を、それぞれ表A2、表A3に示す。

## 5.2.2 雑微動相関係数による設置方位推定

表A1では、これまでの方法で設置方位が推定出来ていない観測点・期間が存在する。地震計の設置期間が数か月程度以下の場合、その間に地震計設置方位推定に有効な地震波が得られない可能性が高い。近年、定常地震観測点で観測される雑微動の相関係数が観測点近傍の地下構造を直接的に反映していることが明らかになってきた(例えば、Sens-Schönfelder and Wegler, 2006)。このことは、逆に、地下構造が不変かつ同じ場所で観測を継続した場合、雑微動の相関係数も不変であることを意味する。設置期間が短期間であっても、地震計が正常に作動している限り、雑微動のデータを収録することは可能である。ここでは、この特徴を利用し、Hi-net地中地震計ユニットの再設置工事前後での設置方位変化の検出の可能性について確認する。

再設置工事前のN成分およびE成分の波形をそれぞれ $n^b(t)$ 、 $e^b(t)$ とし、再設置後のN成分およびE成分の波形を $n^a(t)$ 、 $e^a(t)$ とする。再設置工事により、地震計が時計回りに $\alpha$ 回転したとすると、

$$\begin{pmatrix} n^b(t) \\ e^b(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n^a(t) \\ e^a(t) \end{pmatrix} \quad (2)$$

の関係がある。再設置前のN成分の自己相関係数 $A_n^b(\tau)$ を、

$$A_n^b(\tau) = \int n^b(t) \cdot n^b(t-\tau) dt / \int \{n^b(t)\}^2 dt \quad (3)$$

で定義すると、式(2)および式(3)から、

$$A_n^b(\tau) = A_n^a(\tau) \cdot \cos^2 \alpha + A_e^a(\tau) \cdot \sin^2 \alpha - \{C_{ne}^a(\tau) + C_{en}^a(\tau)\} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

が得られる。ここで、 $A_n^a(\tau)$ 、 $A_e^a(\tau)$ は、それぞれ再設置後のN成分およびE成分の自己相関係数、 $C_{ne}^a(\tau)$ 、 $C_{en}^a(\tau)$ は両成分の相互相関係数を表しており、 $C_{ne}^a(\tau) = C_{en}^a(-\tau)$ である。また、雑微動のRMS振幅は、水平2成分とも同程度と仮定している。同様に、再設置前のE成分の自己相関係数 $A_e^b(\tau)$ は

$$A_e^b(\tau) = A_n^a(\tau) \cdot \sin^2 \alpha + A_e^a(\tau) \cdot \cos^2 \alpha + \{C_{ne}^a(\tau) + C_{en}^a(\tau)\} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

となる。すなわち、再設置前水平動2成分で得られた雑微動の自己相関係数は、再設置後の水平動2成分の自己相関係数および相互相関係数により規定す

ることが出来る。したがって、これらの雑微動観測波形を用い、最適な  $\alpha$  を逐次探索することにより、設置前後での地震計の回転角を求めることが可能となる。ただし、回転角に関連する三角関数は自乗ないし積の形で使用されている。これらは周期  $180^\circ$  で変化する周期関数であることから、本方法で推定される設置方位には、 $180^\circ$  異なる 2 通りの解を有している。

一例として、Hi-net 地中地震計の再設置工事前後で大きく設置方位が変化した N.TGIH 観測点および高知県・池川 (N.IKKH) 観測点について、雑微動の相関係数から設置方位角の変化を求めた。なお、N.TGIH 観測点は、地中加速度計等の故障修理のため、N.IKKH 観測点は地震計設置方位修正のために、地震計の引き上げ再設置を行った観測点であり、再設置工事直前に高感度速度計の不具合は確認されていない。

解析には、再設置工事前後 1 カ月間の雑微動記録を用いた。まず、高感度速度計による観測波形を 20 Hz サンプリングに変換した後、0.5 Hz から 2 Hz のバターワース型帯域通過フィルタを適用した。さらに、地震波等の混入による影響を除去するため、波形の 1 ビット化を行った。その後、204.8 s (4,096 サンプル) のウィンドウごとに相関係数を計算した。ウィンドウは 102.4 s ごとにずらしながら計算を繰り返した。得られた相関係数を再設置工事前後の期間でそれぞれスタックし、最終的な自己相関係数および相互相関係数とした。このようにして得られた再設置後の相関係数に対し、 $\alpha$  を  $1^\circ$  ずつ変化させながら式 (4) および式 (5) を適用し、再設置前の自己相関係数との比較を行った。この際、経過時間 0 s 付近の大きな相関係数による影響を避けるため、経過時間 10 ~ 20 s の相関係数を評価の対象とした。

図 6 に N.TGIH 観測点、図 7 に N.IKKH 観測点における自己相関係数およびグリッドサーチの結果を示す。N.TGIH 観測点については、2006 年 3 月の再設置工事により、N 成分の方位は  $N57^\circ E$  から  $N151^\circ W$  に変化しており (表 A1)、設置前後で時計回りに  $152^\circ$  回転した。雑微動から求められた回転角も  $152^\circ$  となっており (図 6b)、両者は一致した。一方、N.IKKH 観測点については、2002 年 6 月の再設置工事の前の方位  $N87^\circ W$  から工事後に  $N1^\circ W$  となっており、時計回りに  $86^\circ$  回転したことが期待されるが、

雑微動相関係数からは、時計回りに  $72^\circ$  あるいは反時計回りに  $108^\circ$  回転したと推定されており、両者は一致しない。N.IKKH 観測点における工事は、観測点建設時に地中地震計ユニットが観測井の孔底に到達していなかった可能性があるための再設置作業であり、地震計設置深度が工事前後で変化した可能性がある。実際、再設置作業とは無関係なはずの上下動成分の自己相関係数における位相到来時刻が、工事前後でわずかに変化している (図 7a)。

次に、実際に観測点設置方位が未決定となっている観測点・期間に本方法を適用してみる。鹿児島県・郡山 (N.KORH) 観測点では、地中地震計故障修理を目的とし、2010 年 1 月 17 日ごろに地震計改修工事を実施した。しかし、再設置後の地震計の上下動成

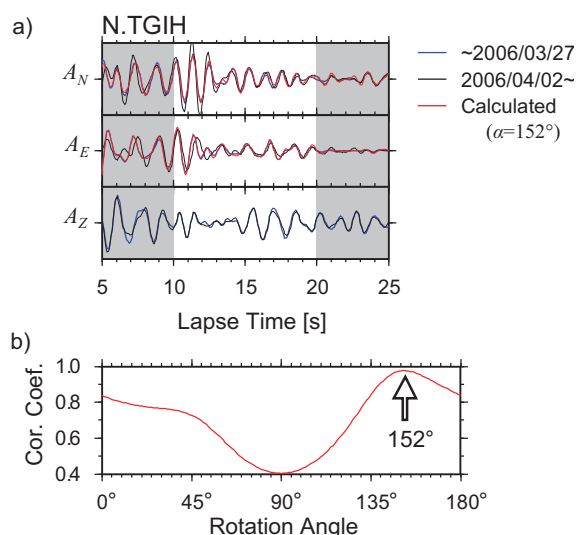


図 6 富来 (N.TGIH) 観測点における雑微動相関係数を用いた設置方位変化推定の例。(a) 再設置工事前後の観測記録による自己相関係数をそれぞれ青線、黒線で示す。また、赤線は、再設置工事後の相関係数について、式 (4) および (5) に  $\alpha=152^\circ$  を適用することにより求めた。設置方位変化推定に使用した時間枠を白抜きで示す。上段から順に、N 成分、E 成分、上下動成分を表す。(b) 回転角  $\alpha$  に対して計算により求まる相関係数と再設置工事前の雑微動相関係数の相関値の変化。

Fig. 6 Example of station orientation change at the N.TGIH station. (a) Auto-correlation coefficients (ACCs) of ambient noises. Blue and black lines denote ACCs estimated for before and after the sensor replacement, respectively. Red lines indicate calculated ACCs using eqs. (4) and (5), where  $\alpha=152^\circ$  is used. Shaded time windows are not used for ACC rotation analysis. (b) Correlation coefficients between observed ACCs before sensor replacement and calculated ACCs.



分の固有周期やダンピング特性に異常が見られたため、設置から6日後の1月22日に、再度、地震計を引き上げた。このため、この設置期間中は、顕著な地震記録を得ることが出来ていない。この期間中について、雑微動の相関係数から設置方位推定を試みた。図8に結果を示す。再設置工事前の相関係数は、地震計故障発生前の2008年12月の雑微動データより求めた。また、地震計再設置直後は地震計の動作確認のための信号等が混入するため、設置から2日後となる2010年1月19日から地震計を再回収する22日までの4日弱のデータを再設置後の相関係数を推定するために用いた。図8(a)に示す自己相関係数は、各成分とも工事前後の期間でよく一致しており、最適な回転角も時計回りに176°(あるいは、反時計回りに4°)と求めた(図8b)。工事前の地震計N成分の設置方位は、表A1からN2°Wと推定されていることから、工事後は、N174°EもしくはN6°Wを向いていると考えられる。設置方位推定結果の任意性を除去するため、再設置後の6日間にN.KORH観測点の近傍で発生した地震について、観測波形の確認を行った。一例として、図8cおよびd

に2010年1月19日10時45分ごろに発生した天草諸島西方沖を震源とするM3.1の地震(深さ10km)の観測波形およびP波の粒子軌跡をそれぞれ示す。N.KORH観測点に対し、震央はおおよそN50°Wの方向に位置する。これに対し、図8cからP波初動の上下動成分は上(Up)の極性を示していること、図8dから、水平動成分は南東方向に振動していることが分かる。この振動特性を満足させることが出来る設置方位は、前述の2方位のうち、N6°Wであると判断できる。本観測点では、高感度速度計上下動成分地震計の最調整を行った後、2010年2月14日に、再度地震計を設置した。2010年2月以降の設置

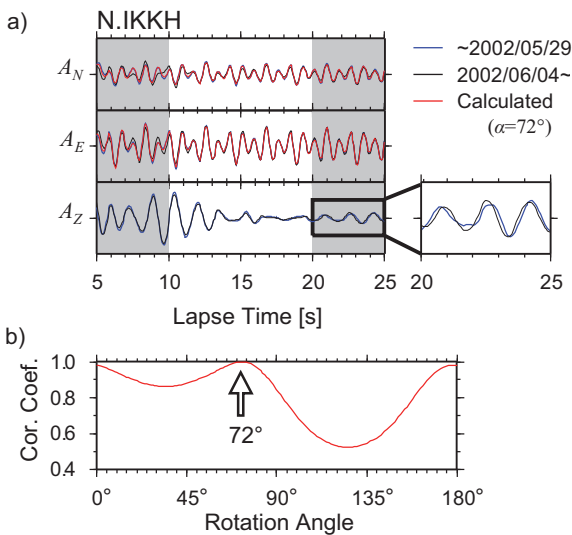


図7 池川(N.IKKH)観測点における雑微動相関係数を用いた設置方位変化推定の例。(a)および(b)の表記については、図6と同じ。ただし、上下動成分自己相関係数について、太枠内を拡大して示した。

Fig. 7 Example of station orientation change at the N.IKKH station. Notations of (a) and (b) are the same as Fig.6. For the UD component ACC, lag time from 20s to 25s show in the zoom window.

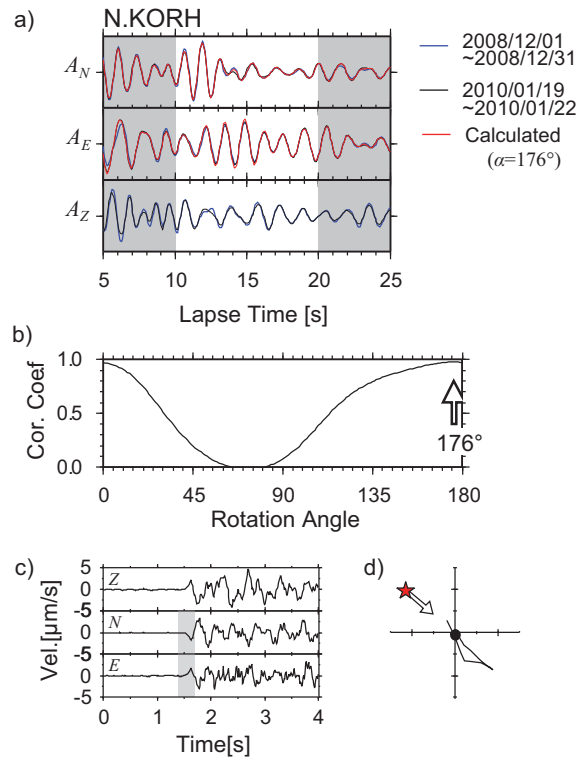


図8 郡山(N.KORH)観測点における雑微動相関解析を用いた設置方位変化推定結果。(a)および(b)の表記については、図6と同じ。(c)天草諸島西方沖で発生したM3.1の地震によるN.KORH観測点での観測波形。(d)P波部分の粒子軌跡。表示時間幅は(c)に網掛けで示した。星印は、震央方位を表す。

Fig. 8 Result of station orientation change at the N.KORH station. Notations of (a) and (b) are the same as Fig.6. (c) Observed waveforms recorded at station N.KORH for an earthquake with M3.1. The epicentral distance is about 66 km. (d) P-wave particle motion. Time window are shown as gray shaded in (c). Red star indicates the direction of epicenter.

方位は N7°W と推定されており (表 A1), 本推定結果が妥当であることが示唆される. なお, 2010 年 1 月に設置した後の高感度速度計上下動成分には特性の不具合が確認されているが, 相関解析に先立つ 1 ビット化処理により, 地震計の特性異常の影響が軽減されたと考えられる.

以上から, 雑微動の相関解析を行うことにより, Hi-net 観測点の再設置工事に伴う地震計設置方位の変化を検出することが可能である. ただし, 180°異なる 2 方向の任意性が残るため, P 波初動の振動方向等による情報の補完が必要である. また, 地震計ユニットが着底していない場合など, 再設置工事前後で観測深度が異なる場合は, 本方法は適用できないため, 再設置前後で不変であるはずの上下動成分の自己相関係数を確認することが必要である.

## 6. まとめ

本稿では, 汐見ほか (2003) よりもやや短周期である周期 60 ~ 120s の帯域の観測波形を用いて Hi-net に併設されている高感度加速度計と F-net の広帯域地震計記録の相関解析を行うことにより, Hi-net の地中地震計ユニットの設置方位情報を推定するとともに, 推定誤差の評価を行った. 本解析で用いた方法は, 基準波形の目視確認の部分を除いて, すべて計算機が判断, 処理することが可能であり, 今後の設置方位情報の更新作業の簡素化が見込まれるとともに, 結果の任意性が低減されることが期待される.

また, 本方法で設置方位が推定出来ない観測点・期間において, 直達 P 波の振動方向を用いて設置方位を推定する方法の精度について検討を行った. その結果, 直達 P 波による方法は観測点直下の構造の影響等により,  $\pm 10^\circ$  以上の推定誤差を有する可能性があることを示した. また, 雑微動の相関係数の変化から, 地震計設置方位の変化を推定する方法を新規に提案した. この方法は 180°の任意性を有するほか, 設置深度の変化に過敏に反応するが, 近地震の観測例を加味することにより, 安定した結果を得ることが可能である.

防災科研 Hi-net 地中地震計の設置方位に関する情報は, 再設置工事の実施の都度, 更新する必要がある. 本情報は, 今後も, 防災科研 Hi-net のウェブサイト (<http://www.hinet.bosai.go.jp>) より配信を継続する予定である.

## 謝辞

本稿の作成において, Bogdan Enescu 氏のコメントは大変参考になりました. また, 遠地地震の抽出には, 米国地質調査所 (USGS) の震源カタログを使用しました. 本稿における一部の図の作成には, Wessel and Smith (1998) による GMT を使用しました. ここに記して感謝の意を表します.

## 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所 (2001): F-net 広帯域地震観測網 (<http://www.fnet.bosai.go.jp>, 2012.08.31).
- 2) Grigoli, F., Cesca, S., Dahm, T., and Krieger, L. (2012): A complex linear least-squares method to derive relative and absolute orientations of seismic sensors. *Geophys. J. Int.*, **188**, 1243–1254.
- 3) 加藤研一・山添正稔・武村雅之 (2001): 中国・四国地方を対象とした KiK-net 地中埋設地震計の設置方位の推定—鳥取県西部地震, 芸予地震の強震記録に基づく検討—. *地震*, **54**, 421–429.
- 4) Kennett, B. L. N. and Engdahl, E. R. (1991): Traveltimes for global earthquake location and phase identification. *Geophys. J. Int.*, **105**, 429–465.
- 5) 文部科学省研究開発局・国土交通省国土地理院・国立大学法人東京大学地震研究所 (2010): 糸魚川—静岡構造線断層帯における重点的な調査観測 平成 17 ~ 21 年度 成果報告書. ([http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/itoshizu\\_juten/h21/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/itoshizu_juten/h21/index.htm), 2012.08.31).
- 6) 中野 優・利根川貴志・金田義行 (2012): 地震動波形から推定した DONET 地震計の方位. *JAMSTEC-R*, **15**, 77–89.
- 7) Obara K., Kasahara, K., Hori, S., and Okada, Y. (2005): A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. *Rev. Sci. Instrum.*, **76**, 021301-1-021301-12, doi:10.1063/1.1854197.
- 8) Okada Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H., and Yamamoto, A. (2004): Recent progress of seismic observation networks in Japan—Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net—. *Earth Planets Space*, **56**, xv–xxviii.

- 9) Peterson, J. (1993): Observations and modeling of background seismic noise. USGS Open File Report, **93-322**.
- 10) 佐藤暢彦・片山恒雄 (1983) : 地中地震計埋設方位の推定. 第17回地震工学研究発表会講演概要, 115-118.
- 11) Sens-Schönfelder, C. and Wegler, U. (2006): Passive image interferometry and seasonal variations of seismic velocities at Merapi Volcano, Indonesia. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L21302, doi:10.1029/2006GL027797.
- 12) 汐見勝彦・小原一成・青井 真・笠原敬司 (2003): Hi-net/KiK-net 観測点における地中地震計設置方位の推定. *地震* **2**, 99-110.
- 13) 汐見勝彦・佐々木俊二・酒井慎一・笠原敬司・関根秀太郎・中川茂樹・小原一成・平田 直・棚田俊收 (2009) : 地震動の長周期成分を用いた首都圏地震観測網 (MeSO-net) の設置方位推定. *地震研究所彙報*, **84**, 115-125.
- 14) Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998): New improved version of the Generic Mapping Tools released. *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, **79**, 579.  
(2012年9月10日原稿受付,  
2012年10月9日改稿受付,  
2012年10月23日原稿受理)

表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位  
 Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms.

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)	
N.AC2H	-4	1.6	43			N.CHZH	2	4.7	20	~02/06/06	
N.AGMH	6	0.3	224				3	1.0	95	02/06/07~	
N.AGWH	3	1.5	55	~08/08/12		N.CRNH	-1	1.3	46	~04/03/18	
	3	1.9	43	08/08/13~			-4	0.7	76	04/03/19~	
N.AHIH	0	0.8	103			N.CTSH	-1	0.7	121		
N.AIOH	2	6.4	14	~01/10/31		N.CZEH	2	0.8	102	~11/10/31	
	2	3.3	27	01/11/01~04/05/14			1	3.2	18	11/11/01~	H
	2	1.1	83	04/05/15~11/12/01		N.DGOH	-3	1.1	105		
	1	0.9	66	11/12/02~	H	N.DMOH	-10	0.1	707		
N.AIRH	-6	3.6	24	~04/04/09		N.DWAH	2	0.4	126	~01/11/28	H
	-7	1.4	59	04/04/10~			1	0.0	1298	01/11/29~	H
N.AJSH	5	1.5	45			N.EBTH	3	2.4	39		
N.AKIH	-6	1.2	70	~11/01/19		N.EDSH	2	6.0	14		
	-3	6.1	14	11/01/20~		N.ETHH	0	1.3	72	~09/12/10	
N.AKNH	-6	2.7	40	~07/08/01			1	3.1	31	09/12/11~	
	-4	2.0	54	07/08/02~		N.ENZH	-5	0.5	149		
N.AKSH	0	0.1	837		H	N.FBRH	5	0.2	291	~08/07/27	H
N.AKWH	-3	4.4	20	~08/01/18			5	0.3	246	08/07/28~	H
	-29	2.1	41	08/01/19~		N.FCHH	67	0.1	771	~08/03/28	H
N.AMAH	-3	0.6	105				-14	0.3	182	08/03/29~10/04/19	H
N.AMNH	-1	1.6	68				174	0.1	584	10/04/20~	H
N.AMZH	35	0.7	107	~02/06/01	H	N.FGNH	7	0.1	668		H
	35	1.1	97	02/06/02~		N.FGSH	-106	0.1	826		H
N.ANIH	0	1.0	95	~09/08/19		N.FGTH	-2	0.1	1174		H
	-2	2.8	36	09/08/20~		N.FJZH	-2	0.3	189		
N.ANJH	8	0.6	113			N.FJEH	2	0.4	218		
N.ANNH	-3	0.6	102			N.FJIH	-3	5.3	21	~02/04/09	
N.ANSH	2	1.1	69	~10/07/08			-3	1.0	108	02/04/10~	
N.ANSH	2	1.7	47	10/07/09~		N.FJOH	-3	1.1	96		
N.AOMH	-1	1.6	47			N.FKCH	3	2.7	30	~04/04/25	
N.ARIH	3	0.0	1672		H		4	0.8	95	04/04/26~	
N.ARKH	1	1.2	86	~11/09/04		N.FKRH	-1	0.9	115		
	5	1.0	56	11/09/05~	H	N.FKSH	-3	0.1	762	~06/12/03	H
N.ASAH	2	0.0	1086		H		8	0.2	222	06/12/04~08/03/06	H
N.ASBH	1	1.5	43	~09/06/10			1	0.1	666	08/03/07~	H
	1	2.5	25	09/06/11~		N.FKUH	0	0.3	305	~09/10/26	H
N.ASGH	-1	0.6	139				-1	0.7	108	09/10/27~	H
N.ASHH	-3	1	111			N.FMIH	2	0.8	139		
N.ASKH	-77	4.9	13	~02/05/22		N.FRKH	2	0	1730		H
	-42	0.3	213	02/05/23~		N.FRNH	3	0.1	816		H
N.ASNH	-2	0.6	112			N.FSTH	-2	0.6	129		
N.ASRH	5	0.0	1943		H	N.FSWH	0	0.8	130		
N.ASSH	1	0.7	113			N.FUTH	-55	0.3	174	~09/07/15	H
N.ASUH	1	1.1	104				-6	0.2	247	09/07/16~	H
N.ASVH	0	0.3	234			N.GEIH	-5	0.1	1054	~08/12/23	H
N.ATDH	38	0.0	1255		H		-2	0.1	597	08/12/24~	H
N.ATGH	-2	0.9	90	~12/03/03		N.GENH	47	0.5	128		
	-8	1.4	40	12/03/04~	H	N.GHKH	0	0.4	173		
N.ATKH	-5	1.5	43	~05/05/30		N.GJOH	1	0.9	128		
	-4	1.1	61	05/05/31~		N.GKSH	156	2.9	34	~02/05/13	
N.ATMH	179	0.1	390	~06/04/17	H		42	0.4	216	02/05/14~	
	2	0.1	894	06/04/18~	H	N.GNOH	-3	0.6	126		
N.AWNH	0	0.8	123			N.GOTH	-39	0.4	136	~02/03/17	H
N.AYEH	3	0.5	124				-5	0.1	1018	02/03/18~	H
N.AYKH	4	0.1	1101		H	N.GR2H	0	1.7	67		
N.AYWH	2	1.2	59			N.GSIH	-1	0.5	166		
N.BEEH	-1	0.1	671		H	N.GZNH	-3	0.4	203		
N.BEWH	-5	0.4	114	~03/08/21	H	N.HA2H	-14	0.2	235		H
	-5	0.1	554	03/08/22~	H	N.HAGH	8	1.6	67	~09/09/13	
N.BFEH	2	0.3	231				-1	2.8	39	09/09/14~	
N.BFNH	3	0.7	143			N.HAZH	-4	0.1	653	~07/08/29	H
N.BFWH	-3	0.6	141				2	0.1	882	07/08/30~	H
N.BHRH	3	0.7	122			N.HBAH	-2	0.1	979		H
N.BKEH	-3	0.1	825		H	N.HBTH	2	0.8	125	~11/07/18	
N.BKWH	-4	0.0	1260		H		3	9.3	11	11/07/19~	
N.BREH	1	1.0	109			N.HDAH	-1	0.6	144		
N.BRWH	0	0.9	111			N.HDKH	9	0.7	92		
N.BSEH	0	0.9	126			N.HGAH	-3	0.7	100	~08/02/07	
N.BTOH	-2	1.2	86				-2	0.7	107	08/02/08~	
N.BZNH	0	1.4	72	~09/01/16		N.HGIH	-3	0.8	113		
	1	2.4	43	09/01/17~		N.HH2H	3	1.0	95		
N.CBAH	1	0.1	554		H	N.HHEH	-5	0.1	471		H
N.CCNH	1	0.7	120			N.HHIH	1	0.0	1448		H
N.CH2H	-2	0.1	337		H	N.HHNH	-4	0.4	169		
N.CHKH	0	0.2	300	~03/08/03	H	N.HIKH	-128	2.0	30	~00/11/25	H
	-1	1.6	36	03/08/04~03/11/10	H		-150	0.4	156	00/11/26~02/06/08	H
	0	0.1	1028	03/11/11~	H		-99	0.9	115	02/06/09~	
N.CHNH	-4	0.9	125			N.HIMH	135	0.4	172	~02/05/09	H
N.CHSH	2	0.5	186		H		135	0.1	415	02/05/10~07/06/30	H
							4	0.2	378	07/07/01~	H

表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位 (つづき)  
 Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms. (continued)

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)	
N.HINH	-1	3.1	21	~03/09/30		N.IICH	106	0.9	78	~04/11/21	
	-2	0.8	86	03/10/01~			-1	0.4	175	04/11/22~12/03/06	
N.HIRH	-4	0.7	68	~01/11/13	H		-2	1.9	28	12/03/07~	H
	-6	2.0	47	01/11/14~08/12/19		N.IIDH	1	0.8	83		
	-3	1.8	34	08/12/20~	H	N.IKIH	3	0.1	679	~06/11/11	H
N.HISH	-2	0.7	120				-1	0.1	631	06/11/12~11/11/28	H
N.HIYH	-1	0.8	129				0	1.3	50	11/11/29~	H
N.HKBH	-76	0.8	130			N.IKKH	-87	0.4	165	~02/06/01	H
N.HKSH	-5	3.1	31	~02/04/12			-1	1.2	62	02/06/02~09/03/17	
	-5	0.4	222	02/04/13~			2	1.0	79	09/03/18~	
N.HKTH	-1	1.5	55	~07/10/25		N.IKNH	-2	5.5	19	~03/09/06	
	-1	1.5	55	07/10/26~			-1	1.0	105	03/09/07~	
N.HKWH	5	0.6	156			N.IKSH	-3	0.0	1287		H
N.HMAH	0	0.7	129			N.IKTH	-2	0.1	693		H
N.HMMH	-5	2.9	28			N.IKWH	-2	0.4	167		
N.HMNH	27	0.1	528	~11/06/01	H	N.IMIH	-129	0.5	152	~02/05/11	H
	1	0.5	120	11/06/02~	H		-115	0.1	949	02/05/12~	H
N.HMSH	1	0.8	78	~11/05/29		N.IMRH	-7	0.3	209		
	-25	4.8	13	11/05/30~		N.INAH	-8	0.0	1376		H
N.HMTH	-1	0.6	121			N.INEH	0	0.9	122		
N.HNBH	3	0.7	138			N.INHH	0	1.0	111		
N.HNBH	-4	0.1	610		H	N.INMH	-1	0.4	207	~11/12/18	
N.HNOH	1	0.8	118				1	1.6	36	11/12/19~	H
N.HNRH	-3	0.1	1158		H	N.INOH	-5	1.3	69		
N.HNSH	147	3.2	22	~02/06/04		N.INSH	8	2.0	41	~06/07/13	
	-4	0.6	113	02/06/05~			2	1.1	76	06/07/14~	
N.HNZH	4	0.3	253			N.INWH	-5	0.1	996	~08/07/12	H
N.HOBH	-2	1.0	104				4	0.1	602	08/07/13~	H
N.HOCH	-4	0.1	731	~11/08/02	H	N.ISGH	-3	2.2	50	~09/08/30	
	-2	0.8	77	11/08/03~	H		-48	3.0	37	09/08/31~	
N.HOFH	2	0.0	1353		H	N.ISSH	5	1.1	46	~08/10/24	H
N.HOJH	0	0.9	96				5	4.0	21	08/10/25~	
N.HONH	-1	0.0	1379		H	N.ITDH	3	0.9	98		
N.HOSH	-1	0.2	471		H	N.ITHH	179	1.4	77		
N.HOTH	-11	0.0	1512		H	N.ITOH	13	2.2	49		
N.HOUH	-2	0.9	88	~07/09/08		N.IW2H	0	0.2	198		H
	-3	0.6	123	07/09/09~		N.IWAH	-7	4.9	15	~00/11/24	H
N.HRDH	3	0.7	91				-4	0.0	1398	00/11/25~	H
N.HRKH	-3	0.9	99	~07/09/28		N.IWEH	-6	1.0	97		
	4	0.7	113	07/09/29~		N.IWKH	-4	0.8	92		H
N.HRSH	-1	1.2	52	~08/02/21		N.IWNH	1	0.7	137		
	-7	1.2	50	08/02/22~		N.IWSH	0	1.2	91		
N.HRTH	-5	1.2	64			N.IWTH	-133	5.2	13	~08/03/18	
N.HRYH	-2	0.8	128				-89	4.1	16	08/03/19~	
N.HSEH	2	1.0	111			N.IWWH	-2	0.3	263		
N.HSFH	-47	4.7	22	~02/04/08		N.IWZH	0	0.3	211		
	0	1.4	73	02/04/09~		N.IZMH	-3	0.9	117		
N.HSKH	2	0.5	159			N.IZSH	-1	1.9	46	~07/07/16	
N.HSMH	3	1.1	68	~07/11/27			1	1.2	70	07/07/17~	
	0	1.4	52	07/11/28~		N.IZUH	-1	0.9	106		
N.HSNH	33	0.2	296		H	N.JHKH	-1	0.9	92		
N.HT2H	-8	8.5	12			N.JIZH	-4	1.9	58		
N.HTAH	-5	0.3	257			N.JNSH	-4	0.3	234		
N.HTBH	0	0.8	90	~08/09/19		N.JUOH	-1	0.8	108		
	-3	1.5	49	08/09/20~		N.KACH	-7	1.0	112		
N.HTKH	0	0.1	904		H	N.KADH	-2	0.3	215		
N.HWSH	4	2.3	31	~01/11/14		N.KAHH	-2	1.6	40	~04/04/17	
	5	1.9	37	01/11/15~03/10/24			<b>87</b>	5.5	12	04/04/18~05/04/21	
	2	0.4	190	03/10/25~			-2	0.9	72	05/04/22~	
N.HYGH	2	0.2	292	~04/12/08	H	N.KAIH	3	0.2	367		H
	4	0.1	825	04/12/09~11/02/21	H	N.KAKH	-1	0.1	707		H
	68	0.3	166	11/02/22~	H	N.KAMH	-6	0.7	113	~11/12/04	
N.HYKH	-8	0.3	258				37	0.9	60	11/12/05~	H
N.HYMH	-5	0.2	327		H	N.KANH	0	0.8	112		
N.HYNH	-1	0.4	218			N.KASH	-3	1.0	109		
N.HYOH	-2	0.7	87	~07/07/29		N.KAWH	-2	0.9	57	~01/10/27	H
	0	1.5	42	07/07/30~10/11/27			-1	2.5	20	01/10/28~01/12/01	H
	-1	2.1	31	10/11/28~			-4	1.4	43	01/12/02~07/09/17	
N.HYSH	1	0.2	343	~04/05/22	H		8	1.3	44	07/09/18~	
	3	0.0	1075	04/05/23~	H	N.KAYH	-1	1.0	113		
N.IAMH	-3	0.1	339	~07/07/09	H	N.KDIH	-5	0.9	107		
	-3	0.1	466	07/07/10~	H	N.KF2H	-3	0.5	142		
N.ICEH	-3	0.9	75	~09/03/24		N.KG3H	-32	7.1	16		
	0	1.6	40	09/03/25~		N.KGIH	0	1.0	76	~07/09/12	
N.ICWH	3	0.0	1223	~09/10/21	H		13	0.6	126	07/09/13~	
	173	0.2	222	09/10/22~	H	N.KGRH	1	1.1	92		
N.IGWH	-1	0.1	698		H	N.KGSH	2	0.0	1618		H
N.IHEH	-4	0.7	118			N.KHEH	2	1.0	114		
						N.KHKH	-3	0.0	1459		H
						N.KHOH	0	0.4	216		

表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位 (つづき)  
 Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms. (continued)

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)	
N.KHUH	-7	0.5	187			N.KSBH	3	0.1	749	~07/10/21	H
N.KHYH	6	1.8	58	~10/06/03			3	0.1	746	07/10/22~	H
	-7	6.6	16	10/06/04~		N.KSGH	-1	2.6	37	~06/04/13	
N.KIDH	4	0.9	113				5	1.2	79	06/04/14~	
N.KIGH	-1	4.3	21	~02/04/06		N.KSIH	-4	0.7	111		
	1	0.9	103	02/04/07~		N.KSMH	0	0.6	118		
N.KIKH	0	9.5	11	~01/11/21		N.KSOH	-3	0.6	137		
	-2	6.6	16	01/11/22~03/09/01		N.KT2H	2	0.2	229		H
	-2	1.0	102	03/09/02~		N.KTDH	1	0.4	190	~10/10/24	
N.KIWH	1	0.6	118				-1	2.5	33	10/10/25~	
N.KIYH	-1	1.0	96			N.KTGH	1	0.9	131	~12/06/22	
N.KIZH	0	10.2	11	~03/11/16						12/06/23~	
	1	1.3	90	03/11/17~		N.KTMH	33	10.8	10	~02/04/04	
N.KJNH	-4	0.9	118				0	1.2	94	02/04/05~	
N.KJSH	-1	1.0	117			N.KTNH	2	0.8	138		
N.KKAH	-5	0.1	639		H	N.KTRH	-3	0.0	1818		H
N.KKCH	-1	2.7	25	~03/08/21		N.KTUH	-2	0.4	128		H
	-1	0.7	95	03/08/22~11/11/04		N.KTWH	0	0.8	122		
	0	0.6	82	11/11/05~	H	N.KUCH	2	0.4	169		
N.KKEH	0	1.6	66	~09/12/15		N.KUMH	0	1.2	78		
	0	3.3	31	09/12/16~		N.KURH	-1	0.4	111	~02/04/06	H
N.KKGH	1	0.6	110	~10/09/30			2	0.6	108	02/04/07~	
	2	3.5	20	10/10/01~		N.KWAH	-2	0.8	103		
N.KKIH	-1	0.5	123	~02/04/11	H	N.KWBH	-2	1.2	54	~01/11/18	H
	-1	1.0	112	02/04/12~			0	1.6	50	01/11/19~07/11/14	
N.KKKH	-3	0.5	176				2	1.6	52	07/11/15~12/02/27	
N.KKWH	-1	0.9	131				2	3.9	18	12/02/28~	H
N.KKYH	-2	1.7	40	~04/04/20		N.KWHH	-6	0.7	113		
	-3	0.9	78	04/04/21~11/01/15		N.KWKH	4	0.3	214		
	-2	4.6	15	11/01/16~		N.KWMH	-1	0.6	109		
N.KMAH	163	0.0	1368		H	N.KWNH	0	0.8	122		
N.KMBH	-1	1.1	87	~09/06/28		N.KWSH	-2	0.9	126		
	3	2.6	36	09/06/29~		N.KWTH	3	2.0	47	~05/05/18	
N.KMDH	0	0.2	408	~11/11/24	H		1	1.2	81	05/05/19~	
	1	1.0	69	11/11/25~	H	N.KWZH	-7	1.4	80		
N.KMEH	1	0.9	117			N.KYAH	0	0.9	113		
N.KMGH	-1	0.8	130			N.KYDH	2	0.3	255		
N.KMHH	3	0.3	213			N.KYEH	-1	0.8	112	~12/03/04	
N.KMIH	0	0.3	246				0	2.7	24	12/03/05~	H
N.KMKH	3	0.9	72			N.KYMH	0	0.5	123		
N.KMMH	-3	1.5	71			N.KYOH	3	0.5	106	~11/07/14	
N.KMNH	2	1.0	80				0	5.7	10	11/07/15~	
N.KMOH	1	0.6	101			N.KYSH	-1	0.4	169	~10/11/03	
N.KMSH	-6	0.6	70		H		-1	1.8	36	10/11/04~	
N.KMTH	-1	0.6	156			N.KYTH	-2	1.7	58		
N.KMWH	-10	3.4	25		H	N.KYWH	-2	1.8	54	~08/11/02	
N.KMYH	5	0.7	139				-6	2.7	36	08/11/03~	
N.KMZH	177	0.6	106			N.KZMH	-2	3.5	30		
N.KNAH	0	1.6	69			N.KZNH	-87	0.0	1681		H
N.KNBH	-1	1.6	63	~07/10/15		N.MABH	-4	0.8	126		
	0	1.7	57	07/10/16~		N.MAKH	1	0.7	127		
N.KNEH	-8	0.4	216			N.MASH	0	0.9	118		
N.KNGH	1	0.0	1236		H	N.MBEH	0	0.9	109		
N.KNHH	6	3.8	25	~08/02/19		N.MBUH	-5	1.0	108		
	7	2.0	49	08/02/20~		N.MBWH	3	0.7	94	~11/06/19	
N.KNIH	-4	0.4	177				3	5.0	13	11/06/20~	
N.KNNH	-5	2.1	37	~04/01/22		N.MCTH	1	0.0	1197		H
	-3	0.4	178	04/01/23~		N.MDRH	-3	0.6	121		
N.KNSH	-2	0.1	777		H	N.MGMH	1	0.0	1341	~11/09/23	H
N.KNZH	-2	0.7	74	~01/10/21	H		5	0.6	74	11/09/24~	H
	-3	2.5	20	01/10/22~03/10/09	H	N.MGWH	0	0.9	117		
	0	1.6	55	03/10/10~		N.MHRH	6	0.7	106		
N.KOKH	-1	0.0	1527		H	N.MHSH	-7	0.7	75	~02/03/15	H
N.KORH	-1	0.5	116	~01/11/28	H		-7	0.1	897	02/03/16~	H
	-2	1.4	65	01/11/29~10/01/17		N.MICH	-1	1.0	116		
				10/01/18~10/02/14		N.MIEH	-79	5.0	19	~02/05/11	
	-7	3.5	26	10/02/15~			-50	1.0	99	02/05/12~	
N.KOSH	2	0.0	2020		H	N.MIGH	11	1.0	65		
N.KOTH	-101	2.7	18	~05/03/28	H	N.MIHH	0	1.1	60	~07/10/10	
	46	0.1	743	05/03/29~	H		-2	1.2	56	07/10/11~	
N.KRHH	1	0.7	108			N.MIKH	1	0.1	940		H
N.KRIH	2	0.0	1777		H	N.MISH	-4	0.3	255		H
N.KRKH	-5	0.3	204		H	N.MITH	12	1.2	66	~07/12/06	
N.KRMH	0	4.3	25	~03/07/31			3	1.4	57	07/12/07~	
	1	1.3	84	03/08/01~		N.MIZH	-3	1.2	80		
N.KRTH	3	0.7	81	~04/11/29		N.MJNH	4	5.4	16	~02/05/18	
	1	0.3	173	04/11/30~			2	0.9	107	02/05/19~	
N.KRYH	-86	0.6	127			N.MJSH	-180	2.5	38	~04/12/11	
N.KSAH	-13	0.4	139	~02/04/08	H					04/12/12~04/12/23	
	-8	0.1	819	02/04/09~	H		0	1.6	64	04/12/24~	

表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位 (つづき)  
 Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms. (continued)

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)	
N.MKBH	2	1.3	47	~11/02/16		N.NFRH	-7	0.1	523		H
	1	4.0	15	11/02/17~		N.NGIH	5	0.3	207		
N.MKEH	-4	1.9	45			N.NGKH	4	0.9	105		
N.MKGH	-1	0.1	1142		H	N.NGOH	-4	3.1	27	~03/11/05	
N.MKIH	5	0.8	99				-4	0.9	90	03/11/06~	
N.MKJH	-3	0.7	123			N.NGRH	-8	0.4	187		
N.MKMH	2	0.4	215			N.NGSH	1	1.1	47	~02/04/12	H
N.MKOH	-8	0.5	120				1	4.6	22	02/04/13~04/12/18	
N.MKRH	3	0.6	116				0	1.2	85	04/12/19~	
N.MKWH	-1	0.9	123			N.NGTH	36	2.7	40	~04/04/22	
N.MMBH	-3	0.9	83	~10/06/07			<b>92</b>	9.1	12	04/04/23~05/04/24	
	-2	2.8	26	10/06/08~			0	1.3	82	05/04/25~	
N.MMKH	-3	1.7	41	~02/04/05		N.NGUH	-1	0.7	139		
	-1	0.4	174	02/04/06~		N.NGWH	0	0.6	107		
N.MMOH	-1	1.2	47	~03/09/18	H	N.NHEH	-1	0.8	118		
	-1	0.8	74	03/09/19~		N.NHJH	1	0.7	126		
N.MMRH	1	0.2	222	~05/06/09	H	N.NHWH	1	0.7	113		
	0	0.1	434	05/06/10~	H	N.NITH	1	1.7	61	~07/12/11	
N.MMTH	5	1.2	85				-2	2.0	52	07/12/12~	
N.MN2H	1	0.9	87			N.NKEH	2	0.5	132		
N.MNAH	-2	1.1	104			N.NKMH	1	0.9	125		
N.MNEH	0	4.1	25	~03/09/03		N.NKNH	2	0.4	127	~02/04/04	H
	0	2.0	51	03/09/04~08/02/24			1	0.4	129	02/04/05~03/11/08	H
	1	2.0	52	08/02/25~			1	0.1	960	03/11/09~11/10/13	H
N.MNMH	1	0.9	110				3	0.6	87	11/10/14~	H
N.MNOH	0	0.9	69	~12/02/23		N.NKOH	96	1.0	117	~10/10/20	
	23	1.9	25	12/02/24~	H		5	5.7	20	10/10/21~	
N.MOKH	8	9.4	10	~09/02/12		N.NKTH	-1	0.4	223		
	8	2.2	42	09/02/13~		N.NKWH	-1	0.0	1668		H
N.MRIH	-2	1.4	78			N.NMEH	-5	0.8	111		
N.MRMH	3	1.2	69	~09/07/23		N.NMKH	11	2.9	22	~02/04/05	
	3	2.3	35	09/07/24~			2	0.6	109	02/04/06~	
N.MROH	2	0.6	112			N.NMNH	-3	0.3	231		
N.MRRH	-6	0.2	256	~05/06/04	H	N.NNMH	-3	1.0	73		
	-5	0.4	121	05/06/05~08/08/19	H	N.NOBH	0	2.4	27	~04/12/05	
	-1	0.2	293	08/08/20~	H		0	0.9	76	04/12/06~	
N.MRTH	-1	0.4	203			N.NRAH	42	8.7	10	~02/05/16	
N.MRUH	0	0.6	128				9	0.9	101	02/05/17~	
N.MS2H	-4	0.3	219			N.NRKH	-1	0.0	1333		H
N.MSAH	1	0.0	1225		H	N.NRTH	-3	0.7	92		
N.MSFH	-2	0.3	273			N.NS2H	-6	1.3	78		
N.MSIH	-1	0.9	118			N.NSBH	-1	0.5	127		
N.MSMH	-4	1.0	92	~10/02/17		N.NSEH	3	0.2	408	~04/11/12	H
	0	2.8	31	10/02/18~			1	0.1	909	04/11/13~	H
N.MSNH	-3	0.3	199			N.NSHH	15	2.5	39	~12/02/06	
N.MSTH	-140	0.0	1759		H		3	1.3	41	12/02/07~	H
N.MTDH	9	1.1	95			N.NSMH	-1	0.4	131	~02/04/20	H
N.MTKH	3	0.8	110				-2	1.0	92	02/04/21~	
N.MTMH	-3	0.4	139	~01/11/18	H	N.NSNH	1	0.6	129		
	1	1.5	54	01/11/19~07/11/01		N.NSSH	-3	0.0	1460		H
	-1	1.4	57	07/11/02~		N.NSTH	-6	0.1	839		H
N.MTOH	6	4.8	19	~02/06/10		N.NTBH	1	0.8	135		
	6	0.8	115	02/06/11~		N.NTGH	2	8.6	10	~03/09/15	
N.MTYH	2	0.5	165				4	0.4	209	03/09/16~	
N.MUIH	0	0.0	1521		H	N.NTHH	-5	0.3	243		
N.MURH	-6	0.8	115	~12/06/26		N.NUKH	1	0.8	113		
				12/06/27~		N.NUMH	-1	0.1	543		H
N.MYJH	-164	0.3	219	~02/05/20	H	N.NWAH	5	1.4	52	~07/10/25	
	-157	6.6	17	02/05/21~04/12/14			8	1.5	50	07/10/26~	
	-4	3.1	36	04/12/15~09/02/09		N.NYAH	0	0.0	1383		H
	-5	3.5	32	09/02/10~		N.NYOH	3	3.3	22	~04/05/30	
N.MYKH	-4	0.9	109				3	0.8	98	04/05/31~	
N.MYMH	-123	0.6	117			N.NYRH	3	0.3	251		
N.MYTH	-1	5.0	12	~11/04/21		N.NZWH	0	0.7	103		
	-9	4.3	14	11/04/22~		N.OBMH	0	0.1	731		H
N.MZEH	-1	1.4	76			N.ODTH	0	0.0	1825		H
N.MZKH	1	0.6	104	~01/11/10	H	N.OGAH	1	8.3	11	~01/12/07	
	0	0.1	684	01/11/11~07/11/22	H		3	3.2	29	01/12/08~04/11/18	
	-1	0.1	669	07/11/23~	H		4	2.9	32	04/11/19~08/11/06	
N.NAGH	-3	0.9	121				4	4.3	14	08/11/07~09/08/23	H
N.NAKH	-1	6.0	18	~02/03/30			7	4.8	19	09/08/24~11/05/25	
	1	1.2	93	02/03/31~						11/05/26~11/06/16	
N.NANH	-1	0.5	129				3	7.7	12	11/06/17~	
N.NAWH	-6	0.8	138			N.OGCH	12	0.0	1346		H
N.NAZH	-2	0.9	100			N.OGNH	-2	0.3	243		
N.NCNH	12	0.7	109			N.OGOH	-1	1.0	105		
N.NCPH	-4	1.0	96			N.OHAH	-23	3.0	37	~03/10/17	
N.NDGH	4	0.9	125				3	1.2	91	03/10/18~	
N.NEOH	-1	0.1	749	~07/09/02	H	N.OHCH	8	1.0	102		
	4	0.1	979	07/09/03~	H	N.OHSH	0	1.3	78		

表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位 (つづき)  
 Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms. (continued)

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)	
N.OHTH	2	2.1	38	~06/08/26		N.SHMH	30	0.7	86	~12/03/26	
	3	1.2	67	06/08/27~			91	2.4	21	12/03/27~	H
N.OIWH	0	0.3	229			N.SHZH	-3	0.8	106		
N.OKBH	-4	0.6	157			N.SIKH	-71	0.5	119		
N.OKCH	-1	1.1	105			N.SINH	-4	2.8	16	~00/11/29	H
N.OKEH	1	0.8	126				-4	1.6	67	00/11/30~	
N.OKMH	1	0.7	115			N.SISH	-6	0.7	134		
N.OKYH	-1	6.7	15	~01/11/09		N.SIZH	-2	0.6	153		
	-1	3.9	26	01/11/10~04/05/10		N.SJOH	4	1.3	72	~07/11/10	
	-2	1.1	89	04/05/11~			0	1.0	101	07/11/11~	
N.OKZH	5	0.9	106			N.SKGH	127	0.1	943	~09/11/19	H
N.OM2H	-3	0.0	1392		H		2	0.1	383	09/11/20~	H
N.OMRH	-1	0.1	1062		H	N.SKIH	-1	0.9	123		
N.ONDH	-1	3.7	21	~03/11/13		N.SKNH	-3	0.1	685		H
	-2	1.5	50	03/11/14~08/12/04		N.SKSH	3	0.1	694		H
	1	1.8	42	08/12/05~		N.SKUH	3	0.5	117		
N.ONIH	5	0.9	103			N.SKWH	3	2.2	48	~06/12/06	
N.ONPH	-6	0.9	120				0	2.3	45	06/12/07~11/09/07	
N.OOCH	-1	0.8	110				-1	0.7	80	11/09/08~	H
N.OOKH	-3	1.2	91			N.SMAH	1	0.8	116		
N.OOMH	5	0.1	477		H	N.SMDH	-2	1.6	67		
N.OOTH	0	0.6	130			N.SMGH	-4	0.4	137		
N.OOZH	4	0.6	94	~10/12/12		N.SMMH	1	0.9	76		
	4	3.2	18	10/12/13~		N.SMNH	-12	0.8	122		
N.OPEH	4	0.9	107			N.SMPH	3	0.9	104		
N.OPWH	-2	1.0	108			N.SMSH	-18	0.3	279		
N.OREH	1	0.1	537		H	N.SMTH	0	0.4	237		
N.ORWH	0	0.2	357	~08/10/11	H	N.SNDH	0	1.0	84	~08/12/19	
	2	0.3	186	08/10/12~	H		6	1.8	31	08/12/20~	H
N.OSKH	-2	4.2	25	~10/02/17		N.SNIH	-5	0.3	239		
	0	3.3	33	10/02/18~		N.SNNH	-1	1.4	63	~06/08/31	
N.OSUH	14	2.9	26	~02/03/27			-2	1.3	71	06/09/01~	
	-7	0.3	212	02/03/28~		N.SNSH	3	0.4	239		
N.OTAH	2	0.4	143	~04/12/02	H	N.SNTH	2	0.3	186	~09/09/16	
	0	0.2	262	04/12/03~	H		-3	0.9	71	09/09/17~	
N.OTOH	3	0.4	224			N.SNWH	-4	1.1	66	~10/02/21	
N.OTUH	4	0.5	128				3	2.8	26	10/02/22~	
N.OTWH	3	0.8	135			N.SOIH	0	0.5	121		
N.OMUX	2	1.0	105			N.SOJH	-3	0.8	102		
N.OWNH	-1	0.0	1667		H	N.SONH	-8	0.3	219		
N.OWSH	-3	0.7	128			N.SOSH	-2	0.4	219		
N.OYMH	0	0.8	82	~09/10/01		N.SRIH	24	4.0	20	~02/04/10	
	-3	1.9	33	09/10/02~			23	0.4	171	02/04/11~10/11/22	
N.RBSH	0	0.8	125				4	2.0	35	10/11/23~	
N.RKBH	1	0.7	125			N.SRMH	-5	0.6	126		
N.RKSH	5	0.9	126			N.SROH	2	1.2	92		
N.RNKH	-1	0.1	609	~08/08/16	H	N.SRUH	4	2.3	26	~06/10/11	
	-4	0.1	478	08/08/17~	H		1	4.2	14	06/10/12~09/06/14	
N.RZTH	0	0.4	236				6	0.4	133	09/06/15~	H
N.SADH	2	0.3	245			N.SRWH	-56	2.3	24	~03/05/26	H
N.SAIH	0	1.9	34				-1	1.0	102	03/05/27~	
N.SAKH	3	0.7	105			N.SSKH	-7	0.5	123		
N.SAMH	-2	0.9	121			N.SSMH	-1	0.4	220		
N.SATH	-3	0.9	103	~10/01/20		N.SSRH	-1	0.8	103		
	-4	3.8	27	10/01/21~		N.SSSH	2	0.0	1446		H
N.SBAH	0	0.3	252			N.SSTH	0	0.5	128		
N.SBKH	-6	0.4	197			N.SSYH	-7	0.6	137		
N.SBNH	-1	0.8	98			N.STDH	0	0.1	827		H
N.SBSH	120	0.5	142	~02/05/27	H	N.STKH	3	0.1	696		H
	119	0.9	109	02/05/28~		N.STNH	0	3.4	27	~05/06/13	
N.SCNH	-42	0.7	96				1	5.8	16	05/06/14~11/06/23	
N.SCSH	-3	0.9	103				-1	7.1	13	11/06/24~	
N.SDAH	1	5.4	20	~03/09/26		N.STRH	1	1.0	106		
	0	1.1	98	03/09/27~		N.STSH	-8	0.7	107		
N.SDWH	-2	0.4	150	~02/04/02	H	N.SUGH	-3	0.2	339	~08/10/15	H
	-4	1.0	96	02/04/03~			1	0.3	190	08/10/16~	H
N.SENH	-6	7.8	14	~04/03/20		N.SUKH	-75	0.9	111		
	-9	10.7	7	04/03/21~04/07/22	h	N.SUZH	-179	2.7	23	~02/04/02	H
	-8	1.4	80	04/07/23~			-178	1.0	61	02/04/03~05/05/22	H
N.SETH	-3	0.6	98				-2	1.6	61	05/05/23~	
N.SFNH	-1	0.1	487		H	N.SWEH	4	0.2	372	~03/08/05	H
N.SFSH	-2	0.7	92				4	1.1	98	03/08/06~	
N.SGOH	5	4.2	19	~01/11/03		N.SWWH	1	0.1	358	~03/08/02	H
	3	0.3	236	01/11/04~			84	1.2	43	03/08/03~04/11/07	H
N.SGRH	1	0.3	262				4	2.4	42	04/11/08~08/09/23	
N.SGUH	-1	0.8	137				3	2.1	48	08/09/24~	
N.SGWH	23	8.7	10	~02/03/21		N.SYKH	-1	0.3	223		
	-2	0.8	109	02/03/22~		N.SYNH	-4	1.0	109		
N.SHGH	3	0.0	2068		H	N.SYOH	0	2.6	35	~03/10/14	
N.SHKH	142	0.7	101				1	0.9	97	03/10/15~	



表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位 (つづき)  
 Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms. (continued)

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)	
N.SYSH	-5	1.0	107			N.TNEH	0	0.9	113		
N.SYTH	4	0.7	118			N.TNMH	1	0.7	101		
N.SZGH	0	0.8	107			N.TOBH	3	0.1	525		H
N.SZJH	2	1.4	80			N.TOGH	-4	0.7	102		
N.SZKH	0	0.0	1418		H	N.TOHH	-3	0.7	86		
N.SZNH	-6	0.1	633		H	N.TOIH	-1	0.9	104		
N.SZUH	-3	0.4	216			N.TOKH	-3	1.1	103		
N.SZWH	-3	0.6	128			N.TOMH	-2	0.1	447	~06/10/14	H
N.TAGH	3	0.9	128				-1	0.1	595	06/10/15~	H
N.TAJH	-2	0.0	1260		H	N.TOUH	2	0.3	246		
N.TAKH	-2	1.7	60	~07/01/15		N.TOWH	-1	0.7	131		
	0	1.7	61	07/01/16~		N.TOYH	-2	0.2	402		H
N.TAMH	-5	4.4	16	~01/11/11		N.TREH	-6	0.9	109		
	-6	3.5	20	01/11/12~03/10/20		N.TRGH	-2	0.1	694		H
	1	0.8	93	03/10/21~		N.TRIH	0	0.6	118		
N.TARH	-86	3.6	22	~02/05/24		N.TROH	2	0.3	221		
	-66	4.6	18	02/05/25~04/04/13		N.TRSH	1	1.5	68	~10/07/05	
	-4	3.2	25	04/04/14~07/02/21			3	4.7	22	10/07/06~	
	-1	1.7	47	07/02/22~10/12/15		N.TRWH	1	0.8	108		
	3	4.7	17	10/12/16~		N.TSKH	2	1.3	85		
N.TAYH	-1	0.7	101	~10/09/02		N.TSMH	1	1.2	78	~07/11/04	
	-3	3.0	22	10/09/03~			-2	1.9	50	07/11/05~	
N.TBEH	1	0.7	90	~01/11/21	H	N.TSOH	4	0.8	138		
	1	2.7	34	01/11/22~06/02/21		N.TSRH	-1	0.5	131		
	1	1.3	72	06/02/22~		N.TSSH	-6	0.6	113		
N.TBRH	1	0.5	178			N.TSTH	-2	0.6	103		
N.TBSH	138	1.5	67			N.TSUH	0	0.4	219		
N.TBTH	-10	0.4	149	~02/05/20	H	N.TSYH	1	3.2	33	~03/10/27	
	-10	0.1	732	02/05/21~	H		2	1.1	98	03/10/28~	
N.TBYH	3	0.3	204			N.TT2H	-5	0.3	211		
N.TCKH	3	0.1	1034		H	N.TTAH	2	0.8	127		
N.TDEH	2	0.9	106			N.TTKH	4	0.0	2144		H
N.TDMH	-3	0.0	1547		H	N.TTNH	-1	0.8	123		
N.TDOH	2	2.9	35	~04/06/02		N.TU2H	-6	1.2	94		
	1	2.6	39	04/06/03~09/01/09		N.TUMH	0	0.0	1339		H
	1	2.3	44	09/01/10~		N.TUNH	1	1.0	107		
N.TGIH	55	0.7	84	~02/05/21	H	N.TURH	0	0.1	1170		H
	57	3.8	22	02/05/22~06/03/30		N.TUSH	2	1.0	106		
	-151	1.2	69	06/03/31~		N.TWAH	2	2.4	37	~08/07/09	
N.TGKH	0	0.0	1416		H		2	2.1	42	08/07/10~	
N.TGOH	-2	0.3	198	~02/05/15		N.TWEH	3	0.0	1487		H
	-2	0.1	1266	02/05/16~	H	N.TWWH	6	0.0	1779		H
N.TGUH	3	0.7	118			N.TY2H	2	10.1	11		
N.THGH	1	1.1	46	~03/08/06	H	N.TYEH	-2	0.4	209		
	-2	0.9	104	03/08/07~		N.TYHH				~01/03/14	
N.THNH	2	0.6	106				0	0.0	1499	01/03/15~	H
N.THTH	-3	0.4	139			N.TYNH	0	1.0	106	~11/02/17	
N.TISH	0	0.5	139	~07/09/21			0	7.2	15	11/02/18~	
	-1	0.6	105	07/09/22~		N.TYOH	4	0.8	85		
N.TJOH	1	0.5	134			N.TYRH	3	1.5	70		
N.TJRH	7	1.2	79	~09/01/27		N.TYTH	3	0.6	123	~11/08/27	
	5	2.3	43	09/01/28~			3	7.4	10	11/08/28~	
N.TKBH	13	0.7	129			N.TYUH	4	0.9	68	~01/11/24	H
N.TKEH	-2	0.4	225				2	1.0	106	01/11/25~	
N.TKGH	-2	0.5	140			N.TZWH	2	0.0	1115		H
N.TKHH	0	0.4	153	~02/06/06	H	N.UBEH	2	2.7	28	~03/08/29	
	0	0.8	113	02/06/07~			1	0.8	99	03/08/30~	
N.TKIH	3	1.0	93	~09/07/02		N.UCNH	1	0.8	125		
	-1	2.2	41	09/07/03~		N.UCUH	0	0.6	77	~02/06/04	H
N.TKJH	-2	0.8	107				2	4.9	21	02/06/05~06/03/27	
N.TKKH	1	0.5	96	~02/04/15	H		-1	1.5	72	06/03/28~	
	1	1.8	44	02/04/16~07/02/24		N.UJEH	-3	0.6	137		
	2	1.2	66	07/02/25~		N.UKHH	-2	0.5	109		
N.TKNH				~01/02/24		N.UMEH	-1	0.8	124		
	0	0.1	933	01/02/25~		N.UMIH	-2	4.8	20	~02/05/25	
N.TKRH	4	0.0	1691	~12/02/19	H		-2	0.9	108	02/05/26~	
	4	1.5	33	12/02/20~	H	N.UMWH	0	1.3	82	~09/12/19	
N.TKSH	0	0.0	1974		H		-79	6.8	16	09/12/20~	
N.TKTH	1	1.2	60	~07/10/03		N.UMYH	-2	0.5	149		
	2	1.8	41	07/10/04~10/09/10		N.UNNH	1	0.6	141		
	2	3.3	22	10/09/11~		N.UNSH	1	0.8	88		
N.TKUH	-1	0.6	113			N.UOZH	49	0.8	64	~01/10/24	H
N.TKWH	6	0.3	334				69	0.2	254	01/10/25~05/05/25	H
N.TMAH	-1	0.6	113				-98	0.1	536	05/05/26~	H
N.TMGH	1	3.4	20	~03/09/23		N.URSH	3	0.9	110		
	1	0.7	93	03/09/24~		N.UUMH	3	0.7	86		
N.TMNH	1	0.0	1381		H	N.UWAH	-1	1.7	45	~07/01/12	
N.TMOH	-5	9.6	11	~01/10/31			-3	1.1	66	07/01/13~	
	-7	1.0	112	01/11/01~		N.UWEH	-2	3.1	21	~02/04/18	
N.TMYH	0	0.7	116				-2	0.3	215	02/04/19~	

表 A1 地震動長周期成分を用いて推定された防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位 (つづき)

Table A1 Sensor orientation of NIED Hi-net based on correlation analyses of long-wavelength waveforms. (continued)

Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)		Code	$\phi$	Err.	N	Period (yy/mm/dd)
N.WATH	0	5.4	21	~04/05/26		N.YM2H	-6	1.1	96	
	4	1.3	90	04/05/27~		N.YMAH	21	0.8	111	
N.WKMH	0	3.6	22	~02/04/10		N.YMDH	-5	0.8	113	
	0	0.8	106	02/04/11~		N.YMGH	-2	1.0	113	
N.WKYH	0	1.1	86	~09/10/05		N.YMKH	-4	1.5	74	
	4	2.9	32	09/10/06~		N.YMMH	0	0.5	135	
N.WNEH	0	0.3	188	~03/08/24	H	N.YMSH	-1	1.3	81	~10/10/04
	1	0.1	739	03/08/25~	H		1	5.2	20	10/10/05~
N.WNNH	6	0.1	405		H	N.YMTH	1	1.1	93	~10/09/20
N.WNWH	0	0.1	643		H		0	4.6	22	10/09/21~
N.WSMH	-5	0.1	644		H	N.YNDH	0	0.7	97	~06/02/18
N.YABH	-1	2.6	34	~02/04/13			0	0.4	145	06/02/19~
	-1	0.5	196	02/04/14~		N.YNTH	-50	0.6	116	
N.YBKH	-3	0.3	262			N.YNZH	-2	0.0	1481	
N.YBNH	2	0.1	466		H	N.YOKH				~01/02/22
N.YBRH	0	3.8	16	~01/11/07			0	0.8	120	01/02/23~
	0	3.4	18	01/11/08~03/10/03		N.YOSH	0	1.7	65	
	3	0.6	93	03/10/04~04/07/26	H	N.YOTH	1	0.4	246	
	2	0.7	87	04/07/27~		N.YROH	4	0.6	77	~12/03/14
N.YGDH	-152	0.9	84	~02/06/03	H		-8	4.2	10	12/03/15~
	-152	3.4	33	02/06/04~		N.YSDH	-3	0.9	122	
N.YGNH	108	9.7	10	~02/05/10		N.YSHH	1	0.0	1726	
	105	8.1	12	02/05/11~03/08/24		N.YSTH	-2	2.2	51	
	-4	1.9	52	03/08/25~09/01/20		N.YTOH	104	0.5	137	~02/05/18
	-1	2.3	43	09/01/21~			99	0.1	510	02/05/19~07/06/26
N.YGTH	3	0.9	110	~10/08/19			-4	0.1	634	07/06/27~
	2	4.7	20	10/08/20~		N.YUBH	-1	0.8	102	
N.YHBH	-4	0.0	1177		H	N.YUZH	-3	0.1	814	~09/07/27
N.YITH	5	0.3	246				-3	0.2	329	09/07/28~
N.YJMH	-3	0.1	550		H	N.YWTH	2	0.1	614	
N.YKHH	5	0.1	916	~08/09/27	H	N.YZEH	1	1.3	41	~04/05/18
	4	0.1	855	08/09/28~	H		1	0.6	97	04/05/19~
N.YKSH	-6	0.6	204		P	N.YZWH	0	0.0	1565	
N.YKWH	-6	1.2	80	~09/02/12						
	-3	2.5	27	09/02/13~	H					

<Remarks: Estimation method>

Blank: Waveform correlation with NIED F-net stations

H: Waveform correlation with NIED F-net and Hi-net stations (N≥10)

h: Waveform correlation with NIED F-net and Hi-net stations (N<10)

P: Principal axis azimuth of P-wave particle motion

**XX**: Estimated orientation is rotated 90° to clockwise from the tiltmeter orientation.

表 A2 P 波振動方向を用いて推定された簡易型 Hi-net 観測点の地中地震計設置方位

Table A2 Sensor orientation of simple-type Hi-net station based on P-wave particle motion direction.

Code	$\phi$	Err.	N	Code	$\phi$	Err.	N
N.AAKH	4	1.3	92	N.MNYH	3	1.0	131
N.AHMH	4	1.8	69	N.MWDH	2	2.4	50
N.ATYH	2	2.1	57	N.NRSH	18	1.0	113
N.CHHH	-3	0.8	158	N.OMYH	-11	10.2	11
N.HKKH	-9	6.3	19	N.OSTH	0	0.8	145
N.HQNH	0	1.0	120	N.OTNH	-9	1.5	79
N.HQSH	-4	1.3	90	N.SNBH	-12	1.2	101
N.KHTH	13	1.5	76	N.SSGH	1	0.8	158
N.MANH	-14	0.5	237	N.SUYH	63	0.2	334
N.MAZH	10	1.4	86	N.TONH	8	0.4	310

表 A3 P 波振動方向を用いて推定された防災科研旧関東・東海地殻活動観測施設地震計設置方位  
Table A3 Sensor orientation of old KT-net based on P-wave particle motion direction.

Code	$\phi$	Err.	N	Period	Code	$\phi$	Err.	N	Period
N.ABNH	-1	1.3	92		N.MKEH	-9	26.9	4	
N.ACHH	12	2.4	48		N.MNBH	10	1.7	70	
N.AKWH	-2	2.6	46	~08/01/18	N.MNKH	17	0.2	634	
	-17	0.6	191	08/01/19~	N.MNZH	9	1.9	63	
N.ASGH	-2	0.9	137		N.MOKH	4	0.7	170	~09/02/12
N.ASOH	7	0.1	1138			7	0.3	372	09/02/13~
N.ASYH	-13	1.2	110		N.MORH				
N.ATGH	0	0.2	473	~12/03/03	N.MOTH	2	0.1	1930	
	-3	3.9	30	12/03/04~	N.MRIH	0	1.0	119	
N.CBAH	3	0.4	294		N.MSKH	-133	0.9	103	
N.CSHH	-1	0.7	169		N.NJMH				
N.CKRH	50	2.3	40		N.NMTH				
N.EDSH	-3	0.1	1893		N.NMZH	1	5.9	20	
N.ENZH	-6	0.2	472		N.NRTH	-5	0.1	1677	
N.FCHH	65	0.3	184	~08/03/28	N.NRYH	25	6.2	17	
	-9	7.6	15	08/03/29~10/04/19	N.NSHH	19	0.2	727	~12/02/06
	178	0.6	182	10/04/20~		1	2.0	59	12/02/07~
N.FJMH	-148	65.7	1		N.NSIH	-4	21.9	5	
N.FJWH	-4	0.9	122		N.ODWH				
N.FUTH	-51	5.7	13	~09/07/15	N.OHRH	-1	0.3	342	
	-4	16.0	7	09/07/16~	N.OHSH	5	2.5	48	
N.GERH	1	0.2	573		N.OKBH	-13	0.7	165	
N.HASH	11	15.8	7		N.OMCH	7	2.1	66	
N.HCJH	48	14.7	6		N.OMMH	8	0.1	798	
N.HDAH					N.SDMH	1	0.2	523	
N.HDKH	7	0.7	179		N.SHJH	-2	3.7	32	
N.HHRH	-4	0.4	332		N.SHMH	29	0.1	1249	~12/03/26
N.HKWH	-4	0.4	320		N.SHMH	98	1.3	89	12/03/27~
N.HMOH					N.SIZH	1	0.4	319	
N.HRMH					N.SMBH	3	0.6	185	
N.HRNH	-151	0.4	311		N.SMDH	0	0.5	211	
N.HRTH	6	1.3	98		N.SMYH	3	0.4	309	
N.HTNH	2	0.6	208		N.SSNH	4	6.0	20	
N.HTSH	-38	45.3	2		N.SSWH	10	0.4	320	
N.ICHH	2	4.8	25		N.TATH				
N.ISSH	-3	0.5	228	~08/10/24	N.TBYH	-2	0.1	1571	
	1	0.4	318	08/10/25~	N.TKRH	-3	0.5	233	~12/02/19
N.ITOH	-2	1.9	65			-5	8.5	14	12/02/20~
N.IWKH	-16	2.7	47		N.TNRH	0	0.9	133	
N.IWTH	-153	0.5	238	~08/03/18	N.TOEH	-2	0.3	458	
	-96	0.5	253	08/03/19~	N.TR2H	-7	0.3	463	
N.JIZH	-5	0.8	144		N.TRUH				
N.KGNH	2	0.2	751		N.TYMH	-8	18.4	8	
N.KGWH	-1	0.8	142		N.TYOH	2	0.1	1493	
N.KHZH	65	75.3	1		N.USDH	1	5.4	23	
N.KIBH	3	0.1	1838		N.YKHH	6	1.1	103	~08/09/27
N.KMTH	4	0.3	351			3	1.4	85	08/09/28~
N.KOTH	-108	1.5	74	~05/03/28	N.YKIH	3	1.0	116	
	39	0.2	442	05/03/29~	N.YMIH	-3	1.7	68	
N.KRKH	13	1.6	73		N.YMKH	0	0.3	353	
N.KSHH	2	0.4	311		N.YROH	4	0.5	251	~12/03/14
N.KTUH	4	3.0	39			-9	6.5	18	12/03/15~
N.MINH	13	10.1	12		N.YSKH	-2	2.1	55	
N.MKBH	1	1.1	102	~11/02/16	N.YSTH	-28	1.0	136	
	-2	3.2	36	11/02/17~					

## 要 旨

地震計の設置方位は、観測された地震波形を用いた解析を行うために必須の情報である。しかし、防災科研 Hi-net など観測井の孔底に地震計が設置されている場合、観測記録を用いた設置方位推定を行うことが必要である。本研究では、地震動の長周期成分の波形相関を用いた従来の解析方法を改良することにより、安定した設置方位推定が可能な方法を確立するとともに、推定結果の誤差評価も行った。また、簡便的な方法として用いられる近地地震の P 波初動の振動方向から推定される設置方位は、 $\pm 10^\circ$  以上の大きな推定誤差を有する可能性があることを示した。さらに、設置方位変化の推定方法として、雑微動の相関係数を用いる方法を新たに提案した。この方法のみでは  $180^\circ$  の任意性が残るものの、設置方位の変化を検出する方法として有効な方法であることを明らかにした。

**キーワード：** 防災科研 Hi-net, 地震計設置方位, 遠地地震記録, 相関解析, 雑微動